

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
им. Р.Е. АЛЕКСЕЕВА»**

**ТРУДЫ  
НИЖЕГОРОДСКОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО  
УНИВЕРСИТЕТА  
им. Р.Е. АЛЕКСЕЕВА**

***ПОСВЯЩАЕТСЯ 50-ЛЕТИЮ КАФЕДРЫ  
«АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ»***

**№ 4 (101)**

**Нижний Новгород 2013**

УДК 050(06)  
ББК 9я54  
Т 78

**Т 78 Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева / НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 2013. № 4 (101). – 338 с.**

*Выходит 4 раза в год*

**Главный редактор С.М. Дмитриев**

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:**

Н.Ю. Бабанов (зам. гл. редактора), М.В. Ширяев (зам. гл. редактора),  
Е.Г. Ивашкин (зам. гл. редактора), В.В. Беляков (отв. секретарь), О.В. Пугина (отв. редактор),  
Т.В. Третьякова (отв. редактор), Т.П. Новикова (технич. редактор)  
**Члены редколлегии:** В.Г. Баранов, В.Л. Башкатов, В.М. Воротынцев,  
В.В. Глебов, А.М. Groшев, А.Н. Зайцев, Е.А. Зайцева, О.С. Кошелев, В.Ф. Кулепов,  
А.А. Куркин, И.О. Леушин, М.Г. Михаленко, А.Ю. Панов, В.П. Хранилов,  
С.Н. Хрунков, Е.А. Чернышов, В.М. Галкин

УДК 050(06)  
ББК 9я54

*Электронная версия журнала:*  
<http://www.nntu.nnov.ru>

© Нижегородский государственный  
технический университет  
им. Р.Е. Алексеева, 2013

**MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF THE RUSSIAN FEDERATION**  
**FEDERAL STATE BUDGET EDUCATIONAL INSTITUTION**  
**OF HIGHER PROFESSIONAL EDUCATION**  
**NIZHNI NOVGOROD STATE TECHNICAL UNIVERSITY**  
**n.a. R.Y. ALEXEEV**

**TRANSACTIONS**  
**of NIZHNI NOVGOROD STATE TECHNICAL**  
**UNIVERSITY**  
**n.a. R.Y. ALEXEEV**

**№ 4 (101)**

**Nizhni Novgorod 2013**

**Transactions of NIZHNI NOVGOROD STATE TECHNICAL UNIVERSITY n. a. R.Y. Alexeev**  
/ NSTU n.a. R.Y. Alexeev. – Nizhni Novgorod, 2013. № 4 (101). – 338 p.

*The journal is issued 4 times a year*

**Editor-in-Chief S.M. Dmitriev**

**EDITORIAL BOARD:**

N.Y. Babanov (Deputy Editor-in-Chief), M.V. Shiryaev.(Deputy Editor-in-Chief),  
Y.G. Ivashkin (Deputy Editor-in-Chief), V.V. Belyakov (Executive Secretary), O.V. Pugina  
(Executive Editor), T.V. Tretyakova (Executive Editor), T.P. Novikova (Technical Editor)  
**Members of Editorial Board:** V.G. Baranov, V.L. Bashkatov, V.M. Vorotintzev, V.V. Glebov,  
A.M. Groshev, A.N. Zaytsev, Y.A. Zaytseva, O.S. Koshelev, V.F. Kulepov, A.A. Kurkin,  
I.O. Leushin, M.G. Mikhalevko, V.P. Khranilov, A.Y. Panov, S.N. Khrunkov,  
Y.A. Chernyshov, V.M. Galkin

*Electronic version of the journal:*  
<http://www.nntu.nnov.ru>

## СОДЕРЖАНИЕ

### НАЗЕМНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ..... 11

#### *Автомобильный транспорт*

<b>Грошев А.М., Корчажкин Г.М.</b> Полвека в авангарде автомобильного транспорта нижегородского политеха .....	11
<b>Кустиков А.Д., Кузьмин Н.А, Корчажкин М.Г.</b> Проблемы надежности трансмиссий городских автобусов.....	18
<b>Федосова М. Е., Федосов А. Е., Бердников Л. А., Прошин Д. Н.</b> Определение причин и механизмов возникновения дефектов лакокрасочного покрытия автомобилей.....	27
<b>Борисов Г.В., Ерофеева Л.Н.</b> Уточнение технико-экономического метода определения оптимальной периодичности технического обслуживания автомобилей.....	37
<b>Лозовский Н.Т., Борисов Г.В., Кузьмин Н.А.</b> Эксплуатационная долговечность кабин грузовых автомобилей.....	44
<b>Липенков А.В.</b> Имитационная модель остановочного пункта городского пассажирского транспорта.....	50
<b>Суворов И.А., Бердников Л.А.</b> Исследование возможности тепловой оптимизации ротора турбокомпрессора с проведением конечно-элементных анализов.....	56
<b>Корчажкин М.Г., Соловьев С.С.</b> Особенности эксплуатационной надежности автоматических трансмиссий автомобилей.....	66

#### *Проектирование наземных транспортных систем*

<b>Беляков В.В., Зезюлин Д.В., Колотилин В.Е., Макаров В.С.</b> подвижность наземных транспортно-технологических машин.....	72
<b>Кравец В.Н.</b> Нормальные реакции на колёса двухосного автомобиля по сцеплению с опорной поверхностью.....	78
<b>Орлов Л.Н., Герасин А.В., Тумасов А.В., Трусов Ю.П.</b> Испытания на прочность и компьютерно моделирование локальных участков кузовных конструкций.....	86
<b>Песков В.И., Воронков О.В.</b> Расчетно-экспериментальное сравнение жесткости автобусных кузовов.....	91
<b>Лелиовский К.Я., Макаров В.С.</b> Исследование вибраций трансмиссии при движении автомобиля по дорогам различного микропрофиля.....	98

#### *Строительные и дорожные машины*

<b>Вахидов У.Ш., Шапкин В.А., Шапкина Ю.В.</b> Анализ виброакустических параметров автомобиля .....	104
<b>Шапкина Ю.В., Вахидов У.Ш., Шапкин В.А.</b> Обоснование концепции «источник-путь-получатель» для анализа структурной вибрации автомобиля.....	110
<b>Согин А.В., Худяков В.Н., Шапкин В.А.</b> Влияние радиуса базового цилиндра шнекового рыхлителя на процесс его взаимодействия с донными отложениями.....	115
<b>Артюшкин А.В., Ерасов И.А., Янкович А.В.</b> Моделирование взаимодействия прижимного движителя со сферической опорной поверхностью.....	121
<b>Кошелев Ю.В., Левшунов Л.С., Молев Ю.И.</b> усилие на рабочем органе и снегоуборочной машины и его влияние на качество удаления снега с очищаемой поверхности.....	127

<b>РАДИОТЕХНИКА, СИСТЕМЫ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ, АНТЕННЫ И УСТРОЙСТВА СВЧ.....</b>	<b>134</b>
<b>Ковалев А.Н., Ковалев Ф.Н.</b> Измерение угловых координат движущейся цели в просветных радиолокаторах с разнесенным приемом.....	134
<b>Лужавин Ю.И., Хранилов В.П.</b> Повышение эффективности проектирования систем воздушного охлаждения бортовой авиационной РЭА средствами интерактивного математического моделирования.....	140
<b>МЕХАНИКА ЖИДКОСТИ, ГАЗА И ПЛАЗМЫ.....</b>	<b>150</b>
<b>Авербух Е.Л., Тюгин Д.Ю., Наумов А.А., Чураев Е.Н., Смирнов Д.Ю.</b> Анализ затухания гравитационно-капиллярных волн под действием пленок поверхностно-активных веществ.....	150
<b>Николкина И.Ф., Диденкулова И.И., Пелиновский Е.Н., Шургалина Е.Г., Наумов А.А., Панкратов А.С., Рувинская Е.А.</b> Потенциально опасные оползневые зоны на берегах водоемов Нижегородской области.....	157
<b>ИНФОРМАТИКА И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ.....</b>	<b>167</b>
<b>Тимофеева О.П., Соколова Э.С., Милов К.В.</b> Генетический алгоритм в оптимизации упаковки контейнеров.....	167
<b>Бронфельд Г.Б.</b> Прямое наложение знаний и «практически вечное» сохранение знаний и информации .....	173
<b>МАШИНОСТРОЕНИЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ.....</b>	<b>183</b>
<b>Жилин П.Л., Конищев Б.П., Осипов В., Латаев П.А.</b> Оптимизация скорости аргодуговой сварки цилиндрических деталей из нержавеющей стали 12x18н10т.....	183
<b>Кабалдин Ю.Г., Кузьмишина А.М., Серый С.В.</b> Атомно-дислокационный подход к процессу резания металлов.....	189
<b>ЯДЕРНАЯ ЭНЕРГЕТИКА И ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА.....</b>	<b>199</b>
<b>Дмитриев С.М., Варенцов А.В., Доронков Д.В., Легчанов М.А., Д.Н. Солнцев</b> Экспериментальные и расчетные исследования межканального обмена теплоносителя в ТВС реактора КЛТ-40с.....	199
<b>Безносков А.В., Антоненков М.А., Бокова Т.А., Лемехов В.В., Львов А.В.</b> Особенности характеристик проточной части модели осевого насоса на высокотемпературном свинцовом теплоносителе.....	206
<b>ПРОБЛЕМЫ КОРАБЛЕСТРОЕНИЯ И ОКЕАНОТЕХНИКИ.....</b>	<b>214</b>
<b>Шайдуллин М.Г., Булаткин В.С.</b> Решение задачи внешнего проектирования судна в условиях неопределенности.....	214
<b>Антонов В.С., Грамузов Е.М., Зуев В.А., Ларин А.Г., Трапезников Ю.М.</b> Экспериментальные исследования возможности погружения подводного судна вмерзшего в лед.....	222

---

<b>ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА.....</b>	<b>231</b>
Смирнов А.Ю. Особенности конструирования и анализа высокооборотных синхронных машин постоянными магнитами на роторе.....	231
Лоскутов А.Б., Чивенков А.И., Соснина Е.Н., Лоскутов А.А., Зырин Д.В. Цифровая трансформаторная подстанция в интеллектуальных электрических сетях с автоматическим плавным регулированием напряжения и мощности.....	236
<b>МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ.....</b>	<b>246</b>
Курашкин К.В., Мишакин В.В. Использование результатов ультразвуковых и магнитных исследований для оценки напряжений без разгрузки материала.....	246
Магин Д.Ю., Костромин С.В. Исследование структуры и свойств высокопрочной теплостойкой стали после объемной термической обработки и лазерного поверхностного упрочнения.....	256
<b>ЭКОНОМИКА, ИННОВАЦИИ И МЕНЕДЖМЕНТ.....</b>	<b>262</b>
Мкртычян Г.А., Войлокова Е.Е. Опыт построения классификации причин сопротивления организационным изменениям.....	262
Яшин С.Н., Охезина Г.М. Формирование и практическая апробация методики многокритериальной оценки перспективности улучшающих процессных инноваций...	272
<b>СОЦИАЛЬНЫЕ НАУКИ, ИННОВАЦИИ В ОБРАЗОВАНИИ, PR-ТЕХНОЛОГИИ.....</b>	<b>282</b>
Маркова Т.В. общественный идеал как элемент идеологии преобразования: опыт русской философской публицистики начала XX века.....	282
Савенкова Е.С. К вопросу о современных подходах в обучении студентов оформлению деловых документов (жанр резюме).....	290
<b>МИКРОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ.....</b>	<b>297</b>
Вавилов В.Д., Суконкин А.Н. Обзор отечественных и зарубежных сигнализаторов обледенения.....	297
Суконкина М.Л., Гайнов С.И. Обзор методов и устройств виброзащиты приборных платформ.....	311
<b>МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ЕСТЕСТВЕННЫХ, ТЕХНИЧЕСКИХ И СОЦИАЛЬНЫХ НАУКАХ.....</b>	<b>320</b>
Елисеев М.Е., Сангалова М.Е. О классификации очагов аварийности.....	320
Баранова М.С., Гладков В.В., Ромашевская Е.Ф. Экспериментальное исследование точности различных алгоритмов построения ортонормированного базиса.....	327

## CONTENTS

### LAND-BASED TRANSPORT SYSTEMS ..... 11

#### *Automobile transport*

<b>Groshev A.M., Korchazhkin G.M.</b> Half of century at the forefront of the nizhny novgorod road transport.....	11
<b>Kustikov A.D., Kuzmin N.A., Korchazhkin M.G.</b> Problems of reliability of city buses transmissions.....	18
<b>Fedosova M.E., Fedosov A.E., Berdnikov L.A., Proshin D.N.</b> Determination of reasons and mechanisms of automobile paint coating defects.....	27
<b>Borisov G.V., Erofeeva L.N.</b> Update of technical and economic method of determination of automobile technical influences optimal periodicity.....	37
<b>Lozovskiy N.T., Borisov G.V., Kuzmin N.A.</b> Operational durability of truck cabs.....	44
<b>Lipenkov A.V.</b> Simulation model of a bus stop of city public transport.....	50
<b>Suvorov I.A., Berdnikov L.A.</b> Study the possibility of thermal optimization of turbocharger rotor with carrying out finite element analysis.....	56
<b>Korchazhkin M.G., Soloviev S.S.</b> Features of operational reliability of automobile automatic transmissions.....	66

#### *Designing land transport system*

<b>Belyakov V.V., Zezyulin D.V., Kolotilin V.E., Makarov V.S.</b> Movability of ground transport and technological vehicles.....	72
<b>Kravets V.N.</b> Normal reactions of wheels of two-axle vehicle in accordance with support surface adhesion.....	78
<b>Orlov L.N., Gerasin A.V., Tumasov A.V., Trusov Y.P.</b> tests for strength and computer simulation of local areas of car and bus body constructions.....	86
<b>Peskov V.I., Voronkov O.V.</b> Computational and experemental comparison of stiffness of bus bodies.....	91
<b>Leliovskiy K.Y., Makarov V.S.</b> Studying the transmission vibration during the vehicle motion upon the roads of various microprofile.....	98

#### *Construction and road building machinery*

<b>Vachidov U.Sh., Shapkin V.A., Shapkina J.V.</b> Analysis of the car vibroacoustic parameters.....	104
<b>Shapkina J.V. Vachidov U. Sh., Shapkin V.A.</b> The concept "source-path-reciver" for the vibroacoustic analysis of the car.....	110
<b>Sogin I.A., Khudyakov V.N., Shapkin V.A.</b> Influence of radius of the screw basic cylinder of the ripper on process of its interaction with ground deposits.....	115
<b>Artyushkin A.V., Erasov I.A., Jankovic A.V.</b> Modelling of interaction of the clamping propeller with the spherical basic surface.....	121
<b>Koshelev Yu.V., Levshunov L.S., Molev Yu.I.</b> Effort on working body and the snowplow and its influence on quality of removal of snow from the cleared surface .....	127



<b>RADIO ENGINEERING, TELECOMMUNICATION SYSTEMS, AERIALS AND SHF DEVICES.....</b>	<b>134</b>
<b>Kovalev A.N., Kovalev F.N.</b> Estimating the angular coordinates of moving target in forward-scattering multistatic radars .....	134
<b>Luzhavin Yu.I., Khranilov V.P.</b> Increase of efficiency of design air cooling systems onboard aircraft radio electronic equipment by means of interactive mathematical modelling.....	140
<b>MECHANICS OF FLUID, GAS AND PLASMA .....</b>	<b>150</b>
<b>Averbukh E., Tyugin D., Naumov A., Churaev E., Smirnov D.</b> Damping analysis of gravity-capillary waves under the influence of surfactant.....	150
<b>Nikolkina I., Didenkulova I., Pelinovsky E., Shurgalina E., Naumov, Pankratov A., Rouvinskaya E.</b> Hazardous landslides along water basins a. of nizhny novgorod region.....	157
<b>INFORMATION SCIENCE AND CONTROL SYSTEMS.....</b>	<b>167</b>
<b>Timofeeva O.P., Sokolova E.S., Milov K.V.</b> Genetic algorithm in optimization of orthogonal containers packing .....	167
<b>Bronfeld G.</b> The direct knowledge overlay and «practically perpetual» preservation of knowledge and information.....	173
<b>MECHANICAL ENGINEERING AND AUTOMATION .....</b>	<b>183</b>
<b>Zhilin P.L., Konishchev B.P., Osipov I.V., Lataev P.A.</b> Optimize the speed of tig welding cylindrical parts stainless steel 12x18h10t.....	183
<b>Kabaldin Yu.G., Kuzmishina A.M., Sery S.V.</b> Atomic- dislocation approach to the process of metal cutting.....	189
<b>NUCLEAR POWER ENGINEERING AND APPLIED PHYSICS .....</b>	<b>199</b>
<b>Dmitriev S.M., Varentsov A.V., Doronkov D.V., Legchanov M.A., Solntsev D.N.</b> Experimental and computational modeling inter-channel exchange of nuclear reactor fa KLT-40s.	199
<b>Beznosov A.V., Antonenkov M.A., Bokova T.A., Lemehov V.V., Lvov A.V.</b> Performance characteristics of flow model axial flow pump in the high-lead coolant.....	206
<b>PROBLEMS OF SHIPBUILDING AND OCEAN TECHNOLOGY.....</b>	<b>214</b>
<b>Shaydullin M.G., Bulatkin V.S.</b> Vessel external design solution under conditions of uncertainty.....	214
<b>Antonov V.C., Gramuzov E.M., Zhev V.A., Larin A.G., Trapeznikov U.M.</b> Experimental study of the possibility of dive the submarine frozen in the ice.....	222
<b>ELECTRICAL ENGINEERING AND POWER INDUSTRY .....</b>	<b>231</b>
<b>Smirnov A.Yu.</b> The design and analysis features of high rpm with rotor-permanent magnet synchronous machines.....	231
<b>Loskutov A.B., Chyvenkov A.I., Sosnina E.N., Loskutov A.A., Zyryin D.V.</b> Digital transformer substation in intellectual power grids with automatic smooth adjustment of voltage and power.....	236

<b>METALLURGY AND SCIENCE MATERIALS .....</b>	<b>246</b>
<b>Kurashkin K.V., Mishakin V.V.</b> Use of results of ultrasonic and magnetic investigations for evaluation of stresses without unloading the material.....	246
<b>Magin D.U., Kostromin S.V.</b> Investigation of structure and properties of high heat resistant steel after heat treatment and laser surface hardening.....	256
<b>ECONOMICS, INNOVATIONS AND MANAGEMENT .....</b>	<b>262</b>
<b>Mkrtychyan G.A., Voyloкова E.E.</b> The classification of causes of resistance to organizational changes.....	262
<b>Yashin S.N., Okhezina G.M.</b> Formation and practical approbation of a technique многокритериальной estimations of perspectivity of improving process innovations.....	272
<b>SOCIAL SCIENCES, EDUCATIONAL INNOVATIONS, PR-TECHNOLOGIES.....</b>	<b>282</b>
<b>Markova T.V.</b> Social ideal as transformation ideology element:the experience of russian philosophical journalism of the beginning of the twentieth century.....	282
<b>Savenkova E.S.</b> On the modern ways of teaching students how to write bussiness documents (the curriculum vitae genre).....	290
<b>MICROELECTROMECHANICAL SYSTEMS.....</b>	<b>297</b>
<b>Vavilov V.D., Sukonkin A.N.</b> Review of domestic and foreign ice detectors.....	297
<b>Sukonkina M.L., Gainov S.I.</b> Overview of the methods and devices of devices board vibroprotection .....	311
<b>MATHEMATICAL METHODS IN NATURAL, TECHNICAL ANDSOCIAL SCIENCES .....</b>	<b>320</b>
<b>Eliseev M.E., Sangalova M.E.</b> On classification of foci of traffic accidents.....	320
<b>Baranova M.S., Gladkov V.V., Romashevskaja E.F.</b> The experimental investigation of the accuracy of different algorithms for orthonormal basis construction.....	327

# НАЗЕМНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

## Автомобильный транспорт

УДК 621.113

А.М. Грошев<sup>1</sup>, Г.М. Корчажкин<sup>2</sup>

### ПОЛВЕКА В АВАНГАРДЕ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА НИЖЕГОРОДСКОГО ПОЛИТЕХА

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева<sup>1</sup>,  
Ассоциация автомобильных перевозчиков Нижегородской области<sup>2</sup>

Цель данного аналитического исследования – представить этапы становления образования в области автомобильного транспорта в НГТУ им. Р.Е. Алексеева. Указанная деятельность в вузе осуществляется кафедрой «Автомобильный транспорт», которой в декабре 2013 года исполняется 50 лет. Базовыми учебными направлениями кафедры являются: техническая и коммерческая эксплуатация автомобилей, основы производства и ремонта автомобилей, основы теории надежности и диагностики автомобилей, логистика на автомобильном транспорте, технологические процессы технического обслуживания и ремонта автомобилей, проектирование предприятий автомобильного транспорта, организация перевозок и безопасность дорожного движения, транспортное право и законодательство и др. Кафедра широко известна учебно-методическими и научными разработками сотрудников, имеет солидную учебную и научную лабораторную базу. За все время существования кафедры по всем формам обучения выпущено более 4500 высококвалифицированных инженеров, бакалавров и магистров автомобильного транспорта. Выпускники разных лет вносили и вносят весомый вклад в развитие экономики Нижегородского региона и России.

*Ключевые слова:* автомобильный транспорт, государственные образовательные стандарты, бакалавр, магистр, профили и направления обучения, учебно-методическая литература, научная деятельность.

Подготовкой специалистов автомобильного транспорта высшей квалификации в Нижегородском регионе занимается кафедра «Автомобильный транспорт» Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева. Кафедра создана 18 декабря 1963 года, и первым ее заведующим был кандидат технических наук, доцент Георгий Иванович Гавриленко, который в то время также являлся деканом Машиностроительного факультета ГПИ им. А.А. Жданова. Машиностроительный факультет выделился из механического в 1958 году, который с 1950 года опять же возглавлял Г.И. Гавриленко (рис. 1).



Рис. 1. Г.И. Гавриленко

В разные годы на кафедре работали известные педагоги и ученые: Г.И. Гавриленко, А.А. Мельников, П.Э. Сыркин, Н.М. Кислицин, В.И. Чумак, Р.А. Мусарский, Л.С. Синельников, Ф.А. Цхай, В.И. Денисов, В.С. Козлов, П.П. Вышеславцев, В.Ф. Кулепов, В.В. Колотилин и др.

В настоящее время высокий уровень кафедры поддерживают педагоги и ученые: проф. Н.А. Кузьмин, проф. Л.Г. Лавров, доценты: В.В. Зеленцов, М.Г. Корчажкин, Н.Т. Лозовский, Л.А. Бердников, В.В. Ясенов, и другие. В составе кафедры: 4 профессора, 11 доцентов, 4 старших преподавателя, 6 ассистентов и 7 человек учебно-вспомогательного состава.

					
<i>Лавров Л.Г., профессор</i>	<i>Бердников Л.А., доцент, зам. зав. каф.</i>	<i>Кузьмин Н.А., профессор, зав. каф.</i>	<i>Корчажкин М.Г., доцент, зам. зав. каф.</i>	<i>Зеленцов В.В., доцент</i>	
					
<i>Лозовский Н.Т., доцент</i>	<i>Гончаров К.О., доцент</i>	<i>Ясенов В.В., доцент, зам. зав. каф.</i>	<i>Крупа В.В., доцент</i>	<i>Кравченко В.Н., доцент</i>	
					
<i>Михеев А.В., доцент</i>	<i>Молев Ю.И., профессор</i>	<i>Петров А.Ю., профессор</i>	<i>Елисеев М.Е., доцент</i>	<i>Катаев Н.Н., доцент</i>	
					
<i>Плеханов Д.К., ст. преподаватель</i>	<i>Борисов Г.В., ст. преподаватель</i>	<i>Липенков А.В., ст. преподаватель</i>	<i>Ильянов С.Н., ст. преподаватель</i>	<i>Кустиков А.Д., ассистент</i>	
					
<i>Бузынин Н.П., ассистент</i>	<i>Суворов И.А., ассистент</i>	<i>Кулагин А.Л., ассистент</i>	<i>Кряков В.Г., ассистент</i>	<i>Пичулкин А.А., ассистент</i>	
					
<i>Шарутина О.К., вед. инженер</i>	<i>Гумасова Н.А., вед. инженер</i>	<i>Архипов А.Н., зав. лабораторией</i>	<i>Денисов В.М., вед. инженер</i>	<i>Рябинина Е.В., инженер 1 кат.</i>	<i>Зотина Т.С., инженер</i>

**Рис. 2. Коллектив кафедры «Автомобильный транспорт» НГТУ им. Р.Е. Алексеева в юбилейном 2013 году**

*В разные годы кафедрой руководили:*

- доцент Г.И. Гавриленко (1963-1975 гг.); доцент А.А. Мельников (1975-1986 гг.);
- доцент Л.Г. Лавров (1986-1991 гг.); профессор Р.А. Мусарский (1991-1994 гг.);
- доцент Л.Г. Лавров (1994-2004 гг.); профессор Н.А. Кузьмин (с 2004 г. по н.в.).

Кафедра «Автомобильный транспорт» НГТУ им. Р.Е. Алексеева широко известна учебно-методическими и научными разработками сотрудников, имеет солидную учебную и научную лабораторную базу, оснащена современной электронно-вычислительной техникой.

На рис. 2. представлен профессорско-преподавательский и часть учебно-вспомогательного состава кафедры

Кафедра производит обучение согласно действующим Государственным образовательным стандартам РФ II и III поколения по направлениям подготовки бакалавров 190500.62 «Эксплуатация транспортных средств» (далее – по специальности «Автомобили и автомобильное хозяйство») и 190600.62 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» (профиль «Автомобили и автомобильное хозяйство»). Кроме того, по ГОС III с 2012 года начат набор по направлению подготовки бакалавров 190700.62 «Технология транспортных процессов» (профиль «Организация автомобильных перевозок и управление на транспорте (логистика на автомобильном транспорте)». Наиболее успешно обучающиеся студенты учатся дополнительно два года в магистратуре по профессиональной образовательной программе «Техническая эксплуатация автомобилей» направления 190600.68 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов». Обучение проводится по распространенным формам: дневная, заочная, вечерняя (очно-заочная), вечерняя (очно-заочная) ускоренная (на базе соответствующего средне-технического образования).

*Базовые учебные направления*

- Техническая эксплуатация автомобилей. Основы работоспособности технических систем (руководитель – заведующий кафедрой, профессор Н.А. Кузьмин);
- Теория транспортных процессов (руководитель – профессор Л.Г. Лавров);
- Основы производства и ремонта автотранспортных средств. Лицензирование и сертификация на автомобильном транспорте (руководитель – доцент Л.А. Бердников);
- Логистика на автомобильном транспорте. Транспортная инфраструктура (руководитель – доцент В.В. Ясенов);
- Основы теории надежности и диагностики автомобилей (руководитель – доцент М.Г. Корчажкин);
- Проектирование предприятий автомобильного транспорта. Техно-эксплуатационные качества дорог и городских улиц (руководитель – доцент Н.Т. Лозовский);
- Технологические процессы технического обслуживания и ремонта ТИТМО (руководитель – доцент В.В. Крупа);
- Организация перевозок и безопасность дорожного движения (руководитель – профессор Ю.И. Молев);
- Транспортное право и законодательство. Основы инструментального контроля (руководитель – доцент Н.Н. Катаев);
- Документооборот на автомобильном транспорте (руководитель – профессор А.Ю. Петров);
- Управление техническими системами (руководитель – доцент А.В. Михеев);
- Моделирование производственных процессов (руководитель – старший преподаватель А.В. Липенков);
- Международные автомобильные перевозки (руководитель – старший преподаватель Г.В. Борисов).

Руководителями направлений и другими преподавателями за последние 10 лет разработано и написано 35 учебных пособий, опубликовано более 80 учебно-методических изданий. Из наиболее авторитетных изданий следует признать учебные пособия с грифами Министерства образования и науки РФ и Учебно-методического объединения вузов РФ [1,2,3 и др.]

Учитывая высокий уровень учебно-методической работы на кафедре «Автомобильный транспорт» НГТУ руководством профильного УМО вузов РФ было принято решение о проведении в НГТУ в апреле 2013 года заседания Учебно-методического Совета УМО вузов РФ Минобрнауки России по направлению подготовки 190600.65 «Эксплуатация наземного транспорта и транспортного оборудования» с участием представителей вузов России в УМО и заведующих кафедрами, ведущих подготовку по специальностям 190601.65 «Автомобили и автомобильное хозяйство» и 190603.65 «Сервис транспортных и технологических машин и оборудования» (по отраслям) и направлениям подготовки бакалавров и магистров 190600.62;68 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов». На заседании решались вопросы качества и особенностей подготовки студентов указанных направлений и профилей обучения в стране. Фото представителей вузов страны представлено на рис. 3.



Рис. 3. Участники УМС УМО вузов России (Н.Новгород, апрель 2013 год)

Уровень материальной базы кафедры для обучения студентов существенно повысился в 2013 году в связи с капитальным ремонтом лабораторного зала и приобретения современного технологического оборудования и инструментов. Кроме того, руководством АМИ обеспечена организация обучения студентов на площадях Автомобильного центра Европейских Образовательных Технологий («Евротех»), который представляет собой структурное подразделение НГТУ им. Р.Е. Алексеева, созданное по Программе стратегического развития (ПСР). В соответствии с ПСР на закупку только обучающих стендов выделены средства в размере 23 млн руб. Генеральный партнер проекта – Национальная Автомобильная Образовательная Ассоциация, Франция (GNFA). «Евротех» создан для подготовки и переподготовки инженерных кадров в области эксплуатации, ремонта и диагностики автомобильного

транспорта (легковых, грузовых автомобилей и автобусов). «Евротех» оснащен современными обучающими стендами с реальными узлами, агрегатами легковых и грузовых автомобилей для проведения практических и лабораторных работ.

На кафедре ведется научная работа. За последние 5 лет сотрудниками опубликовано более 280 печатных работ по актуальным вопросам автомобильного транспорта. Из выпускников магистратуры формируется аспирантура кафедры, где в настоящее время обучается четыре человека. Основные эффективные научные направления кафедры в настоящее время:

1. Оптимизация пассажирских автомобильных потоков с использованием имитационного моделирования [4, 5, 6, 7];
2. Разработка научно-методологического обеспечения анализа и повышения эксплуатационной надежности деталей двигателей и автомобилей [8, 9].

Преподаватели и сотрудники кафедры участвуют в выполнении НИР по договорам для предприятий реального сектора экономики, а также по тематическому плану НИР Минобрнауки и грантам.

За все время существования кафедры «Автомобильный транспорт» НГТУ по всем формам обучения подготовлено более 4500 высококвалифицированных специалистов (инженеров бакалавров и магистров) автомобильного транспорта. Проходной балл и конкурс при поступлении в университет на направления, профили и специальности кафедры традиционно один из самых высоких. Этим объясняется сравнительно большое количество (для студентов технических специальностей вуза) выпускников, получающих дипломы с отличием. Кафедра гордится выпускниками-отличниками.

Следует отметить, что в последние годы кафедра удачно выступает на зональных и Всероссийских конкурсах дипломных проектов по специальности «Автомобили и автомобильное хозяйство». В частности, за последние 4 года в данном конкурсе неизменно выигрывались дипломы I степени.

Выпускники кафедры разных лет всегда вносили и вносят весомый вклад в развитие экономики Нижегородского региона и России, работая на высоких административных должностях:

1. Трефилов Вячеслав Алексеевич – зам. начальника ФСО РФ, генерал-полковник;
2. Курушин Андрей Николаевич – директор Ассоциации международных автомобильных перевозчиков (АСМАП) России; директор Департамента транспорта и дорожного хозяйства Нижегородской области (2004 -2008 гг.);
3. Крайнов Евгений Николаевич – заместитель директора Департамента транспорта Нижегородской области;
4. Катаев Николай Николаевич – руководитель Приволжского отделения Российской транспортной инспекции, канд. техн. наук;
5. Гойхман Алексей Леонидович – президент ТП «Нижегородец», председатель Комитета по транспорту Думы Н.Новгорода;
6. Макаров Александр Витальевич – министр государственного имущества и земельных ресурсов Нижегородской области;
7. Абышев Сергей Владимирович – генеральный директор корпоративного университета «Группы ГАЗ», председатель Думы Н.Новгорода (2000-2002 гг.), канд. фил. наук;
8. Корчажкин Георгий Михайлович – генеральный директор ГП НО «Нижегородпассажиравтотранс» (2001-2004 гг.), президент Ассоциации автомобильных перевозчиков Нижегородской области;

9. Донато Игорь Олегович – начальник ФГУ «Управление автомагистрали Москва - Н.Новгород», депутат Законодательного собрания Нижегородской области, д-р техн. наук;
10. Петров Алексей Юрьевич – проректор Волжского государственного инженерно-педагогического университета, д-р пед. наук;
11. Волков Валерий Павлович – генеральный директор АО «Трансинвест НН»;
12. Аблызалов Василий Константинович – генеральный директор ОАО «ВолгоВестТранс»;
13. Спиридонов Олег Геннадьевич – генеральный директор ООО «МАХА Россия»;
14. Патрин Евгений Иванович – технический директор ОАО «Ока-Лада»;
15. Минеев Игорь Михайлович – директор ОАО «Волгогипроавтотранс»;
16. Яновер Виталий Маркович – генеральный директор ОАО «Прогресс»;
17. Метельков Станислав Борисович – генеральный директор АООТ «Движение»;
18. Илюшкин Владимир Дмитриевич – генеральный директор ОАО «ТрансАвто-П»;
19. Шаталов Олег Михайлович – генеральный директор ОАО «Дзержинсктранссер-вис»;
20. Шварц Григорий Михайлович – генеральный директор ООО «Такси-сервис»;
21. Бирюков Александр Владимирович – генеральный директор ООО «Мобиле-Транспорт»;
22. Черемин Вячеслав Александрович – генеральный директор ОАО «Волжское»;
23. Ловков Григорий Константинович – генеральный директор «Автоцентр «ДИТАС»»;
24. Дедиков Евгений Михайлович – генеральный директор ГП НО «Нижегородпассажирвтотранс» (1987-1997 гг.);
25. Рат Михаил Львович – генеральный директор ГП НО «Нижегородпассажиравтотранс» (1997-2001 гг.);
26. Вахидов Умар Шахидович – зав. кафедрой СДМ НГТУ, д-р техн. наук;
27. Курагина Татьяна Игоревна – заместитель директора Автомобильного института НГТУ, доцент, канд. техн. наук.

#### Библиографический список

1. Кузьмин, Н.А. Техническая эксплуатация автомобилей: нормирование и управление: учеб. пособие / Н.А. Кузьмин. – М.: ФОРУМ, 2011. – 224 с.
2. Кузьмин, Н.А. Техническая эксплуатация автомобилей: закономерности изменения работоспособности: учеб. пособие / Н.А. Кузьмин. – М.: ФОРУМ, 2011. – 208 с.
3. Кузьмин, Н.А. Теория эксплуатационных свойств автомобиля: учеб. пособие / Н.А. Кузьмин, В.И. Песков – М.: ФОРУМ; НИЦ ИНФРА-М, 2013. – 256 с.
4. Липенков, А.В. О результатах комплексного исследования остановочных пунктов городского пассажирского транспорта в г. Нижнем Новгороде // Мир транспорта и технологических машин. 2012. №4. С. 93–102.
5. Липенков, А.В. О подходах к моделированию времени простоя автобусов на остановочных пунктах городского пассажирского транспорта / А.В. Липенков, О.А. Маслова, М.Е. Елисеев // Мир транспорта и технологических машин. 2012. №3. С. 84–93.
6. Лавров, Л.Г. Моделирование транспортных процессов и управление ими / Л.Г. Лавров, Н.А. Кузьмин // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2010. №3. С. 138–147.
7. Ясенов, В.В. Проблемы развития муниципального городского пассажирского автотранспорта // Автотранспортное предприятие. 2009. № 5. С. 17–18.
8. Кузьмин, Н.А. Проблемы надежности трансмиссий городских автобусов / Н.А. Кузьмин, А.Д. Кустиков // Автотранспортное предприятие. 2013. № 8. С. 39–42.
9. Кузьмин, Н.А. Выбор граничных условий для моделирования / Н.А. Кузьмин, И.О. Донато // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2011. № 1. С. 138–147.



Дата поступления  
в редакцию 17.10.2013

A.M. Groshev<sup>1</sup>, G.M. Korchazhkin<sup>2</sup>

## HALF OF CENTURY AT THE FOREFRONT OF THE NIZHNY NOVGOROD ROAD TRANSPORT

Nizhny Novgorod state technical university named after R.Y. Alekseev<sup>1</sup>,  
Association of Road Carriers of the Nizhny Novgorod region<sup>2</sup>

**Purpose:** The purpose of this research study - present stages of education in the field of road transport in the NSTU them. RE Alexeev. This activity is carried out in high school kafed-swarm "Road Transport", which is 50 years old in December 2013.

**Design/methodology/approach:** The main areas of basic education department are: the technical and commercial operation of the vehicle, the basics of automobile production and repair, basic theory of reliability and diagnostics of cars, transport logistics, processes of automobile maintenance and repair, design of road transport enterprises, the organization of traffic and road safety, transport law and legislation, administration etc.

**Findings:** In recent years the department has successfully performs at the zonal and All-Russian competitions degree projects in "in car industry." In particular, over the last 4 years in this competition has always been won by the diplomas of I degree.

**Research limitations/implication:** The department is well-known educational-methodical and scientific development staff has a solid academic and research laboratory facilities.

**Originality/value:** During the existence of the department "Road transport" NSTU on all forms of training produced more than 4,500 highly skilled road transport engineers (of which in recent years has bachelor's and master's degrees). The department graduates from different years have always made and are making a significant contribution to the economic development of the Nizhny Novgorod region and Russia, working in high administrative positions.

*Key words:* road transport, the state educational standards, Bachelor, Master, profiles and areas of study, teaching literature, scientific activity.

УДК 621.113

А.Д. Кустиков<sup>1</sup>, Н.А. Кузьмин<sup>2</sup>, М.Г. Корчажкин<sup>2</sup>**ПРОБЛЕМЫ НАДЕЖНОСТИ ТРАНСМИССИЙ ГОРОДСКИХ АВТОБУСОВ**Общество с ограниченной ответственностью «Автомобили Баварии»<sup>1</sup>,  
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева<sup>2</sup>

Целью работы является исследование возможностей увеличения ресурса агрегатов трансмиссии городских автобусов, работающих на маршрутах с подъемами на примере ПАЗ-32054 и ГАЗ-322132. А также установление наличия причинно-следственной связи между отказами трансмиссии и системой технического обслуживания. Свойства работающего масла агрегатов трансмиссии (особенно коробки перемены передач) вследствие температурных, скоростных и нагрузочных воздействий (а также внешних загрязнений) заметно меняются в зависимости от времени и условий эксплуатации. Для оценки физико-химических характеристик трансмиссионного масла использовались нормативные документы, действующие в настоящее время на территории Российской Федерации. Установлено, что при соблюдении рекомендованной периодичности технического обслуживания массовая доля механических примесей и массовая доля воды в трансмиссионном масле могут превышать допустимое значение. В связи с этим предложены решения по повышению надежности трансмиссий путем корректирования периодичности и содержания технических обслуживаний. Периодичности упреждающих операций рассчитаны по допустимому уровню безотказности.

*Ключевые слова:* отказ, трансмиссия, маршрут с подъемом, трансмиссионное масло, механические примеси, массовая доля воды, периодичность обслуживания, надежность.

Надежность агрегатов автомобилей максимальна при работе на стационарных режимах. Это доказывает опыт их эксплуатации. Известно, что в условиях загородных маршрутов на добротных дорогах (в условиях I категории эксплуатации) надежность автомобилей существенно выше, чем при городской эксплуатации. В городах нестационарность работы агрегатов автомобилей обуславливается, прежде всего, частыми остановками и последующими разгонами при наличии светофоров, пешеходных переходов, железнодорожных переездов и пр. Положение усугубляют также современные реалии с заторами («пробками») на дорогах, достаточно крутые подъемы и спуски на маршрутах движения автомобилей в большом количестве городов, примыкающих к крупным рекам и морям. Все это вызывает необходимость частых торможений, переключений передач и т.д. При этом в зацеплениях трансмиссий автомобилей пульсируют ударные нагрузки. Данное обстоятельство приводит к разрушению масляных плёнок в зацеплениях, что способствует интенсификации процессов изнашивания трущихся пар деталей агрегатов [1].

Все факторы снижения надежности агрегатов автомобилей в городских условиях эксплуатации особенно ярко проявляются на примере автобусов с механической коробкой передач (МКП). Сегодня каждый третий городской автобус на территории РФ имеет трансмиссию с МКП.

Результаты специальных исследований надежности городских автобусов для условий Н.Новгорода показали, что после двигателя наибольшая доля отказов таких автобусов приходится на агрегаты трансмиссии, например, 23% у автобусов ПАЗ-32054, 19% – у микроавтобусов ГАЗ-322132. В свою очередь отказы трансмиссии распределяются следующим образом: 70% – отказы сцепления, 17% – коробки передач (КП), 10% – карданной передачи, 3% – заднего моста.

Существенным отличием условий функционирования агрегатов трансмиссий автомобилей является подверженность трущихся поверхностей деталей высоким удельным динамическим нагрузкам. Зубчатые колеса работают при высоких нагрузках и скоростях, а также значительных изменениях крутящего момента и часто проявляется изнашивание зубчатых

колес в виде поверхностного усталостного выкрашивания и износа торцов зубьев, что коррелируется с интенсивностью переключения передач [1].

Физико-химические и эксплуатационные свойства трансмиссионных масел должны в полной мере гарантировать долговечную и надежную работу агрегатов трансмиссии автомобиля. Разрушение масляных плёнок на контактирующих поверхностях зубьев шестерен происходит при неправильном выборе масла, причем только на низших передачах при высоких контактных нагрузках и больших значениях передаваемого крутящего момента (например, при движении в гору).

Свойства работающего масла агрегатов трансмиссии (особенно КП) вследствие температурных, скоростных и нагрузочных воздействий (а также внешних загрязнений) заметно меняются в зависимости от времени и условий эксплуатации. В них накапливаются продукты окисления и дорожной пыли, в результате меняются их физико-химические показатели. В частности, в ту или иную сторону изменяется вязкость, возрастает кислотное число, в масле появляются вещества, склонные к выпадению в осадок [2].

Следует также отметить, что интенсивность изменения температуры в агрегатах трансмиссии зависит от режима движения автомобиля и температуры окружающего воздуха. При этом температура масла в КП гораздо выше, чем в заднем мосту, ввиду дополнительного прогрева ее объема от двигателя, а также вследствие более интенсивного охлаждения моста воздухом при движении.

С точки зрения надежности наличие подъемов на маршруте следования автобусов приводит к достаточно ощутимому снижению показателей безотказности и долговечности агрегатов трансмиссии.

Исследования физико-химических свойств масел, отобранных через 40000 км пробега из КП автобусов ПАЗ, работающих на городских маршрутах с крутыми подъемами, показали, что массовая доля механических примесей в трансмиссионном масле более чем на 50% превышает допустимое значение, массовая доля воды в два раза превышает допустимое содержание, температура застывания масел вообще приближается к нулю. Следует отметить, что для равнинных маршрутов Н.Новгорода эти показатели остаются практически в пределах нормы (табл. 1).

Половина всех отказов сцепления приходится на рабочий и главный цилиндры гидравлического привода, а конкретнее на их манжеты. Это происходит из-за загруженности городских маршрутов (даже безотносительно к наличию подъемов), что вызывается необходимостью частых выжимов сцепления. Кроме того, при наличии на маршрутах крутых подъемов из-за постоянных перепадов температуры в тормозной жидкости привода сцепления образуется и накапливается конденсат (сцепление существенно разогревается в контакте с двигателем в конце подъемов). При этом чем больше влаги растворено в жидкости, тем раньше она будет закипать, а при низких температурах жидкость интенсивнее загустевает и хуже смазывает рабочие детали, поверхности которых при этом быстрее корродируют. Высокие температуры в системе и гигроскопичность жидкости приводят к ее обводнению и преждевременному старению. В этих условиях жидкость может отрицательно влиять на резиновые манжетные уплотнения тормозных цилиндров, вызывать коррозию металлических деталей.

Среди неисправностей карданной передачи можно выделить: зазоры в зацеплениях с проявлением рывков при трогании автобусов с места; вибрации при движении, биение и стук карданного вала (следствие дисбаланса); повышенный нагрев карданных соединений; повышенный люфт вала. На степень нарушения баланса существенно влияют зазоры в соединениях шлицев и крестовин, нарушение которых происходит из-за несвоевременного закладывания смазки и протяжки фланцев. Эти операции, как правило, проводятся при ТО-2, а для исследуемых автобусов вообще не предусмотрены. Работы по балансировке карданной передачи необходимо осуществлять в тех случаях, когда возникают вибрации на определенных скоростных режимах, а также при заменах крестовин и подшипников качения промежуточной опоры. На это в реальных условиях эксплуатации мало обращается внимания.

Таблица 1

**Анализ масла трансмиссионного марки ТАп-15В при пробеге 40 тыс. км  
на равнинном маршруте и маршруте с подъемом**

№	Наименование показателей	Нормы	Фактически (равнинный)	Фактически (с подъемом)	Методы испытаний
1	Плотность при 20°C, г/см <sup>3</sup> , не более	0.930	0.9230	0.9390	ГОСТ 3900
2	Вязкость кинематическая при 100°C, мм <sup>2</sup> /с, (сСт)	14.0-16.0	14.70	14.97	ГОСТ 33
3	Температура вспышки, определяемая в открытом тигле, °С, не ниже	185	193	199	ГОСТ 4333
4	Температура застывания, °С, не выше	-20	- 20	- 7	ГОСТ 20287
5	Массовая доля механических примесей, %, не более	0.03	0.0291	0.0466	ГОСТ 6370
6	Массовая доля воды, %, не более	следы	следы	0.21	ГОСТ 2477
7	Испытание на коррозию в течение 3-х часов при 100 °С на пластинах из стали и меди	выдерживает	выдерживает	выдерживает	ГОСТ 2917
8	Массовая доля активных элементов: серы, не более	-	2.03	2.18	ГОСТ 1437
9	Содержание водорастворимых кислот и щелочей	отсутствие	отсутствие	отсутствие	ГОСТ 6307
10	Совместимость с резиной УИМ-1 (по изменению объема),%	4-10	10.09	11.01	ГОСТ 9.03 ГОСТ 23652 п.5.9

Таким образом, можно сделать вывод о том, что периодичность технических воздействий и их перечень на городские автобусы следует корректировать при наличии на маршруте подъемов и повышенной загруженности. Некоторый перечень мер, направленных на повышение надежности агрегатов трансмиссий городских автобусов, работающих на маршрутах с подъемами, представлен в табл. 2.

Самым ненадежным узлом в трансмиссии ПАЗ-32054 является сцепление. Для исключения износов рычагов привода, подшипников и фрикционных накладок предлагается осуществлять регулировку свободного хода вилки выключения сцепления с периодичностью 2000 км пробега. Часть отказов (замены манжет главного и рабочего цилиндров сцепления) можно исключить за счет смещения периодичности замены жидкости в приводе сцепления и осуществлять ее раз в год. Из-за частых переключений есть смысл осуществлять закладывание смазки в подшипник муфты выключения сцепления чаще, а именно с периодичностью 2000 км пробега.

В трансмиссии автобусов ПАЗ-32054 17% отказов приходится на КП – выходят из строя шестерни понижающих передач, прокладка крышки подшипника первичного вала, сальник крышки заднего подшипника вторичного вала, подшипники. Большинство отказов КП можно предупредить более частой заменой трансмиссионного масла.

На микроавтобусе ГАЗ-322132 самым ненадежным агрегатом является КП. Для повы-

шения надежности предлагается чаще производить замену масла, очистку сапуна, смазку шарниров привода.

**Таблица 2**

**Периодичность упреждающих ТО автобусов городских маршрутов  
с крутыми подъемами**

Наименование работ	Периодичность по регламенту	Скорректированная периодичность
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
<b>Автобус ПАЗ-32054</b>		
<b>Сцепление</b>		
Регулировка свободного хода вилки выключения сцепления	3200	2000
Замена рабочей жидкости привода сцепления	раз в два года	осеннее СО*
Смазка подшипника муфты выключения сцепления	3200	2000
<b>Коробка передач</b>		
Замена масла	38400	35200
Очистить сапун	Раз в год	8000
Смазка шарниров привода	–	каждое СО*
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
<b>Карданная передача</b>		
Протянуть фланцы	3200	2000
Динамическая балансировка	–	35200
<b>Задний мост</b>		
Замена масла	38400	35200
Очистить сапун	Раз в год	каждое СО*
<b>Автобус ГАЗ-322132</b>		
<b>Коробка передач</b>		
Замена масла	48000	40000
Очистить сапун	16000	8000
<b>Карданная передача</b>		
Смазка подшипников карданных шарниров	16000	8000
Протянуть фланцы	16000	8000
Динамическая балансировка	-	40000
<b>Задний мост</b>		
Замена масла	48000	40000
Очистить сапун	16000	8000

\* СО – сезонное обслуживание

Периодичности ТО-1 исследуемых автобусов по рекомендациям заводов-изготовителей для I категории эксплуатации составляют: для ПАЗ-32054 ТО-1 – 4000 км, ТО-2 – 16000 км; для ГАЗ-322132 ТО-1 – 10000 км, ТО-2 – 20000 км. Для условий Н.Новгорода согласно нормативной документации [3,4] значения периодичностей ТО корректируются путем умножения данных значений на коэффициенты  $k_1 = 0,8$  (учитывает категорию условий эксплуатации) и  $k_3 = 1,0$  (учитывает климатический район эксплуатации). В итоге периодичности ТО для указанных автобусов составляют: ПАЗ-32054 ТО-1 – 3200 км, ТО-2 – 12800 км; для ГАЗ-322132 ТО-1 – 8000 км, ТО-2 – 16000 км.

Вычисления оптимальных периодичностей смены трансмиссионных масел автобусов осуществлялось с использованием известного метода – по допустимому уровню безопасности. По результатам исследований периодичность замены трансмиссионного масла автобуса ПАЗ-

32054 получена равной 35065 км, что не является кратным с периодичностью ТО-1. Однако, если принять периодичность замены равной 35200 км, то кратность с ТО-1 соблюдается.

Расчетная периодичность замены трансмиссионного масла микроавтобусов ГАЗ-322132 получена равной 41500 км. Для получения кратности с ТО-1 необходимо скорректировать периодичность замены до 40000 км. Это обоснованно, так как скорректированная периодичность данного технического воздействия не выходит за границы допустимого вероятности отказов (риска)  $F_d = 10\%$ .

Для исследуемых автобусов предлагается ввести также динамическую балансировку карданных валов, вообще не предусмотренную технической документацией. Данное техническое воздействие рационально проводить в комплексе с операциями замены трансмиссионных масел.

Все значения скорректированных периодичностей вышеуказанных технических воздействий представлены в табл. 3.

Ряд предлагаемых технических воздействий следует перенести из одного вида ТО в другое, что не вызывает особых сложностей. Обязательными дополнительными вмешательствами для автобусов ПАЗ-32054 являются только: *смазка шарниров привода КП* при каждом СО (два раза в год), три технических действия с периодичностью 2000 км – *регулировка свободного хода вилки выключения сцепления, смазка подшипника муфты выключения сцепления и протяжка фланцев карданной передачи*. Следует отметить, что при пробеге 8000 км целесообразна замена подшипника муфты выключения сцепления на новый.

### Пример расчета скорректированной периодичности замены масла в КП.

Исследуемая партия - 30 автобусов ПАЗ-32054.

Таблица 3

Выборка отказов КП 30 автобусов ПАЗ-32054

55582	37231	54841	51959	45471
65696	71518	86569	46245	48038
65407	98007	85253	56961	77441
53613	14927	29913	24933	80906
74630	38412	83806	69513	49443
75040	73997	92368	86928	63813

**Обработка статистических данных.** Объем выборки 30; Число интервалов 5; Шаг интервала 16616; Минимальное значение 14927; Максимальное значение 98007.

**Производим статистическую обработку наработок** на отказ и строим табл. 5, где  $m_i^I$  - число попаданий в интервал (число отказов в интервале);  $W_i^I$  - частость;  $X_i$  - середина интервала;  $F_i^I$  - оценка вероятности отказа;  $f_i^I$  - оценка плотности вероятности отказа;  $P_i^I$  - оценка вероятности безотказной работы

$$W_i^I = \frac{m_i^I}{N}; \quad F_i^I = \frac{\sum m_i^I}{N}; \quad P_i^I = 1 - F_i^I; \quad f_i^I = \frac{\sum m_i^I}{\Delta X \cdot N} \cdot (10^{-3})$$

Таблица 4

Номер интервала	$X_i$	$m_i^I$	$W_i^I$	$f_i^I \cdot 10^{-3}$	$F_i^I$	$P_i^I$
1	23235	3	0.10	0.007	0.1	0.90
2	39851	5	0.17	0.014	0.27	0.73
3	56467	7	0.23	0.028	0.50	0.50
4	73083	9	0.30	0.090	0.80	0.20
5	89699	6	0.20	0.012	1	0.00
		30	1			



Рис. 1



Рис. 2

**Вычисление числовых характеристик** статистического ряда  $\bar{m}, \bar{D}, \bar{\sigma}$ ;  $\bar{m}$  - статистическое математическое ожидание,

$\bar{D}$  - статистическая дисперсия,

$\bar{\sigma}$  - статистическое среднеквадратическое отклонение.

Статистическим математическим ожиданием или статистическим средним называется среднеарифметическое наблюдаемых значений случайной величины  $X$ .

$$\bar{m} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (1)$$

Статистической дисперсией называется среднеарифметическое значение величины  $(X - \bar{m})^2$  или

$$\bar{D} = \frac{(x_1 - \bar{m})^2 + (x_2 - \bar{m})^2 + \dots + (x_n - \bar{m})^2}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{m})^2}{n} \quad (2)$$

При большом объеме выборки вычисления по формулам (1) и (2) приводят к громоздким выкладкам. Для упрощения расчетов используют статистический ряд с границами  $(X_{i-1}; X_i)$  и частотами  $\bar{P}_i$ , где  $i = 1, 2, 3, \dots, k$ , находят середины интервалов  $\bar{X}_i = \frac{X_{i+1} + X_i}{2}$ , а затем все элементы выборки  $m_i$ , которые попали в интервал  $(X_{i-1}; X_i)$ , заменяют единственным значением  $\bar{X}_i$ , тогда таких значений будет  $m_i$  в каждом интервале  $(X_{i-1}; X_i)$

$$\bar{m} = \frac{\sum_{i=1}^k \bar{X}_i m_i}{n} = \sum_{i=1}^k \bar{X}_i \frac{m_i}{n} = \sum_{i=1}^k \bar{X}_i W_i \quad (3)$$

где  $\bar{X}_i$  - среднее значение соответствующего интервала  $(X_{i-1}; X_i)$ ;  $W_i$  - частота интервала  $(X_{i-1}; X_i)$

$$\bar{D} = \frac{\sum_{i=1}^k (\bar{X}_i - \bar{m})^2 m_i}{n} = \sum_{i=1}^k (\bar{X}_i - \bar{m})^2 \frac{m_i}{n} = \sum_{i=1}^k (\bar{X}_i - \bar{m})^2 \bar{p}_i \quad (4)$$

$$\bar{m} = \sum_{i=1}^k \bar{X}_i \bar{p}_i \quad (5)$$

$$\bar{D} = \sum_{i=1}^k (\bar{X}_i - \bar{m})^2 \bar{p}_i \quad (6)$$

$$\bar{\sigma} = \sqrt{\bar{D}} \quad (7)$$

$\bar{m}$  определяет положение центра группировки наблюдаемых значений случайной величины.  $\bar{D}$ ,  $\bar{\sigma}$  характеризуют рассеяние наблюдаемых значений случайной величины вокруг  $\bar{m}$

Таблица 5

Выборочное среднее	62006
Дисперсия	42947
Среднеквадратическое отклонение	20724
Коэффициент вариации	0,334

На основании построенного графика (рис 2) делаем предположение, что закон распределения данных наработок до отказа – Вейбулла-Гнеденко.

Проверяем соответствие опытных данных закону Вейбулла-Гнеденко. Вычисляем теоретические значения параметров выборки.

$$f(x) = \frac{b}{a} \left(\frac{x}{a}\right)^{b-1} \exp \left[ -\left(\frac{x}{a}\right)^b \right], \quad (8)$$

где  $a$  и  $b$  – параметры распределения.

Строим табл. 6, где  $m_i = f_i \cdot \Delta X \cdot N$ ;  $W_i = f_i \cdot \Delta X$ ;  $P_i = 1 - F_i$ .



Таблица 6

№	$X_i$	$m_i$	$W_i$	$f_i^l * 10^{-3}$	$F_i^l$	$P_i^l$
1	23235	1	0,03	0,004	0,065	0,935
2	39851	5	0,17	0,015	0,257	0,743
3	56467	8	0,27	0,039	0,552	0,448
4	73083	8	0,27	0,089	0,819	0,181
5	89699	4	0,13	0,018	0,955	0,045

Проверим принадлежность данной выборки к нормальному закону по критерию согласия хи-квадрат (Пирсона):

- определяем степень свободы:  $k = n - (r + 1) = 5 - (2 + 1) = 2$ , где  $n$  – число интервалов;  $r$  – число параметров в законе распределения;

- хи-квадрат Пирсона  $\chi_{оп}^2 = 2,06$ ;

- для  $k = 2$  и вероятности  $P(\chi^2) = \alpha = 0.1$  того, что закон выбран правильно, находим теоретическое значение  $\chi_\alpha^2 = \chi_{0,1}^2 = 4.61$  из соответствующей таблицы [2]. Сравниваем полученное теоретическое значение  $\chi_\alpha^2$  с опытным значением. Так как  $\chi_{оп}^2 < \chi_{теор}^2$ , то делаем вывод о правильности гипотезы, что распределение подчиняется нормальному закону.

**Находим оптимальную периодичность обслуживания  $l_0$ .** Строим график  $f(X) \cdot 10^{-3}$  (рис. 3), используя данные табл. 6. Вероятность отказа исследуемого КЭ (риск) определяется по выражению:

$$F_d = \int_0^{l_0} f(X) dX = F \left( \frac{l_0 - \bar{X}}{\sigma} \right). \quad (9)$$

Принимаем величину  $F_d = 0,1$  (как для КЭ автомобиля, не отвечающего за безопасность дорожного движения).

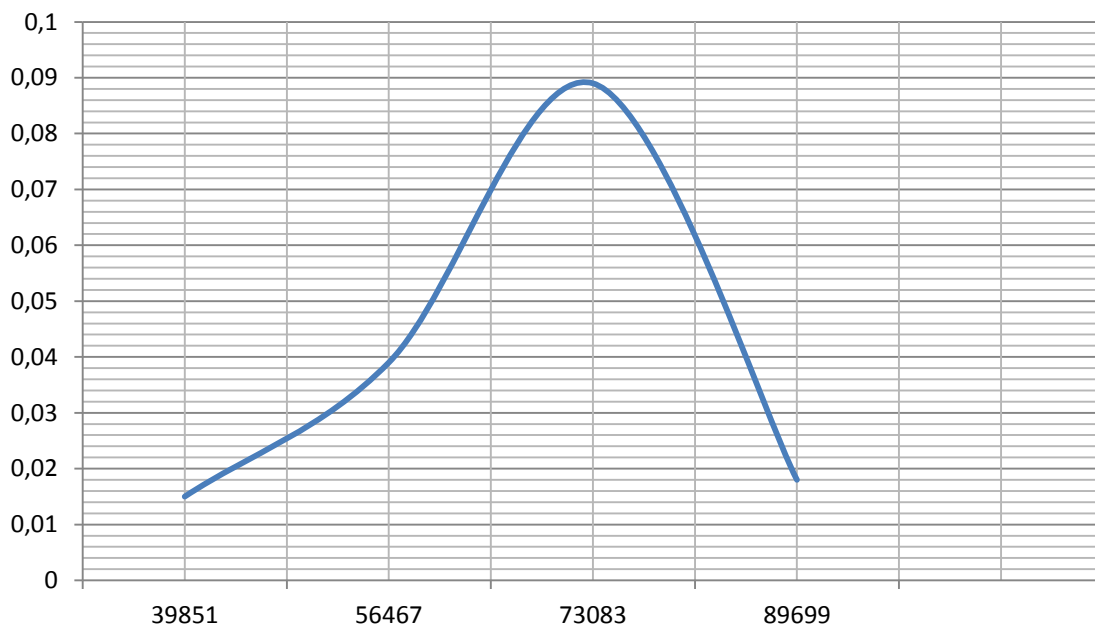


Рис. 3

Из таблицы нормального распределения имеем: при  $F(Z) = 0,1$ ,  $Z = -1,3$ , тогда:

$$l_0 = -1,3 \cdot 20724 + 62006 = 35065.$$

Таким образом, оптимальная периодичность замены масла в КП составляет 35065 км.

Результаты исследований актуальны для многих городов РФ, например, практически для всех, расположенных на крутых берегах больших рек и приморских берегах – Сочи, Владивосток, Калининград и т.д. Для городских автобусов общего пользования необходимо введение вышеуказанных упреждающих ТО при наличии на маршруте хотя бы одного подъема и если таких подъемов было не менее пяти за рабочую смену. При этом контрольным критерием введения упреждающих ТО является время нахождения автобуса на подъеме не менее 3 мин. Данные критерии действуют для указанных ранее автобусов ПАЗ и ГАЗ с бензиновыми двигателями и МКП.

Результаты исследований одобрены департаментами транспорта Н.Новгорода и Нижегородской области, а также головным предприятием ГП НО «Нижегородпассажиравтотранс»; внедрены в практику работы НПАП-7 Н.Новгорода; приняты к внедрению в муниципальных пассажирских автобусных предприятиях Нижегородской области и рекомендованы к внедрению в практику работы частного автобусного транспорта.

#### Библиографический список

1. **Кузьмин, Н.А.** Техническая эксплуатация автомобилей: нормирование и управление: учеб. пособие / Н.А. Кузьмин. – М.: ФОРУМ, 2011. – 224 с.
2. **Ролдугин, В.И.** Физикохимия поверхности: монография / В.И. Ролдугин. – Долгопрудный: Интеллект, 2008. – 568 с.
3. **Турсунов, А.А.** Экспериментальная оценка приспособленности АТС к горным условиям эксплуатации // Актуальные проблемы современной науки. – М., 2002. №2. С. 322-324.
4. **Кузьмин, Н.А.** Техническая эксплуатация автомобилей: закономерности изменения работоспособности: учеб. пособие / Н.А. Кузьмин. – М.: ФОРУМ, 2011. – 208 с.
5. **Зеленцов, В.В.** Эксплуатационные свойства и тепловые режимы поршневых автомобильных двигателей внутреннего сгорания: учеб. пособие / В.В. Зеленцов, В.В. Крупа. – Н.Новгород: НГТУ, 2002. – 72 с.

*Дата поступления  
в редакцию 17.10.2013*

**A.D. Kustikov<sup>1</sup>, N.A. Kuzmin<sup>2</sup>, M.G. Korchazhkin<sup>2</sup>**

#### PROBLEMS OF RELIABILITY OF CITY BUSES TRANSMISSIONS

Limited Liability Company «Auto Bavaria»<sup>1</sup>,  
Nizhny Novgorod state technical university named after R.Y. Alekseev (NSTU)<sup>2</sup>,

**Purpose:** research of opportunities of increase transmission units resource of buses which operating on routes with rises on the example of PAZ - 32054 and GAZ - 322132.

**Design/methodology/approach:** To evaluate the physical and chemistry characteristics of transmission units of city buses used by instruction.

**Findings:** Periodicity of technical impacts and their list of the buses will have to be made available on the route climbs and increased workload.

**Research limitations/implication:** for urban public buses should be the introduction of the above pre-emptive technical services available on a route of at least one lift and if such rises was not less than five per working shift.

**Originality/value:** The results of the research are relevant for passenger transport enterprises of many cities in Russia, for example, almost all located on the steep banks of large rivers and coastal shores.

*Key words:* failure, transmission, the route with rise, gear oil, mechanical impurities, mass fraction of water, frequency of service, reliability.

УДК 621.8+661.5

М. Е. Федосова<sup>1</sup>, А. Е. Федосов<sup>1</sup>, Л. А. Бердников<sup>2</sup>, Д. Н. Прошин<sup>3</sup>**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИЧИН И МЕХАНИЗМОВ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ДЕФЕКТОВ  
ЛАКОКРАСОЧНОГО ПОКРЫТИЯ АВТОМОБИЛЕЙ**

Дзержинский политехнической институт (филиал) Нижегородского государственного  
технического университета им. Р.Е. Алексеева<sup>1</sup>,  
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева<sup>2</sup>,  
ЧУ ДО «Региональный институт экспертизы»<sup>3</sup>

Целью исследования является установление наличия причинно-следственной связи между физико-механическими характеристиками и возникновением дефектов лакокрасочного покрытия автомобиля. Для оценки физико-механических характеристик лакокрасочного покрытия использовались действующие в настоящее время на территории Российской Федерации и ряда зарубежных стран нормативные документы. Установлено, что даже при визуальной схожести дефектов и одинаковой природе воздействующих агрессивных веществ дефекты могут иметь абсолютно разные причины возникновения. Накопление подобных результатов приведет к созданию базы данных, позволяющей по физико-механическим характеристикам современных лакокрасочных покрытий с определенной долей вероятности предположить срок службы покрытия и прогнозировать возникновение наиболее вероятных дефектов. Определение причин и механизмов возникновения дефектов лакокрасочного покрытия является актуальной задачей вследствие увеличения количества обращений потребителей. В ходе работы установлено, что для точного определения причин возникновения дефектов необходимо многостороннее исследование лакокрасочного покрытия автомобиля, в том числе, определение основных физико-механических показателей лакокрасочного покрытия.

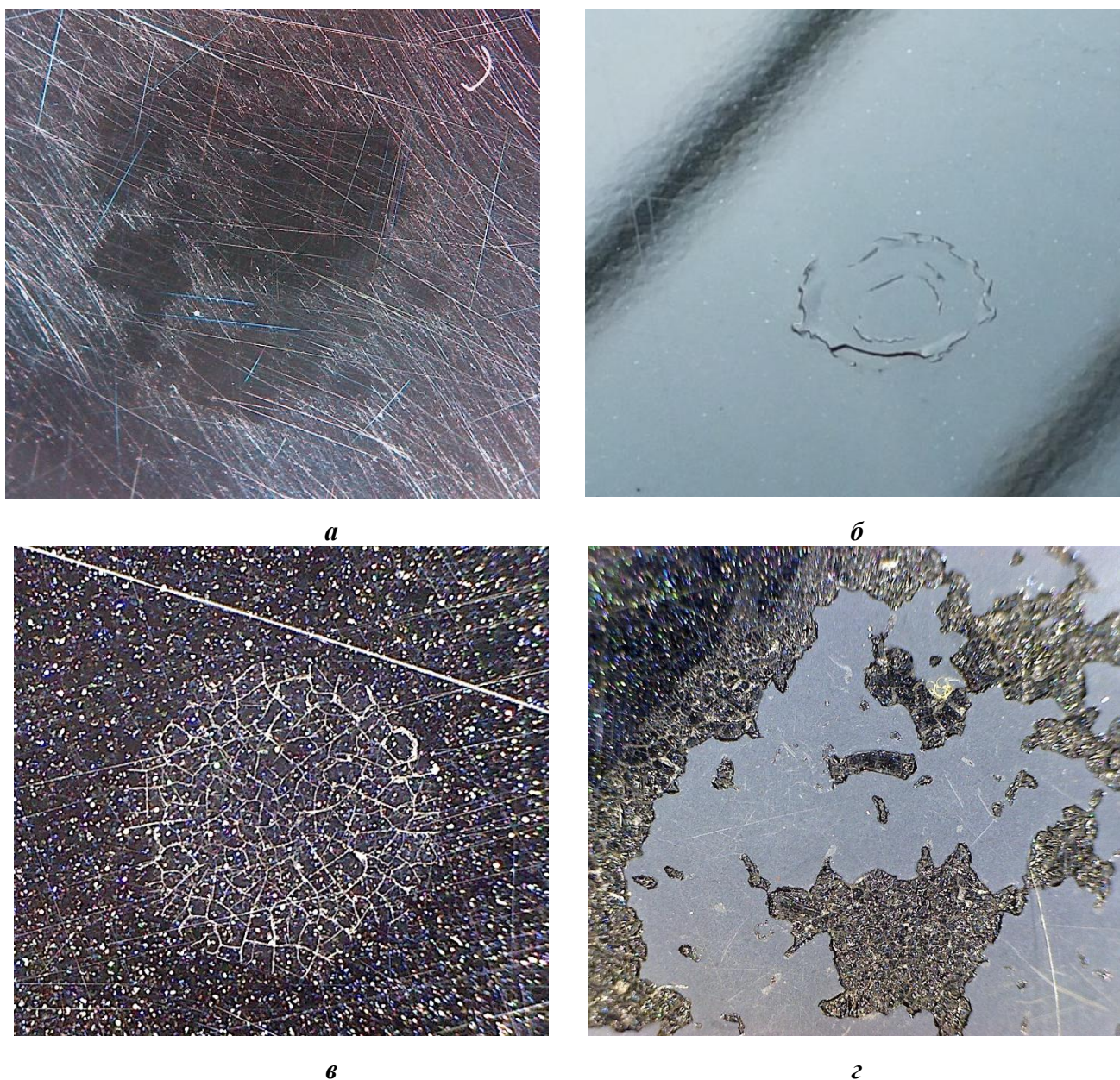
*Ключевые слова:* лакокрасочное покрытие автомобиля, дефект, причина возникновения, твердость покрытия, толщина покрытия, адгезия, отверждение, царапины.

Анализ статистических данных показывает, что в последнее время возросло число рекламаций покупателей автомобилей российского и иностранного производства в связи с обнаруживаемыми в процессе эксплуатации дефектами лакокрасочного покрытия (ЛКП) автомобиля. Часто дефекты ЛКП, имеющие абсолютно разные причины и механизмы возникновения (внешнее воздействие в процессе эксплуатации, нарушение технологического процесса нанесения покрытия) имеют схожий внешний вид, что затрудняет однозначное отнесение обнаруженного дефекта либо к производственным (заложенным на стадии производства), либо к эксплуатационным (возникшим при неправильной эксплуатации).

В данной статье авторами рассмотрены наиболее распространенные в последнее время дефекты в виде вздутий, сморщиваний, растрескиваний и отслоений покрытия, образующиеся преимущественно на горизонтальных кузовных элементах, имеющие схожий внешний вид, но разные механизмы и причины возникновения.

Внешний вид дефектов, о которых пойдет речь в данной статье, приведен на рис. 1. Согласно часто используемому дилерами автомобилей и экспертами-автотехниками каталогу дефектов лакокрасочного покрытия [1], такие дефекты после органолептического исследования однозначно относят к группе эксплуатационных, т.е. вызванных нарушением владельцем автомобиля условий эксплуатации, а именно, неудовлетворительным уходом и несвоевременным удалением агрессивных загрязнений в виде птичьего и пчелиного помета и секреторных выделений насекомых, аргументируя объяснениями и графическими пояснениями (рис. 2), приведенными в указанном источнике.

Сравнивая изображения дефектов, приведенных на рис. 1 и рис. 2, можно сделать вывод о визуальной схожести внешнего вида дефектов. Однако в данном случае использование только органолептических методов исследования ЛКП не позволяет однозначно судить о причинах и механизме возникновения подобных дефектов.

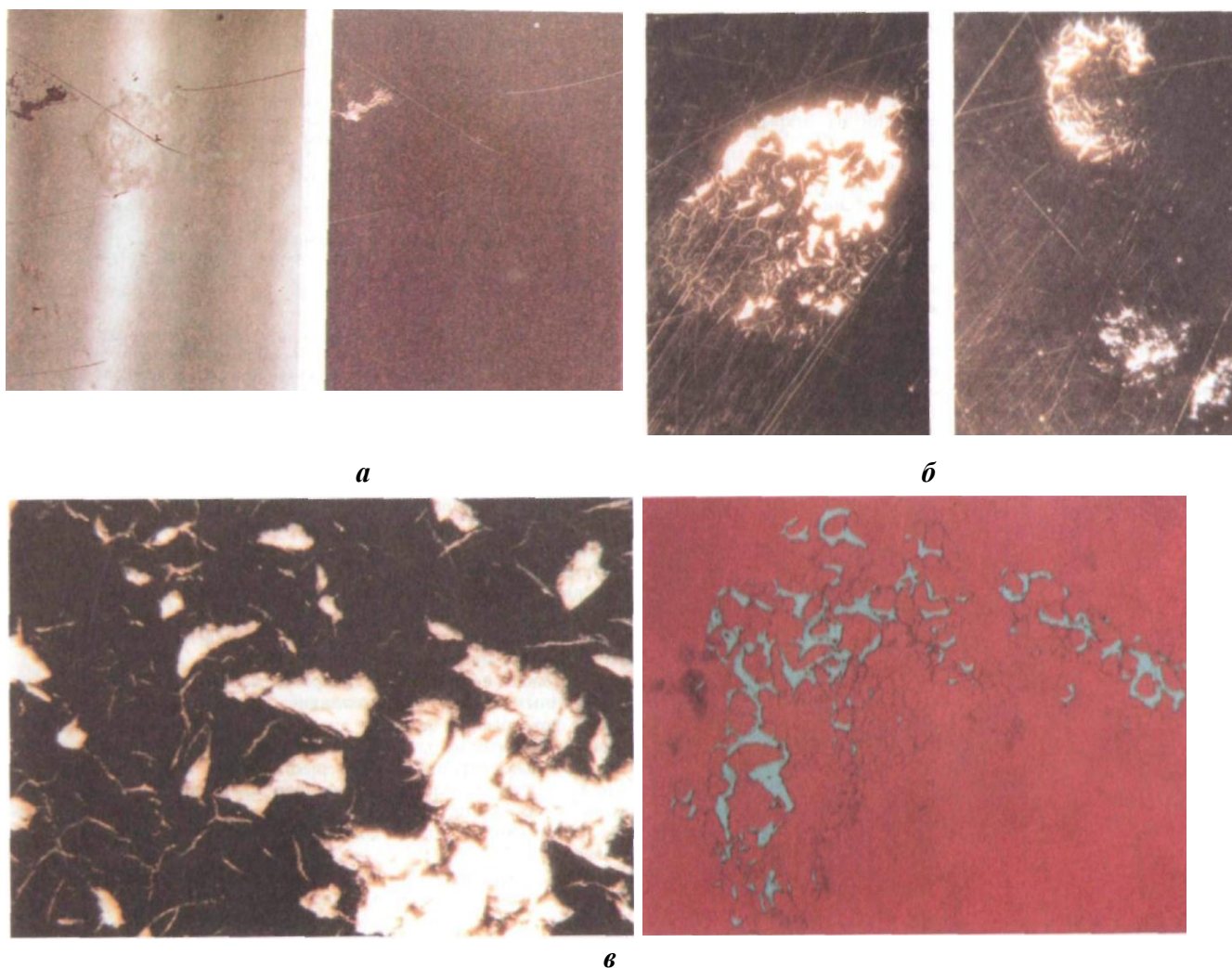


**Рис. 1. Дефекты лакокрасочного покрытия автомобиля в виде вздутия (а), сморщивания (б), растрескивания (в) и отслоения (г)**

Известно, что лакокрасочное покрытие автомобиля представляет собой многослойную пленку, образующуюся после высыхания и отверждения специального композиционного состава, нанесенного на металлическую подложку – кузовные элементы автомобиля, имеющую прочное сцепление с основанием. Основным назначением лакокрасочного покрытия автомобиля является защита кузовных элементов автомобиля от внешних воздействий (влаги и кислорода воздуха, температур и УФ-излучения, агрессивных веществ и т.д.) в течение установленного времени, придание кузову автомобиля набора декоративных свойств: определённого вида, цвета и фактуры. Комплексное лакокрасочное покрытие съемных кузовных элементов и кузова в целом является составной частью данных деталей. Комплексное лакокрасочное покрытие нового автомобиля закладывается в полном объеме заводом-изготовителем транспортного средства по собственным технологиям с применением материалов, высыхающих при повышенных температурах.

На этапе установления точных причин и механизмов возникновения дефектов ЛКП крайне важно исследовать основные физико-механические свойства покрытия, в том числе тол-

щину, адгезию, твердость и т.д., с целью определения причинно-следственной связи между значениями этих параметров и причинами возникновения описываемых дефектов покрытия.



**Рис. 2. Дефекты лакокрасочного покрытия автомобиля в виде вздутия (а), растрескивания (б) и отслоения (в), вызванные воздействием птичьего помета**

В настоящее время, согласно действующим на территории Российской Федерации и в зарубежных странах нормативным документам в области исследования качества лакокрасочного покрытия автомобиля [2–7], применяются следующие методы определения физико-механических характеристик ЛКП:

1. Определение толщины комплексного покрытия с целью установления среднего, максимального и минимального значения толщины ЛКП согласно [2]. Стандарт применяется для определения толщины лакокрасочных покрытий следующими методами: измерение толщины высушенного покрытия приборами, использующими механический контакт; магнитный метод; метод вихревых токов. Толщина пленки является важным технологическим показателем, так как характеризует равномерное распределение лакокрасочного материала по всему периметру окрашиваемой поверхности. При оценке целого ряда свойств покрытий – технологических, физико-механических, противокоррозионных толщина покрытия строго регламентируется для каждого вида эмали или грунта, что связано с изменением хрупкости плёнки ЛКМ в зависимости от толщины плёнки.

2. Определение твердости покрытия по методам Бухгольца [3], Вольфа-Вильборна [4], Шора [5], Кнупа [6]. Твердость лакокрасочного покрытия – способность пленки противостоять вдавливанию или проникновению в нее твердого тела. Твердость характеризует степень

отверждения покрытия, и является функцией времени, израсходованного на высушивание лакокрасочного материала [8].

3. Измерение адгезии согласно методикам, приведенным в [7]. Прочность адгезионного соединения лакокрасочных покрытий с твердыми недеформирующимися подложками обусловлена как силами межмолекулярного взаимодействия, так и силами главных химических валентностей. При создании покрытий технолога интересуют два аспекта проблемы адгезии: факторы, обеспечивающие адгезионную прочность (адгезионные связи при контакте лакокрасочного материала с окрашиваемой поверхностью, продолжительность контакта, температура и т. д.) и необходимые усилия для нарушения адгезионного соединения, зависящие от условий эксплуатации покрытий (температуры, воздействия агрессивных сред, продолжительности действия нагрузки и т. д.). На адгезионную прочность в лакокрасочных покрытиях оказывают влияние внутренние напряжения: чем выше их значение, тем ниже адгезионная прочность [8, 9].

Кроме того, в случае обнаружения описываемых дефектов для однозначного определения причин и механизмов их возникновения крайне полезно проведение испытаний на стойкость лакокрасочных покрытий к статическому воздействию жидкостей согласно [9]. Данное исследование позволяет за короткий промежуток времени оценить и смоделировать процесс разрушения ЛКП под влиянием внешних условий.

Для определения причинно-следственной связи между значениями физико-механических показателей ЛКП и причинами возникновения описываемых дефектов ЛКП было проведено исследование нескольких автомобилей. Далее приведены полученные данные для двух полярных, наиболее представительных случаев, в которых причинами дефектов являются различные по своей природе силы.

На одном автомобиле черного цвета с покрытием типа «двухслойный металлик» обнаружены многочисленные дефекты в виде повреждений ЛКП, вызванных воздействием птичьего помета и секреторных выделений насекомых. При исследовании физико-механических характеристик покрытия установлено полное соответствие измеренных параметров твердости и толщины покрытия установленным требованиям для данного класса покрытия автомобиля.

Обнаруженные дефекты большей частью имеют округлую или вытянутую форму, несколько дефектов имеют расплывчатые границы с местными разрушениями ЛКП до слоя грунта на границе. На границе подобных дефектов наблюдаются трещины и отслоения, сама граница в результате разъедания имеет серый цвет.

Лаки представляют собой органические покрытия. В настоящее время для выполнения лакокрасочных работ не существует ни одного лакокрасочного материала, полностью устойчивого к такого рода воздействиям. Следует отметить, что пометом разрушается не только связующее вещество, но и пигменты. Птичий помет вызывает вспучивание покрывного слоя ЛКП одновременно с разрушением гомогенной (однородной) поверхности. Разрушенное и вспученное в результате воздействия птичьего помета лакокрасочное покрытие полностью утрачивает свои физико-химические и механические свойства, такие как прочность, блеск и т.п.

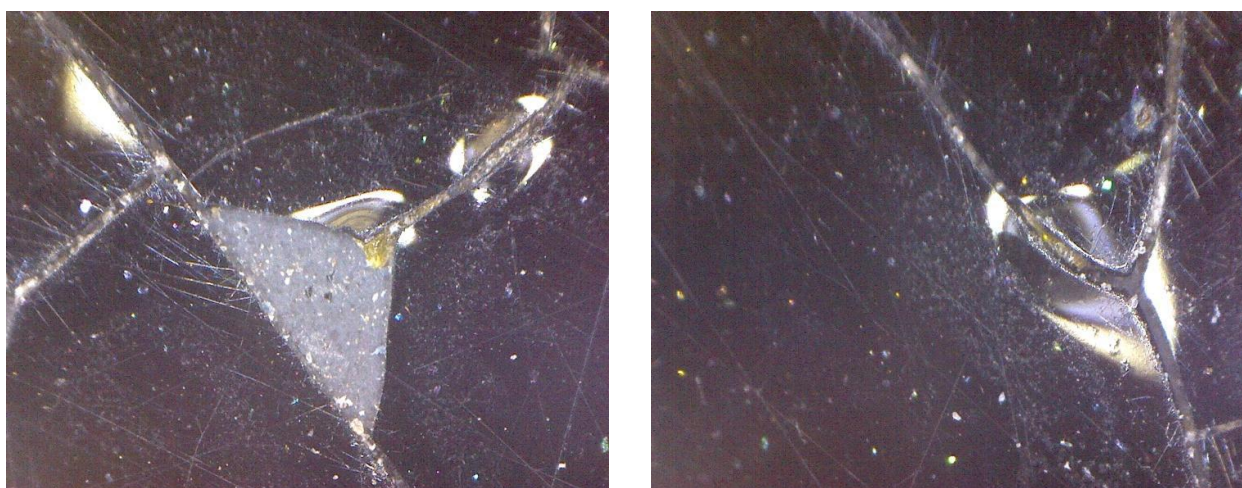
На крыше автомобиля, на капоте и крышке багажника (горизонтальные поверхности кузова автомобиля) имеются разрушения ЛКП в виде «сморщивания» и «растрескивания» верхнего слоя (до грунта) различной интенсивности и «отслоения» до грунтового слоя. На ощупь некоторые места дефектов липкие, легко удерживают загрязнения. Размеры наиболее интенсивных разрушений (на крышке багажника автомобиля) достигают в длину 50x50 мм. Данные разрушения стали возможны по причине длительного воздействия агрессивных веществ биологического происхождения (в частности, птичий помет, секреторные выделения насекомых). Далее в процессе эксплуатации под воздействием атмосферного старения места «сморщивания» получают дальнейшее разрушение в виде «растрескивания» и «отслоения» покрытия до слоя грунта. Толщина лакокрасочного покрытия вблизи (на расстоянии 2-5 мм)

дефекта составляет 110-120 мкм. Толщина лакокрасочного покрытия в центре дефекта, после отслоения верхнего слоя ЛКП, 68-70 мкм. Разница составляет более 40 мкм, что указывает на разрушение слоев лака и базы до слоя грунта. Стадии развития дефекта приведены на рис. 3.



**Рис. 3. Стадии дефекта в виде разрушения ЛКП при воздействии птичьего помета:**  
*а* – сморщивание; *б* – растрескивание; *в* – отслоение

При изучении дефекта под микроскопом представилась следующая картина (рис. 4): под лакокрасочной пленкой на слое грунта видны следы воздействующего вещества желтого цвета.



**Рис. 4. Воздействующее вещество желтого цвета под пленкой**

При детальном изучении изображений с фотоаппарата и изображений, полученных с микроскопа, нельзя не отметить наличие большого скопления царапин в месте образования дефектов. Царапины имеют различное направление, ширину и глубину проникновения в лакокрасочное покрытие. Наличие царапин на поверхности ЛКП снижает стойкость покрытия к воздействию агрессивной среды и более того способствует накоплению и удержанию подобных веществ.

В ходе проведения исследования были выполнены исследования лакокрасочного покрытия на стойкость к внешнему воздействию агрессивной среды. С данной целью на крышке багажника на её горизонтальной поверхности в верхнем левом углу (по ходу движения автомобиля) был выбран произвольный участок лакокрасочного покрытия на который был помещен ватный круг диаметром 50 мм предварительно пропитанный агрессивной жидкостью.

В качестве воздействующего вещества выбран наиболее распространенный раствори-

тель 647 ГОСТ 18188-72. Воздействие на покрытие осуществлялось на протяжении пяти минут. После чего тампон был удален, место, подверженное влиянию, вытерто насухо и высушено при температуре окружающей среды. Затем место воздействия было оценено визуально с применением средств увеличения (рис. 5).

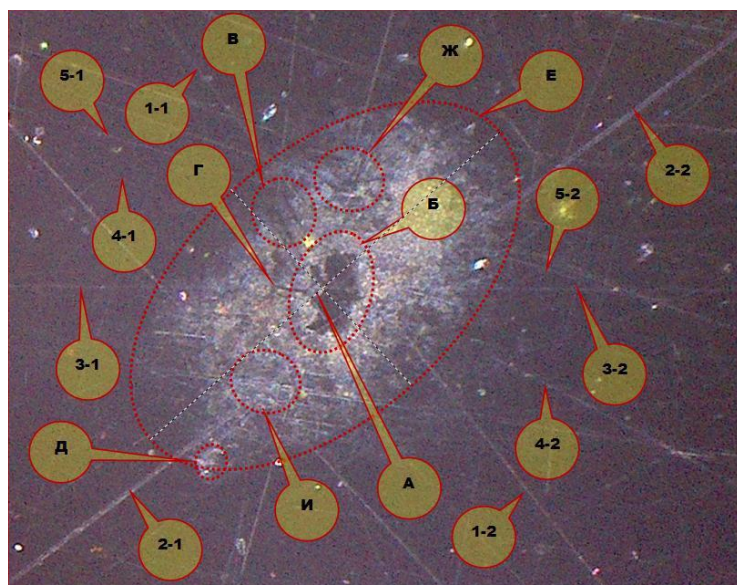


Рис. 5. Схема механизма возникновения дефекта

При визуальной оценке было выявлено, что изменений цвета и оттенка покрытия не произошло, блеск остался равномерным, поматовение отсутствует, границ между участком без обработки агрессивным составом и с таковым нет. На расстоянии не более 20 мм от центра испытуемого участка выявлено локальное помутнение лакового слоя размером 2,5 мм на 1,5 мм. Царапины верхнего декоративного слоя комплексного лакокрасочного покрытия, имевшиеся на контролируемом участке стали более четко выражены и приобрели белесоватый оттенок.

На испытуемом участке выявлено матовое пятно овальной формы, обозначенное маркером «Е». В центре данного дефекта маркером «Б» обозначено место локального отслоения верхнего лакового слоя. В центре эллипса под маркером «Е» имеется микро скол «А» и идущее от него растрескивание верхнего лакового слоя заканчивающееся маркером «Г». Само место разрушения лакового верхнего слоя сформировано и частично ограничено пересечением (перекрестием) царапин различной глубины и ширины распространения. На описываемом изображении имеется множество царапин. Особый интерес вызвало четыре ярко выраженных объекта, путь которых пролегает через эллипс «Б». Данные царапины получили обозначения маркерами. 1) – 1-1, 1-2. 2) – 2-1, 2-2. 3) – 3-1, 3-2. 4) – 4-1, 4-2. Помимо эпицентра «Б» в месте разрушения найдено еще по крайней мере три новых очага формирования локального разрушения лакового верхнего слоя комплексного покрытия. На описываемом изображении обозначены маркерами «В», «Ж», «И». Маркер «В» выделяет две параллельные глубокие царапины в лаковом слое вобравшие в себя за время нагружения покрытия агрессивной средой её компоненты, что вызвало локальный очаг разрушения получивший ограничения по длине распространения двумя царапинами «4.1, 4.2» и «5-1, 5-2». Очаги отслоения «Ж» и «И» сформированы по ранее описанному принципу. В процессе исследования так же установлено, что незначительный скол «Д» при попадании в него агрессивной жидкости перешел в стадию набухания краев по причине диффузии агрессивного вещества, что визуально в поле зрения микроскопа выглядит как локальное поднятие пленки (вздутие).

Таким образом, имелась техническая возможность наблюдать ускоренное разрушение лакокрасочного покрытия под воздействием агрессивной жидкости. В реальных же условиях



эксплуатации на автомобиль оказывают влияние среды менее агрессивные, нежели примененные в ходе эксперимента и процессы разрушения имеют замедленный характер, что позволяет разделить их на некоторые этапы.

Предполагаемый механизм разрушения можно описать так: на ровном глянцевом покрытии в процессе эксплуатации появляются поверхностные царапины различной ширины и глубины проникновения в комплексное лакокрасочное покрытие. Сформировавшиеся микроуглубления способны концентрировать в себе различные загрязнения, воспринимаемые из внешней среды. Кроме того царапины и места их пересечения в данной ситуации можно рассматривать как концентраторы напряжений. При диффузии в лакокрасочное покрытие агрессивное вещество локально нарушает межслойную адгезию и происходит отделение лакового слоя от эмали. Возможны и иные варианты развития разрушения например когда адгезия между лаком и эмалью столь высока, что разрушение происходит до грунтового слоя. В качестве агрессивных веществ могут выступать загрязнители биологического происхождения (секреторные выделения насекомых, птичий помет – рис. 4), растворы солей и щелочей (получаются из антиобледенительных составов), битумные составы для обработки дорожного полотна, нефтепродукты (подтеки топлива при заправке автомобиля) и многое другое.

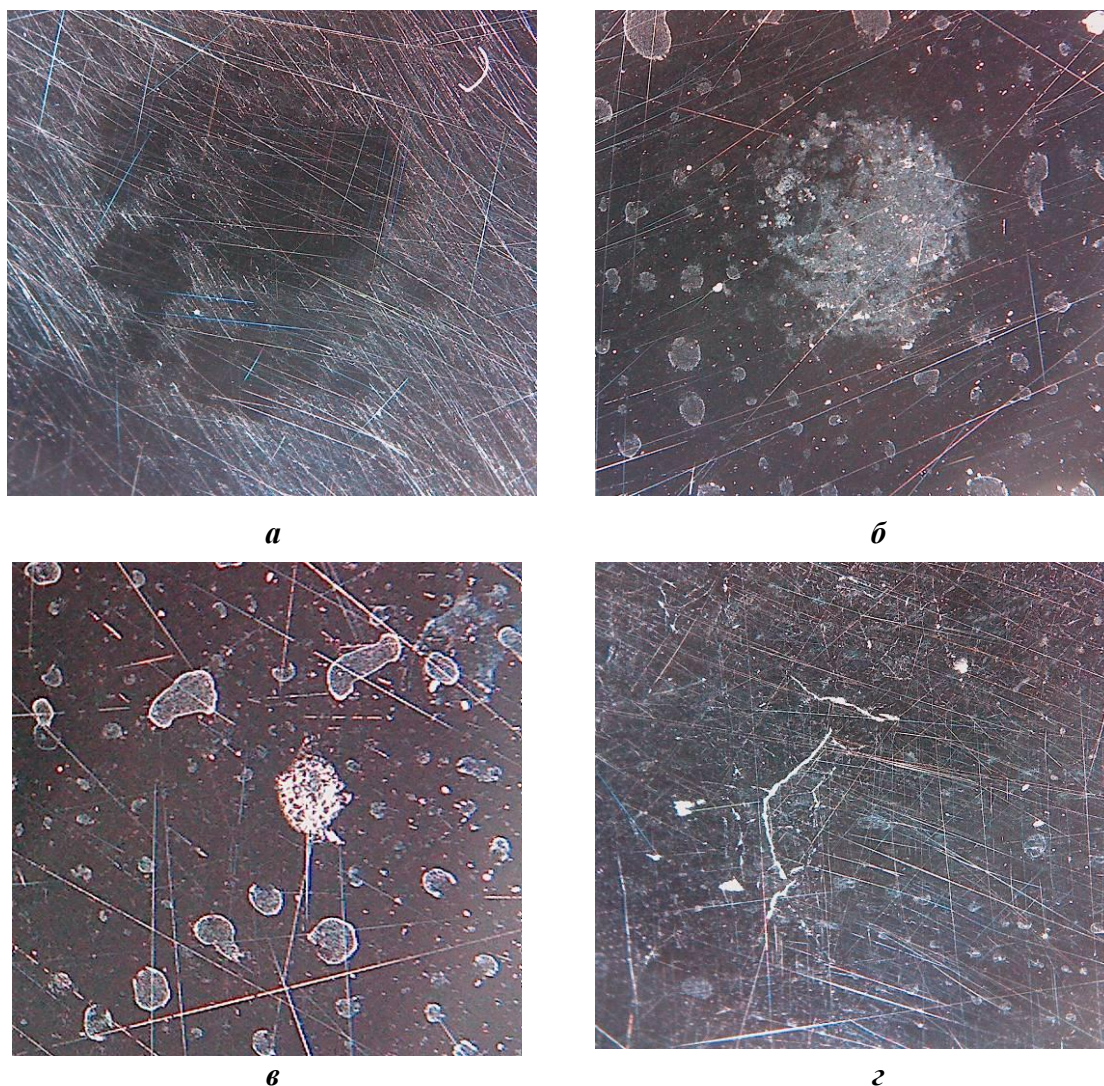
На другом автомобиле черного цвета с покрытием типа «двухслойный акрил» обнаружены многочисленные дефекты в виде вздутий, сморщиваний, растрескиваний и отслоений ЛКП в результате крайне низкой твердости покрытия, вызванной нарушением режима сушки автомобиля и закономерным нарушением структуры лакокрасочного материала, приводящим к снижению защитных свойств покрытия к воздействию агрессивных сред.

Данные дефекты чаще всего имеют округлую форму, несколько дефектов имеют расплывчатые границы с местными разрушениями ЛКП до слоя эмали на границе. На границе подобных дефектов наблюдаются трещины и отслоения, сама граница в результате разъедания имеет сероватый цвет (рис. 6). Следов воздействующего вещества не обнаружено.

Процесс отверждения (сушки) или иначе формирования лакокрасочных покрытий, протекающий при определенных температурно-временных условиях, в значительной степени влияет на защитные, декоративные, физико-механические свойства таких покрытий [8]. Отверждение лакокрасочных покрытий проходит на твердой недеформированной подложке. Покрытия имеют две различные поверхности контакта: с внешней средой (газы, жидкости) и твердым телом – подложкой (металлы, древесина, пластмассы). Строение лакокрасочных покрытий можно представить в виде трех слоев: верхнего, находящегося в контакте с внешней средой; промежуточного и нижнего, контактирующего подложкой. На протекание химических реакций в процессе пленкообразования существенное влияние оказывает внешняя среда – кислород и влага воздуха, которые легко проникают в верхний слой формирующейся пленки; в промежуточный и тем более в нижний слой их проникновение затруднено. Процесс отверждения нижнего слоя обусловлен образованием адгезионных связей, определяющих свойства покрытий.

Сложность отверждения лакокрасочных систем на твердой подложке состоит в том, что заготовки не остаются неизменными вследствие неравномерности протекания физико-химических процессов в объеме пленки; наблюдается значительное различие в структуре слоев. В нижнем слое подвижность структурных элементов заторможена и происходит формирование более мелких и однородных по размеру структурных образований. В верхнем слое подвижность структурных элементов значительно возрастает, что приводит к возникновению вторичных структурных образований, которые состоят из упорядоченных ориентированных элементов, более чем на порядок отличающихся по размеру от исходных заготовок.

Послойное отверждение пленки приводит к структурной неоднородности образующегося лакокрасочного покрытия, что влияет на их эксплуатационные свойства. Независимо от механизма пленкообразования внешним проявлением процесса является постепенное или мгновенное увеличение вязкости лакокрасочного материала и его переход в твердое состояние (получение покрытия).



**Рис. 6. Дефекты, возникшие в результате низкой твердости покрытия**  
*а* – вздутие; *б* – сморщивание; *в* – растрескивание; *г* – отслаивание

Представления о механизме пленкообразования можно сформулировать следующим образом.

1. Пленка образуется за счет физического испарения растворителя. Кинетически этот процесс можно разделить на две стадии: первая стадия – интенсивное испарение растворителя из жидкого слоя лакокрасочного материала, нанесенного на подложку, определяемое поверхностными явлениями; вторая стадия – испарение растворителя из сформировавшейся пленки, определяемое диффузионными процессами в массе полимера. На первой стадии растворитель испаряется со свободной поверхности каждого слоя и в нем возникает градиент концентраций, что приводит к диффузии молекул растворителя из глубинных слоев к наружному. Затем образуется поверхностный слой вязкого геля. После этого молекулы растворителя преодолевают сопротивление образующегося гелеобразного слоя, плотность которого постоянно возрастает во времени. На второй стадии процесса пленкообразования происходит удаление из покрытия так называемого «остаточного» растворителя. Максимальное количество растворителя удаляется на первой стадии; на второй стадии скорость его испарения значительно уменьшается. Поэтому вторая стадия является более продолжительной во времени по сравнению с первой, так как остаточный растворитель в пленке довольно прочно связан с молекулами пленкообразователя. Чем сложнее химическое строение пленкообразователя (степень разветвленности, длина цепи), тем более продолжительна эта стадия пленкообразования и тем больше растворителя остается в слое покрытия.

Пленкообразование лакокрасочных материалов на основе водных дисперсий полимеров связано с дестабилизацией латекса, которая достигается за счет испарения воды. Формирова-

ние пленки протекает в три стадии. Первая стадия – образование промежуточного геля: латексные частицы сближаются, усиливается их взаимодействие; при этом вязкость лакокрасочной системы резко возрастает. Вторая стадия – уплотнение промежуточного геля, при котором происходит дальнейшее удаление воды из пленки. При этом частицы деформируются и из шарообразных превращаются в плотно уложенные многогранники, образуя «псевдопленку». На третьей стадии происходит полное слияние частиц, устранение межфазных границ и образование монолитной пленки. Последняя стадия пленкообразования является наиболее ответственной, так как она связана с перераспределением поверхностно-активных веществ и коалесценцией частиц. Собственно эта стадия пленкообразования и определяет структуру и свойства покрытий.

2. Процесс пленкообразования осуществляется в результате протекания химических реакций в тонком слое лакокрасочного материала на подложке с образованием линейных, разветвленных или пространственно-шитых структур. Большинство отвержденных лакокрасочных покрытий независимо от технологии их получения (из расплавов и порошков) имеют сетчатое строение. Переход пленкообразователя в трехмерное состояние может быть обусловлен не только протеканием реакций поликонденсации или полимеризации, но и ростом полярности при пленкообразовании без увеличения степени полимеризации, т. е. за счет полимераналогичных превращений в цепях пленкообразователя.

3. Пленкообразование определяется не только химическими процессами, обусловленными взаимодействием реакционноспособных функциональных групп компонентов системы, но и физико-химическими процессами, связанными со структурными превращениями.

Резкое изменение физико-механических свойств пленок в процессе отверждения при неизменности химического состава и в отсутствие растворителя дает основание полагать, что эти изменения обусловлены протеканием в пленке только физико-химических процессов, т. е. при формировании лакокрасочных покрытий может происходить перестройка структурных образований без химических превращений полимера.

Макромолекулы полимерного материала лака при сушке покрытия должны достигнуть состояния термодинамического равновесия, образовать особую упорядоченную структуру, обеспечивающую защиту от внешних воздействий (в т.ч. от механических, проникновения ультрафиолета и агрессивных сред внутрь покрытия). В случае если по каким-либо причинам (например, недостаточное отверждение лака, возникшее в результате нарушения процесса сушки покрытия, приводящее к образованию большого количества царапин, легкому проникновению агрессивных сред внутрь покрытия и, следовательно, общему ухудшению защитных функций) лаковое покрытие имеет низкую устойчивость к механическим воздействиям и агрессивным воздействиям жидкостей, разрушения происходят уже в кратчайший промежуток времени.

На крыше автомобиля и на капоте (горизонтальные поверхности кузова автомобиля) имеются разрушения ЛКП в виде «вздутия», «сморщивания» и «растрескивания» верхнего слоя (до эмали и грунта) различной интенсивности, аналогичные разрушения ЛКП имеются на вертикальных кузовных элементах, но выражены менее интенсивно. На ощупь места дефектов липкие, легко удерживают загрязнения.

Предполагаемый механизм образования дефекта можно описать следующим образом: на ровном глянцевом покрытии с низкой твердостью в процессе эксплуатации легко появляются поверхностные царапины различной ширины и глубины проникновения в комплексное лакокрасочное покрытие. Сформировавшиеся микроуглубления способны концентрировать в себе различные загрязнения, воспринимаемые из внешней среды. Кроме того царапины и места их пересечения в данной ситуации можно рассматривать как концентраторы напряжений. При диффузии в лакокрасочное покрытие агрессивное вещество локально нарушает межслойную адгезию и происходит отделение лакового слоя от эмали. Возможны и иные варианты развития разрушения, например, когда адгезия между лаком и эмалью столь высока, что разрушение происходит до грунтового слоя. В качестве агрессивных веществ могут выступать загрязнители биологического происхождения (секреторные выделения насекомых, птичий помет), растворы солей и щелочей (получаются из антиобледенительных составов), би-

тумные составы для обработки дорожного полотна, нефтепродукты (подтеки топлива при заправке автомобиля) и многое другое.

Таким образом, в случае первого автомобиля, разрушение происходит снаружи, проникновение агрессивных веществ осуществляется через царапины в верхнем слое покрытия, для второго автомобиля агрессивные воздействующие вещества в результате нарушения структуры полимерной пленки имеют возможность в короткий промежуток времени проникать вглубь покрытия, вызывая значительные вздутия и разрушая его изнутри. Исходя из приведенных примеров, обоснована целесообразность определения физико-механических параметров при исследовании качества лакокрасочного покрытия для однозначного установления причин и механизмов возникновения дефектов лакокрасочного покрытия. Установлено, что даже при визуальной схожести дефектов и одинаковой природе воздействующих агрессивных веществ, дефекты могут иметь абсолютно разные причины возникновения.

#### Библиографический список

1. **Керкхофф, П.** Каталог повреждений лакокрасочных покрытий / П. Керкхофф, Г. Хааген. – М.: Издательский дом Третий Рим, 2004. – 272 с.
2. ГОСТ Р 51694-2000. Материалы лакокрасочные. Определение толщины покрытия.
3. ISO 2815. Paints and varnishes. Buchholz indentation test.
4. ГОСТ Р 54586-2011 (ИСО 15184:1998). Материалы лакокрасочные. Метод определения твердости покрытия по карандашу.
5. ГОСТ 24621-91 (ISO 868-85). Определение твёрдости при вдавливании с помощью дюрометра (твёрдость по Шору).
6. ISO 6441. Определение твердости по Кнупу по глубине отпечатка (сферического индентора).
7. ГОСТ Р 54563-2011. Материалы лакокрасочные. Определение адгезии методом решетчатого надреза.
8. **Карякина, М. И.** Испытание лакокрасочных материалов и покрытий / М. И. Карякина. – М.: Химия, 1988. – 272 с.
9. **Кузьмин, Н. А.** Техническая эксплуатация автомобилей: нормирование и управление: учеб. пособие / Н. А. Кузьмин. – М.: ФОРУМ, 2011. – 224 с.

*Дата поступления  
в редакцию 01.10.2013*

**М. Е. Fedosova<sup>1</sup>, А. Е. Fedosov<sup>1</sup>, L. A. Berdnikov<sup>2</sup>, D. N. Proshin<sup>3</sup>**

#### DETERMINATION OF REASONS AND MECHANISMS OF AUTOMOBILE PAINT COATING DEFECTS

Dzerzhinsk polytechnic institute (branch) Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev<sup>1</sup>,  
Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev<sup>2</sup>,  
Private institution of additional education Regional Institute of expertise<sup>3</sup>

**Purpose:** The study established a causal connection between the physical and mechanical characteristics and the occurrence of defects in paint coating of the automobile.

**Design/methodology/approach:** To evaluate the physical and mechanical characteristics of the paint normative document currently in force in the territory of the Russian Federation and foreign countries regulations used.

**Findings:** The study found that even when the visual similarity between the defects and the identical nature of the corrosive substances, defects can have completely different causes.

**Research limitations/implication:** The accumulation of these results will lead to the creation of a database to physical-mechanical characteristics of modern paint coatings, to forecast with a certain degree of probability the life of the paint coating and the most likely to predict the occurrence of defects.

**Originality/value:** The work found that to accurately determine the cause of the defects must be multilateral research paint coating of the automobile, including the determination of the basic physical and mechanical properties of paint coating. Determining the causes and mechanisms of defects paint coating is an important task due to the increased number of complaints of consumers.

*Key words:* automobile paint coating, defect, the cause, the hardness of the coating, the coating thickness, adhesion, curing, scratches.

УДК 621.113

Г.В. Борисов, Л.Н. Ерофеева

**УТОЧНЕНИЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО МЕТОДА  
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ ПЕРИОДИЧНОСТИ  
ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

В настоящее время существует много методов определения оптимальной периодичности технического обслуживания автомобилей. Техничко-экономический метод является наиболее простым и универсальным методом определения оптимальной периодичности технического обслуживания автомобилей, но не учитывает ряд особенностей технической эксплуатации автомобилей в реальных условиях (например, простои на маршруте из-за возникновения отказов), требует наличия достоверной информации о ресурсе автомобилей и не учитывает определенный уровень безотказности, что ограничивает его использование на практике. По этой причине необходимо уточнение и корректировка метода для устранения вышеописанных недостатков и повышения практической ценности использования технико-экономического метода в автомобильном транспорте. В работе также представлено обоснование выбора графического вида зависимости средней наработки на отказ от периодичности технического обслуживания автомобилей и математическое выражение указанной зависимости. Данные материалы могут быть полезными для специалистов занимающихся эксплуатацией автомобильного транспорта, а так же для преподавателей и студентов вузов соответствующего профиля.

*Ключевые слова:* техническая эксплуатация автомобилей, отказ, периодичность технического обслуживания, безотказность, долговечность, надежность.

В настоящее время существует много методов определения оптимальной периодичности ТО автомобилей. Одним из наиболее распространенных является технико-экономический метод. Этот метод сводится к определению суммарных удельных затрат на ТО и ремонт и их минимизации [1]. Минимальным затратам соответствует оптимальная периодичность ТО  $l_{\text{опт}}$ . Выражение

$$C_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n C_i = C_{\text{ТО}} + C_{\text{р}} \rightarrow \min \quad (1)$$

является целевой функцией, экстремальное значение которой соответствует оптимальному решению. В данном случае оптимальное решение соответствует минимуму удельных затрат. Определение минимума целевой функции и оптимального значения периодичности ТО проводится графически (рис. 1) или аналитически в том случае, если известны зависимости  $C_{\text{ТО}} = \frac{d}{l} = f(l)$  и  $C_{\text{р}} = \frac{c}{L} = \varphi(l)$ , где  $l$  - периодичность ТО,  $d, c$  - стоимость операций ТО и ремонта соответственно,  $L$  - ресурс автомобиля.

Преимуществами технико-экономического метода являются простота и универсальность, а недостатки его заключаются в следующем [1]: метод применим только для работающих «внутри предприятия» автомобилей, т.к. не учитывается простой автомобиля на линии из-за неисправности и необходимости его транспортирования на предприятие для проведения ТР; необходимости в наличии достоверной информации о значении ресурса автомобиля  $L$ ; отсутствии гарантии определённого уровня безотказности.

Разберём вышеописанные недостатки метода.

Неисправности автомобилей на линии, приводящие к вынужденному простоя, вызваны отказами, чаще всего ресурсными [2, 3], требующими ремонтных технических воздействий в необходимых для этого условиях и квалифицированным персоналом. Соответственно, после возникновения ресурсного отказа автомобиля или любого его конструкционного элемента (КЭ), необходимо снарядить автомобиль технической помощи и отбуксировать неисправный автомобиль на ремонтную базу.

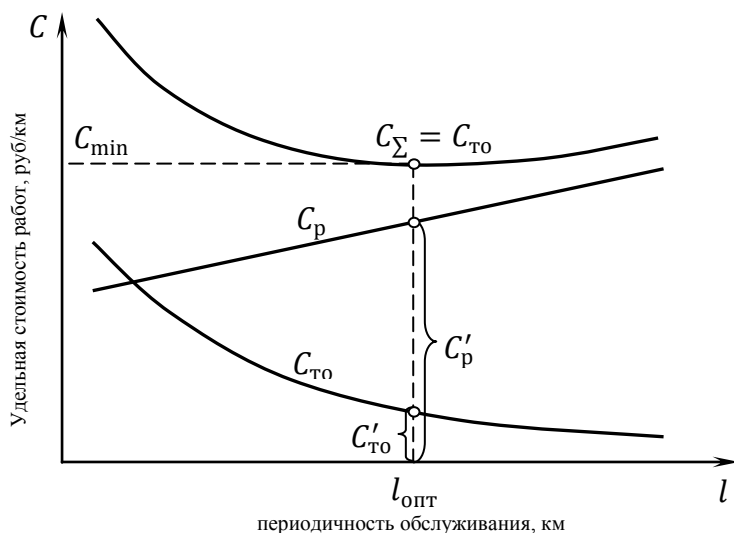


Рис. 1. Определение оптимальной периодичности ТО технико-экономическим методом

Очевидно, что частота возникновения отказа, требующего буксировки к месту ремонта, оценивается средней наработкой автомобиля или его КЭ до отказа  $\bar{x}$ , а количество буксировок  $N_б$  за планируемый период или пробег  $l$  можно определить по выражению:

$$N_б = \frac{l}{\bar{x}}. \quad (2)$$

Таким образом, зная затраты на буксировку собственным автомобилем тех.помощи (или тарифную ставку при использовании наемного)  $c_б$ , можно рассчитать удельные затраты на буксировку неисправного автомобиля:

$$C_б = \frac{N_б \cdot c_б}{l} = \frac{l \cdot c_б}{\bar{x} \cdot l} = \frac{c_б}{\bar{x}}. \quad (3)$$

Очевидно, что наработка до отказа  $\bar{x}$  зависит от периодичности технического обслуживания, т.е.  $\bar{x} = \bar{x}(l)$  и, при  $l \rightarrow 0 \bar{x} \rightarrow \infty$ , а при  $l \rightarrow \infty \bar{x} \rightarrow 0$  или к какому-либо конечному значению, характеризующему «прочность» системы до отказа. Таким образом, наработка до отказа  $\bar{x}$  будет неизбежно уменьшаться при увеличении периодичности обслуживания  $l$ , а удельные затраты на буксировку автомобиля  $C_б$  до места ремонта - монотонно увеличиваться, что приведет к уменьшению оптимальной периодичности ТО. Принципиальный вид кривой  $C_б$  показан на рис. 2.

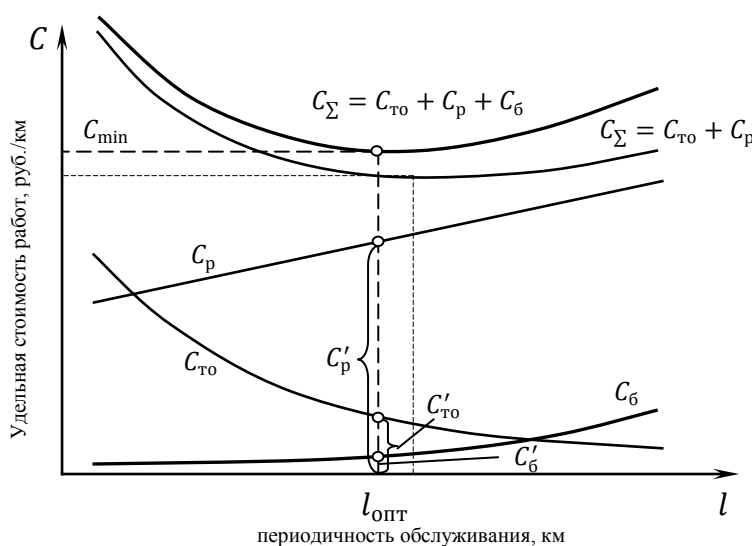


Рис. 2. Изменение оптимальной периодичности ТО при учете удельных затрат на буксировку

Удельные затраты на буксировку  $C_6$  можно и не учитывать отдельно, а суммировать к удельным затратам на ремонт  $C_p$ , тогда:

$$C_p = \frac{c}{L} + \frac{c_6}{\bar{x}(l)} \quad (4)$$

Таким образом, чтобы учесть дополнительные затраты при определении оптимальной периодичности ТО, в частности расходы на буксировку отказавших на линии АТС, необходимо изучить зависимость  $\bar{x}(l)$  и получить математическое выражение данной зависимости.

Для изучения данной зависимости нужно ввести точку отсчета, с которой можно начать исследование. Такую точку можно задать параметрами (уровнем) безотказности, например нормативными или гарантийными.

Согласно действующего «Положения от технического обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта» (далее Положение), текущий ремонт (далее ТР) предназначен для обеспечения работоспособного состояния подвижного состава с восстановлением или заменой отдельных его агрегатов, узлов и деталей (кроме базовых), достигших предельно допустимого состояния (п. 2.18 Положения). При этом ТР должен обеспечивать безотказную работу отремонтированных агрегатов, узлов и деталей на пробеге не меньшем, чем до очередного ТО-2 (п. 2.18.1 Положения). Таким образом, отказы должны возникать не раньше, чем наступит время для проведения ТО-2, и сам отказ будет предупреждён операциями ТО-2 или устранён сопутствующим при ТО-2 ремонтом, т.е. не возникнет. Это и определяет заданный нормативный уровень безотказности.

Гарантийный уровень безотказности определяется производителем автотранспортной техники гарантирующим определенный ресурс или срок службы техники при соблюдении владельцем графика работ по ТО.

Попробуем графически определить принципиальную зависимость  $\bar{x}(l)$  на примере автобусов. Согласно Положения периодичность ТО-2 автобусов составляет 14000 км [4], обозначим периодичность ТО-2 автобусов через  $a = 14000$  км. Тогда наработка на отказ должна быть не меньше такой периодичности, обозначим наработку на отказ при установленной периодичности ТО-2 через  $b \geq 14000$  км. Обозначим точку пересечения  $a$  и  $b$  через  $O$  и определим поведение изучаемой зависимости в области точки  $O$  (рис. 3, а).

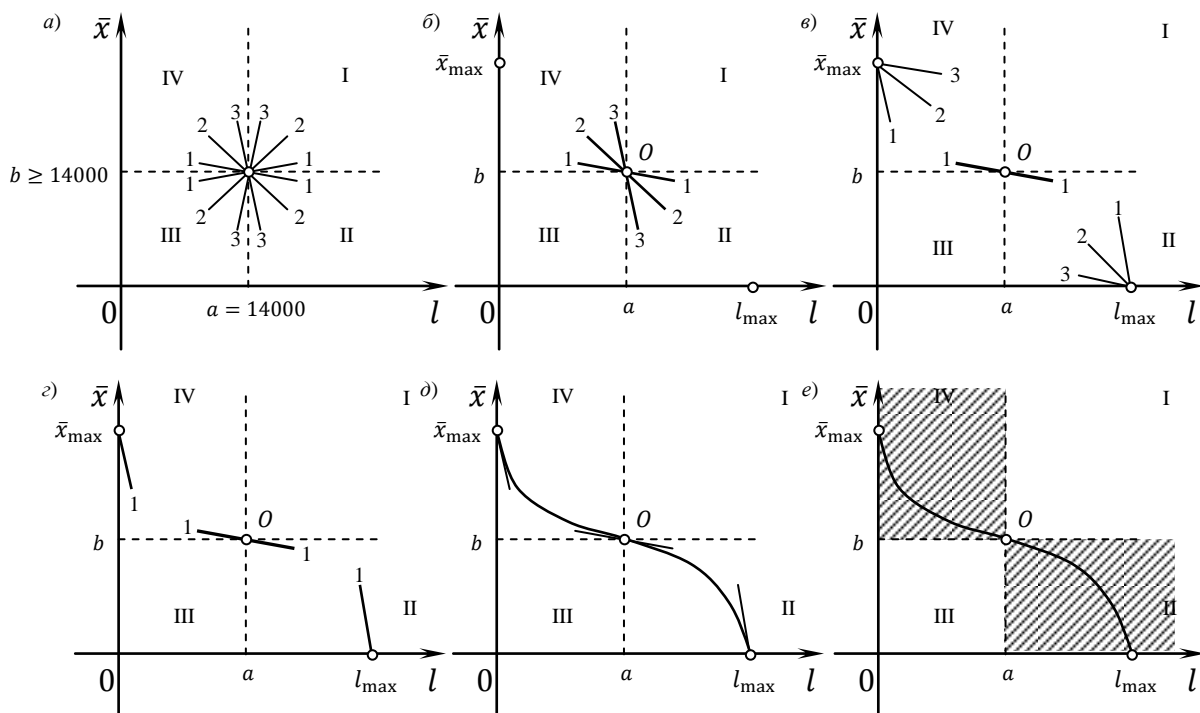


Рис. 3. Построение принципиального вида закономерности изменения зависимости  $\bar{x}(l)$

Варианты поведения изучаемой зависимости показаны на рис. 3, а, где область вокруг точки  $O$  условно разделена на четыре квадранта (I, II, III, IV). Линии 1, 2, 3 предполагают плавное возрастание-уменьшение (линия 1, рис. 3, а), пропорциональное (линейное) изменение (линия 2 рис. 3, а) и резкое возрастание и уменьшение (линия 3, рис. 3, а) изучаемой зависимости. Очевидно, что при увеличении периодичности обслуживания средняя наработка до отказа будет уменьшаться, т.е. больше отказов в количественном выражении возникнет в увеличенном интервале периодичности. Аналогично, с уменьшением периодичности обслуживания средняя наработка до отказа будет увеличиваться, т.е. большее количество отказов будет предупреждаться или устраняться при проведении обслуживания и самих отказов возникнет меньше. Таким образом, изучаемая зависимость располагается во II и IV квадрантах относительно точки  $O$  (рис. 3, б), при этом, отрицательные значения  $\bar{x}$  и  $l$  рассматривать не имеет смысла. Кроме того, не вызывает сомнений тот факт, что при «плавном» изменении (увеличении или уменьшении) периодичности обслуживания от точки  $a$ , не может произойти каких-либо резких изменений изучаемой зависимости, поскольку для такого резкого отклонения нет предпосылок. Итак, при увеличении периодичности обслуживания изучаемая зависимость плавно уменьшается, а при уменьшении периодичности обслуживания - плавно увеличивается, поэтому линия 1 более точно и достовернее отражает поведение изучаемой зависимости в области точки  $O$  (линия 1, рис. 3, в).

Кроме точки отсчета (точка  $O$ ), нужно установить границы изучаемой зависимости. Итак, как было указано ранее, при  $l \rightarrow 0$ ,  $\bar{x} \rightarrow \infty$ , а при  $l \rightarrow \infty$ ,  $\bar{x} \rightarrow 0$  или к какому-либо конечному значению, характеризующему «прочность» системы до отказа. Очевидно, что диапазоны изменения  $\bar{x}$  и  $l$  от 0 до  $\infty$  излишне велики, поэтому, чтобы их ограничить, подробнее рассмотрим границы диапазона.

Значение  $l = 0$  км, т.е. «постоянное» обслуживание, на практике может означать непрерывный контроль за техническим состоянием автомобиля или его КЭ (например, с использованием систем датчиков или максимально частым возможным исполнением контрольной части операции ТО) с отложенным на наименьший возможный срок обслуживанием или исполнительской его части (например, совмещённой с ежедневным обслуживанием ЕО). Очевидно, что даже «постоянное» обслуживание не исключит возможность отказа, (принимая во внимание естественные процессы ухудшения технического состояния (ТС) автомобиля или его КЭ). Другими словами, первое граничное условие (при  $l \rightarrow 0$ ,  $\bar{x} \rightarrow \infty$ ) означает, что при установленном режиме ТО и постоянном контроле за состоянием автомобиля или его КЭ наработки до отказа будут максимальными и сравнимы, например, с гарантийными пробегами, т.е. будет обеспечен его ресурс на уровне гарантированного (например, заводом-изготовителем), и это условие примет вид: при  $l \rightarrow 0$ ,  $\bar{x} \rightarrow \bar{x}_{\max} (L_r)$  (рис. 3, б, точка  $\bar{x}_{\max}$ ).

Значение  $\bar{x} = 0$  км, т.е. «бессмысленное» обслуживание, на практике может означать, что установленная периодичность обслуживания не предупреждает ни одного отказа, и каждый выезд на линию будет сопровождаться максимальным риском отказа. Другими словами, при установленной периодичности самого обслуживания можно и не производить, и это не окажет на поток отказов практически никакого влияния. Точное значение периодичности обслуживания при  $\bar{x} = 0$ , характеризует некий «запас прочности» системы (автомобиля или его КЭ), т.е. как долго может «протянуть» система без предупреждающих технических воздействий и это условие примет вид: при  $l \rightarrow l_{\max}$ ,  $\bar{x} \rightarrow 0$  (рис. 3, б, точка  $l_{\max}$ ).

Варианты поведения изучаемой зависимости в области граничных точек  $\bar{x}_{\max}$  и  $l_{\max}$  показаны на рис. 3, в (линии 1, 2, 3), при этом линия 1 предполагает резкое возрастание-уменьшение, линия 2 - пропорциональное (линейное) изменение, линия 3 - плавное возрастание-уменьшение.



тание-уменьшение изучаемой зависимости. Основываясь на том факте, что при увеличении периодичности обслуживания (величины наработки до обслуживания), значения параметров, влияющих на возникновение отказов, близки или достигают предельно допустимых значений, можно утверждать, что излишнее увеличение периодичности обслуживания приводит к резкому приросту количества отказов (этот факт подтверждается, например, диаграммой изнашивания сопряженных пар [5]), т.е. большое приращение периодичности приводит к еще большему приросту отказов, соответственно, наработка на отказ резко снижается. Логично предположить, что «прирост» безотказности при снижении периодичности обслуживания ведёт себя схожим образом, т.е. большое снижение периодичности обслуживания приводит к резкому «приросту» безотказности. Данные утверждения более точно и достовернее описываются линией 1 в области граничных точек  $\bar{x}_{\max}$  и  $l_{\max}$  (рис. 3, з).

Соединяя (аппроксимируя) полученные линии изменения (линии 1, рис. 3, з), получаем искомый графический вид изучаемой зависимости  $\bar{x}(l)$  (рис. 3, е), который имеет пока принципиальный характер.

Подобный характер закономерности изменения может быть описан (аппроксимирован) с использованием экспоненциальной функции вида:

$$\bar{x} = \begin{cases} (b - 1) + k \cdot e^{n(l-a)}, & 0 < l < a \\ (b + 1) - k \cdot e^{n(l-a)}, & l \geq a \end{cases} \quad (5)$$

Показатель степени  $n$  в выражении (5) определяет степень прироста (снижения) безотказности автомобиля и может быть characterized таким показателем как интенсивность отказов  $\lambda(x)$ , определяемая как отношение плотности вероятности отказов  $f(x)$  к вероятности безотказной работы  $R(x)$ . Коэффициент  $k$  в выражении (5) может быть characterized коэффициентом полноты восстановления ресурса  $\eta$ , а также корректирующими коэффициентами нормативов ТЭА:  $k_1, k_3$ .

Теперь перейдем от зависимости  $\bar{x}(l)$  к ключевой, для определения удельных затрат на ремонт, зависимости  $C_B(l)$ , математическое выражение которой описывается формулой (3). Как видно, она представляет собой обратное выражение от зависимости  $\bar{x}(l)$ , т.е (рис. 4).

$$C_B = \begin{cases} \frac{c_6}{(b-1)+k \cdot e^{-n(l-a)}}, & 0 < l < a \\ \frac{c_6}{(b+1)-\frac{k}{e^{n(l-a)}}}, & l \geq a \end{cases} \quad (6)$$

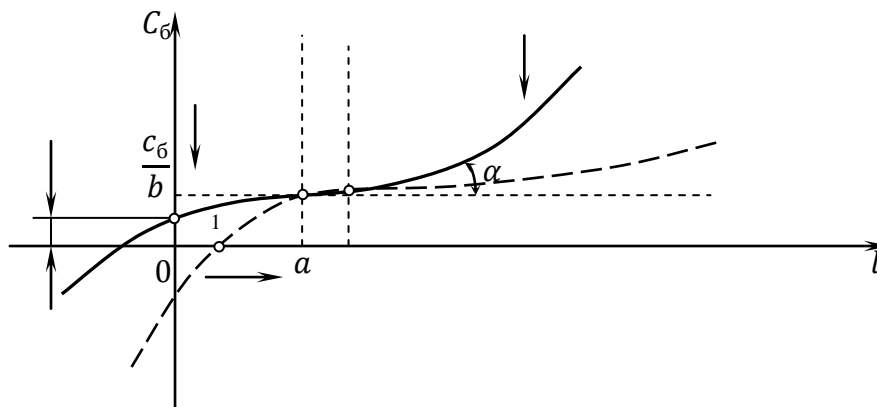


Рис. 4. Принципиальный вид зависимости  $C_B(l)$ :

— обратное выражение функции  $\bar{x}(l)$ ;  
 - - - - - предпочтительный, с точки зрения технической эксплуатации, вид функции

На основании изложенного, можно сделать следующие выводы. Задача определения зависимости  $\bar{x}(l)$  может быть решена разными способами. При этом параметры безотказности  $a$  и  $b$  при установленном (нормативном, гарантийном) режиме ТО и Р будем считать заданными.

Если задан (изготовителем) гарантийный пробег, т.е.  $\bar{x} = L_{\text{гар}}$ , то при заданных параметрах безотказности можно определить  $n$  с помощью логарифмирования выражения (5). Следует отметить, что данный способ определения закономерностей  $\bar{x}(l)$  и  $C_B(l)$  можно применить только для определения оптимальной периодичности ТО новых автомобилей.

Второй способ относится к определению закономерностей  $\bar{x}(l)$  и  $C_B(l)$  для уже эксплуатирующихся автомобилей. Имея статистические данные об отказах, необходимость устранения которых требует буксировки, определить  $\bar{x}$  не составляет сложности:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (7)$$

где  $x_i$  - текущее значение наработки до отказа;  $n$  - количество измерений наработок (общее число изделий).

Дифференцируя выражение (7) при  $n = \text{const}$ , получим плотность вероятности отказа:

$$f(x) = \frac{1}{n} \frac{dm}{dx}, \quad (8)$$

где  $\frac{dm}{dx}$  - количество отказов в единицу времени, т.е. элементарная «скорость», с которой в любой момент времени происходит приращение числа отказов при работе КЭ без замены,  $m$  - число отказавших изделий.

Дифференциальная функция распределения  $f(x)$  называется также законом распределения случайно величины. Знание законов распределения случайных величин позволяет планировать моменты проведения и трудоёмкость работ ТО и Р, определять необходимое количество запасных частей и решать другие технологические и организационные вопросы в области технической эксплуатации автомобилей (ТЭА).

Соответствующие разработки позволяют более точно прогнозировать оптимальную периодичность обслуживания автомобилей или любого его конструкционного элемента. Данные работы по уточнению технико-экономического метода определения оптимальной периодичности и прогнозированию ресурса автомобилей ведутся на кафедре «Автомобильный транспорт» НГТУ им. Р.Е. Алексеева.

#### Библиографический список

1. **Кузьмин, Н.А.** Техническая эксплуатация автомобилей: нормирование и управление: учеб. пособие / Н.А. Кузьмин. – М.: ФОРУМ, 2011. – 224 с.
2. **Корчажкин, М.Г.** Совершенствование нормативов технической эксплуатации городских автобусов / М.Г. Корчажкин, Н.А. Кузьмин, А.Д. Кустиков. – Н. Новгород: Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2012. №4. С. 168–174.
3. **Кузьмин, Н.А.** Проблемы надежности трансмиссий городских автобусов / Н.А.Кузьмин, А.Д. Кустиков– М.: Автотранспортное предприятие. 2013. №8. С. 39-42.
4. Положение о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта / Минавтотранс РСФСР. – М.: Транспорт, 1988. – 78 с.
5. **Кузьмин, Н.А.** Техническая эксплуатация автомобилей: закономерности изменения работоспособности: учеб. пособие / Н.А. Кузьмин. – М.: ФОРУМ, 2011. – 208 с.

Дата поступления  
в редакцию 01.10.2013

---

G.V. Borisov, L.N. Erofeeva

**UPDATE OF TECHNICAL AND ECONOMIC METHOD OF DETERMINATION  
OF AUTOMOBILE TECHNICAL INFLUENCES OPTIMAL PERIODICITY**

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

**Purpose:** At present there are many methods to determine the optimal frequency of maintenance vehicles. Technical and economic method is the most simple and universal method of determination of automobile technical influences optimal periodicity but doesn't take into account a number of features of automobile technical operation in real conditions (for example, downtime on route due to failure emergence), requires true information about automobile life-time and doesn't take into account specified level of non-failure operation, that limits the method usage in practice. That's why it's necessary to update and correct this method for elimination of lacks listed above and for increase of practical usage value of technical and economic method in automobile sphere.

**Design/methodology/approach:** Based on the natural physical and mechanical processes that occur in structural elements of the vehicle to plot the change in the mean time to failure of the frequency of maintenance vehicles

**Findings:** The paper presents the rationale selection of graphic types depending mean time to failures on the frequency of vehicle maintenance and mathematical expression of this dependence.

**Research limitations/implication:** The work presents a qualitative dependence of mean time to failure of the maintenance intervals, described by an exponential function. Also audited the compliance of the parabolic function, work is underway to verify the compliance of other mathematical functions depending on the study.

**Originality/value:** These materials may be useful for specialists dealing with the operation of motor transport, and as for teachers and students of corresponding profile.

*Key words:* technical operation of cars, failure, periodicity of technical influences, non-failure operation, durability, reliability.

УДК 621.113

Н.Т. Лозовский, Г.В. Борисов, Н.А. Кузьмин

**ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ ДОЛГОВЕЧНОСТЬ КАБИН ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Обеспечение долговечности автомобилей является актуальной технической задачей. Для её решения необходим комплексный подход при изучении динамических явлений, происходящих в автомобиле при движении по дорогам. Причём необходимо учитывать взаимодействие элементов автомобиля как между собой, так и влияние на них внешней среды. В несущей части автомобиля возникают изгибающие, скручивающие, сдвигающие и другие усилия. Однако не всегда это учитывается. Учитывая это, крепление кабины на раме грузовика должно быть достаточно эластичным. Но не всегда это принимают во внимание. В результате и в раме и в кабине возникают перегрузки, приводящие к возникновению неисправностей. Ниже рассмотрено взаимодействие кабины или кузова с рамой грузового автомобиля при его движении, частично указаны силы, действующие в указанных элементах автомобиля, рассмотрена динамика их взаимодействия. Даны рекомендации по разработке соединений кабины с рамой и их характеристики. Эти материалы могут быть полезными для специалистов занимающихся конструированием и эксплуатацией автомобильного транспорта, а так же для учащихся и студентов вузов соответствующего профиля.

*Ключевые слова:* техническая эксплуатация автомобилей, безотказность, долговечность, надежность.

Автомобиль является сложной мобильной системой. Для обеспечения достаточной его долговечности необходим комплексный подход при изучении динамических явлений, происходящих в нём при движении по дорогам. Причём необходимо учитывать взаимодействие элементов автомобиля как между собой, так и влияние на них внешней среды. Автомобиль работает в сложных дорожных условиях, ему приходится двигаться по дорогам различного качества, преодолевать всевозможные неровности, препятствия. При движении автомобиля положение колес относительно корпуса постоянно меняется. В несущей части автомобиля возникают изгибающие, скручивающие, сдвигающие и другие усилия. Однако не всегда это учитывается. Для ряда агрегатов лучше, чтобы несущая система автомобиля была бы жесткой, но это приведет к увеличению веса, повышению стоимости, снижению проходимости и т.д. Поэтому у современных автомобилей несущую систему делают относительно гибкой. Учитывая это, крепление кабины на раме грузовика должно быть достаточно эластичным. Но не всегда это принимают во внимание. В результате и в раме и в кабине возникают перегрузки, приводящие к возникновению неисправностей. Указанное соединение должно выполняться так, чтобы было возможно ограниченно-относительное движение между кабиной или корпусом и рамой шасси автомобиля, причем силы искривлений и толчки, передающиеся от рамы шасси к кабине или кузову, смонтированным на ней, должны поглощаться или сводиться к минимуму. Увеличение нагрузок на все конструкционные элементы автомобилей влечёт за собой снижение их средней наработки на отказ, что, в свою очередь влияет на показатели ТЭА. Так, при изменении средней наработки на отказ агрегата изменится вид зависимости плотности вероятности отказа от наработки как агрегата, так и всего автомобиля.

Современные грузовые автомобили имеют кабину, расположенную непосредственно около платформы для перевозки грузов и независимо и отдельно установленную относительно неё. Платформа имеет тенденцию укреплять заднюю часть рамы, причём может происходить прогиб рамы под воздействием ударов в промежуточной части между передними и задними колесами или рядом с задней стенкой кабины. Однако желательно равномерное распределение нагрузки по всему лонжерону.

Экспериментальные данные показывают, что среднее количество циклов закручивания рам на каждый километр пробега составляет 100 циклов, а углы закручивания имеют следующие величины (табл. 1).

**Таблица 1**  
**Углы закручивания рам автомобилей**

№	Дорога	среднее значе-	максимальное
1	Грунтовая	3,5	7,52
2	с покрытием:		
	– булыжным	1,5	3,22
	–асфальтовым	I	2,145

При движении автомобиля в шасси возникают шум и вибрация. Кузов необходимо от них изолировать, так как они вызывают напряжения в кузове и дискомфорт пассажиров. Установлено, что при определенных скоростях движения кабина водителя подвергается вибрациям в продольном направлении (вперед-назад) относительно рамы автомобиля, причиняя излишние нагрузки пассажирам, особенно на мозговую и кишечную области. Это неприятное явление, которое можно назвать "автомобильной качкой", происходит в пределах средних скоростей (40-60 км/час). Оно может быть и при эластичной подвеске кабины на шасси и стать особенно неприятным в длительных поездках по прямым, ровным дорогам с хорошей поверхностью. "Автомобильная качка" возникает из-за вибрации рамы автомобиля как свободно лежащей балки, на которую действуют периодические силы, возбуждаемые во время движения незначительными дефектами ходового колеса либо неровностями дороги.

Рассмотрим влияние крепления кабины или кузова на раме (основной несущий элемент) грузового автомобиля на его долговечность. Исследования показали, что в ряде случаев усталостные разрушения у кабин происходят в стыковочных узлах и местах крепления к несущей системе автомобиля. Соответствующие испытания были проведены для грузовых автомобилей Горьковского и Уральского автозаводов. далее приведены наиболее характерные результаты для базовых моделей. Например, для «ГАЗ – 3307» перемещения передних точек крепления кабины составляли в среднем 20мм. А максимальные 44 мм. Возникающие при этом напряжения в полу кабины в зоне передних точек её крепления доходили до 38000 Н/см<sup>2</sup>, а в зоне задних точек крепления – до 14000 Н/см<sup>2</sup>, в стойке переднего окна кабины – до 11000 Н/см<sup>2</sup>. Для автомобиля «Урал – 4341» максимальные напряжения появлялись в заднем усилителе пола кабины при движении по бездорожью (10700 Н/см<sup>2</sup>) и при переезде через кювет (16700 Н/см<sup>2</sup>). Значительные напряжения так же были зафиксированы в стойках переднего окна кабины (до 7800 Н/см<sup>2</sup>). Для этих режимов движения характерны значительные перекосы рамы автомобиля. Кроме того, согласно экспериментальным данным, в некоторых узлах кабины возникают остаточные напряжения от штамповки и сварки её элементов (до 9000 Н/см<sup>2</sup>), что также отрицательно сказывается на долговечности кабины. Предельное состояние кабин возникало при пробеге менее 100 тыс. км.

Большие напряжения объясняются тем, что серийное крепление кабины не обеспечивало достаточной компенсации перекоса рамы автомобиля. После изменения конструкции и параметров крепления кабин, с учётом основных действующих факторов, их долговечность возросла более чем в 10 раз. На основе проведённых исследований были даны рекомендации для разработки перспективных моделей автомобилей.

Тип крепления кабины также влияет на ускорения, возникающие в ней, поэтому надо следить за тем, чтобы амплитудно-частотные характеристики колебаний кабины находились в комфортной зоне для человека. Всё вышесказанное относится и к другим кузовным конструкциям (фургоны, цистерны, грузовые платформы и пр.).

Рассмотрим поведение кабины и рамы во время движения автомобиля. Предположим, что кабина (рис. 1, а) закреплена на раме в четырех точках (передние I и 8 жесткие). Точки крепления расположены над рамой. Кабина 14 расположена так, что ее продольная ось 6 лежит в одной вертикальной плоскости с осью 10 рамы шасси 7. Предположим, что автомобиль

наехал правым колесом на препятствие, тогда лонжерон 9 смещается вперед, а передний край лонжерона 11 – вертикально вверх. Лонжероны вращаются в противоположных направлениях в вертикальных плоскостях от поперечной оси 17 рамы (рис. 1, б), расположенной в вертикальной плоскости, содержащей болты 19. Ввиду того, что в передних точках 1 и 8 кабина прикрепена жестко к лонжеронам II и 9, передний конец кабины 14 вынужден двигаться в унисон с лонжеронами. Поперечная ось 2 также перпендикулярна к оси 10 рамы шасси, как видно из рисунка. Благодаря расстоянию по вертикали между болтами 19 и поперечной осью 2 рамы, вращательные движения лонжеронов 11 и 9 побуждают продольную ось 26 болта 19 вместе с лонжероном 9 занять наклонное положение, указанное на рис. 2. Продольная ось другого болта 19 вместе с лонжероном 11 наклонится в противоположную сторону, и линия, проведенная через головки болтов 19, займет положение 3 (рис. 1, а). Линия 3 изображает положение продольной оси передней поперечины кабины 14, когда лонжероны 9 и 11 вращаются вокруг поперечной оси, как описано. Таким образом, задняя поперечина кабины должна колебаться вокруг оси 18 относительно рамы 7 шасси, ось которой 18 перпендикулярна к поперечной оси 2 и пересекает ее под тем же углом, как и передняя поперечина кабины, для того чтобы предотвратить сильные перекосы металлических конструкций, связывающих поперечины 27 и 28 кабины 14. Продольная ось задней поперечины 28, которая в спокойном состоянии располагается поперек рамы 7 шасси и обозначена 4, займет положение линии 5. Когда лонжероны 9 и 11 вращаются вокруг оси 10, как описано ранее, лонжерон 11 в зоне задней поперечины кабины смещается вертикально вверх. Поперечная линия 21 (рис. 1, в), расположенная посередине между полками лонжеронов 9 и 11, занимает положение линии 20. Соответственно перпендикуляр 23 к линии займет положение 22. Если сзади кабина закреплена жестко в двух точках на раме, задняя поперечина кабины будет стремиться следовать за рамой и кабину перекосит, что вызовет напряжения в элементах кабины, а точки крепления будут выворачивать.

Таким образом, при наезде автомобиля на препятствие лонжероны вращаются, как описано ранее, правый лонжерон в зоне задней поперечины кабины смещается вертикально вверх. Поперечная линия, расположенная посередине между полками лонжеронов, повернется влево. Соответственно повернутся задние крепления кабины. Если сзади кабина закреплена жестко в двух точках на раме, задняя поперечина кабины будет стремиться следовать за рамой и кабину перекосит, что вызовет напряжения в элементах кабины, а точки крепления будут выворачивать.

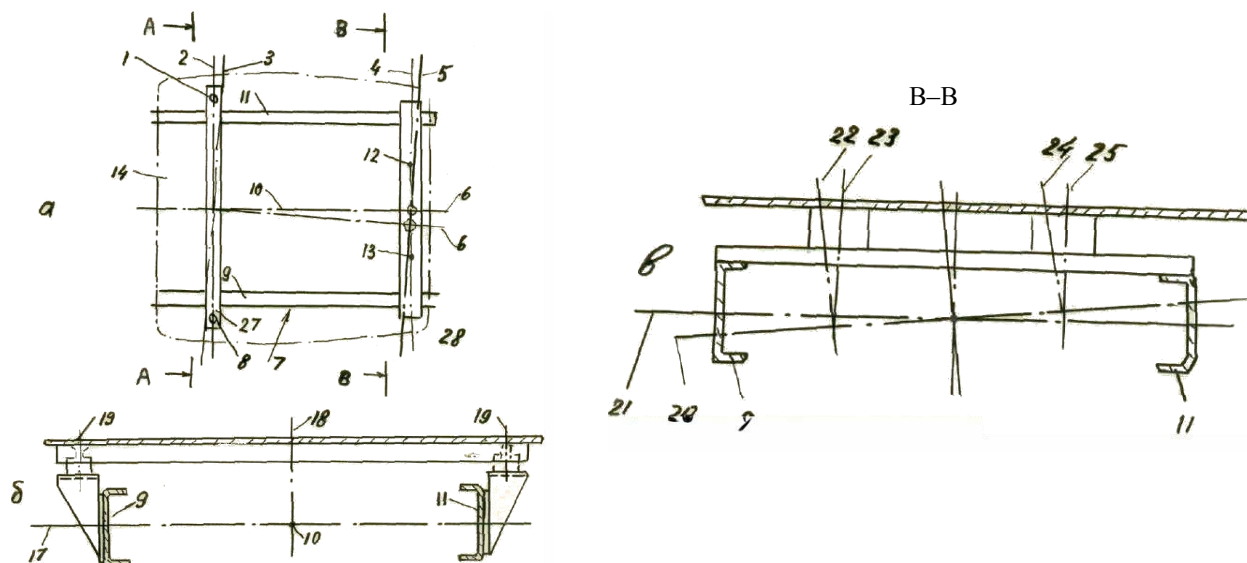


Рис. 1. Схема взаимодействия кабины с рамой

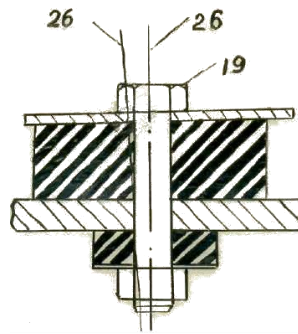


Рис. 2. Положения переднего болта крепления

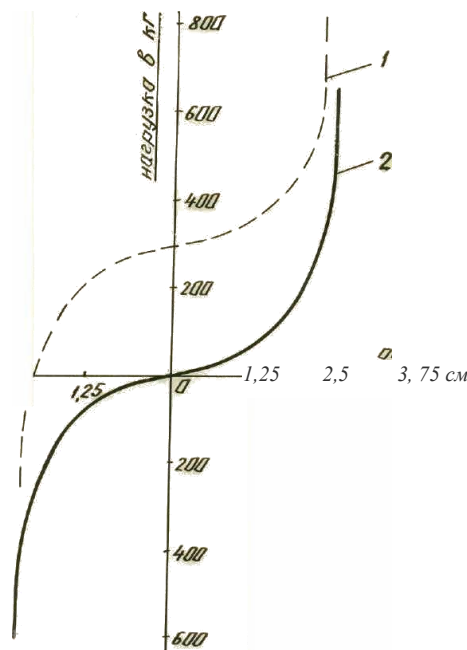


Рис. 3. Характеристика упругого элемента:

1 – в свободном состоянии, 2 – при нагрузке 3000 кН

Для поглощения "автомобильной качки" можно использовать упругие элементы с «гасящей» характеристикой. Элемент должен иметь очень низкий модуль упругости в условиях статической нагрузки, т.е. быть очень мягким для малых изгибов и малых дорожных сотрясений. Ноль должен быть условием статической нагрузки. Опыты, проведенные с эластичными соединениями кабин с шасси, подвергающимся встряскам и изгибам на неровной дороге, показали, что желательна крутая характеристика жесткости элемента с ограничителем перегрузки и значительные свободные отдачи.

Можно сделать элемент подвески кабины, в котором объединены амортизатор с упругим элементом. Упругий элемент может быть с симметричной и несимметричной характеристиками. Последний можно использовать для выравнивания нагрузок, действующих с разных сторон.

Всё сказанное особенно важно для кабин, расположенным над двигателем. Для них конструкция крепления кабины существенно усложняется. На рис. 4 показано устройство для откидывающейся, расположенной над двигателем, кабины, в которой задняя балка кабины соединена с кронштейнами рамы тягами, шарнирно закреплёнными одним концом на кронштейнах, а другим – на балке. Благодаря этому напряжения в кабине при скручивании рамы уменьшаются, так как это устройство позволяет сохранять положение кабины неизменным относительно жестких передних опор и не передавать на нее скручивающие усилия

от рамы. С целью гашения колебаний шарниры тяг снабжены упругим элементом, работающим на кручение. Пунктир изображает устройство при скручивании рамы. У кабин, расположенных над двигателем, задняя часть находится высоко над рамой, поэтому возникают большие поперечные перемещения кабины при кручении рамы.

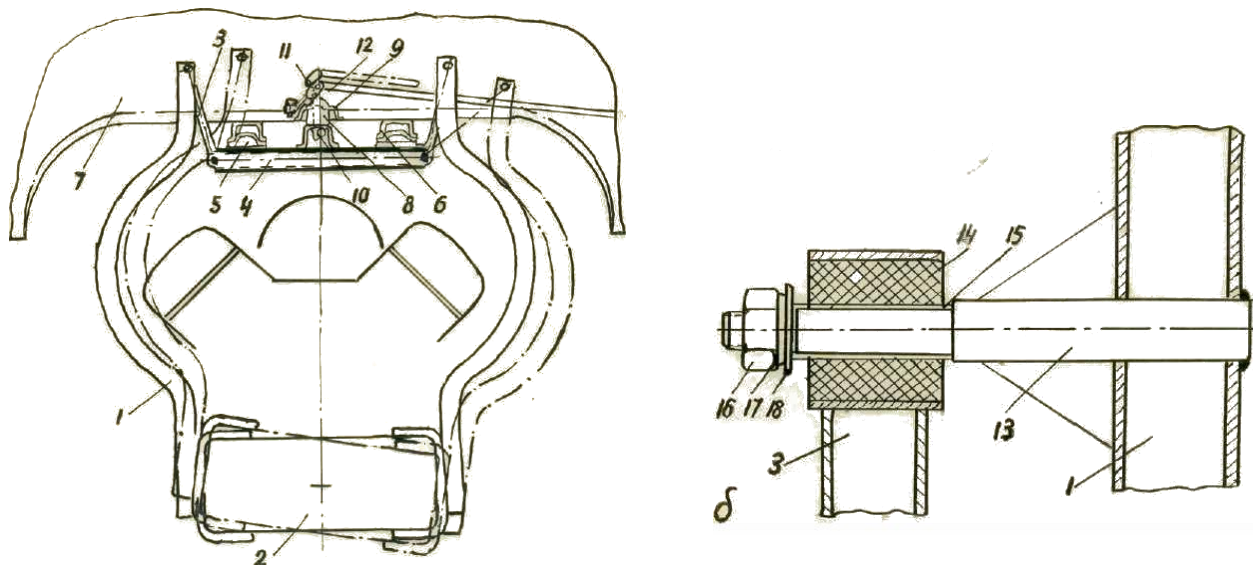


Рис. 4. Подвеска для откидывающейся кабины

Кронштейны 1 одним концом жестко закреплены на раме 2, а другим шарнирно соединены с тягами 3. Другой конец тяги шарнирно соединен с поперечно расположенной балкой 4, снабженной опорами крепления кабины. Опоры выполнены в виде резино-металлических подушек 5, входящих в гнезда скоб 6 кабины 7. Точность посадки кабины обеспечивается с помощью конусного штыря 8, закрепленного на балке 4 и входящего при опускании кабины в паз на центральном кронштейне 9 кабины. Кабина подтягивается к балке крюком 10 через кулачки 11, приводимые в действие от тяги 12. Шарнир крепления тяги (рис. 4, б) состоит из жестко закрепленной на кронштейне рамы оси 13, связанной с тягой 3 через упругий элемент 14. В резиновую втулку 14 завулканизирована металлическая втулка 15, крепящаяся жестко на оси 13. Роль упругого элемента может выполнять торсионный вал. Для неоткидывающейся кабины устройство аналогично.

### Выводы

1. Кабина должна иметь жёсткость, обеспечивающую комфортное управление автомобилем.
2. Подвеска (крепление) кабины должна сводить к минимуму негативное влияние рамы (несущей системы) автомобиля.
3. Конструкция и материалы элементов крепления кабины должны обеспечивать их достаточную долговечность.
4. Остаточные напряжения, возникающие в элементах кабины при формовке и сварке, должны быть значительно меньше напряжений, возникающих при динамических нагрузках.
5. Подвеска (крепление) кабины должна гасить излишнюю деформацию и неблагоприятные колебания несущей системы автомобиля.

### Библиографический список

1. **Кравец, В.Н.** Теория автомобиля. / В.Н. Кравец, В.В. Селифонов. – М.: Гринлайн, 2011. – 884 с.
2. **Кузьмин, Н.А.** Техническая эксплуатация автомобилей: закономерности изменения работоспособности: учеб. пособие / Н.А. Кузьмин. – М.: ФОРУМ, 2011. – 208 с.



3. **Светлицкий, В.А.** Случайные колебания механических систем / В.Ф. Светлицкий. – М.: Машиностроение, 1991. – 318 с.
4. **Бойцов, Б.В.** Прогнозирование долговечности напряжённых конструкций / Б.В. Бойцов. – М.: Машиностроение, 1985. – 231 с.
5. **Потураев, В.Н.** Резиновые и резино-металлические детали машин / В.Н. Потураев. – М.: Машиностроение, 1966. – 340 с.

*Дата поступления  
в редакцию 01.10.2013*

**N.T. Lozovskiy, G.V. Borisov, N.A. Kuzmin**

## **OPERATIONAL DURABILITY OF TRUCK CABS**

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

**Purpose:** Ensuring the durability of the vehicles is an actual technical task. Design and cab to the chassis has an important role for the durability of the car, so the development of rational methods of attaching the cab to the frame increases the durability of the vehicle.

**Design/methodology/approach:** To solve that one complex approach is necessary to the study of dynamic phenomena occurring in the car when driving on the roads. Moreover, it is necessary to consider the interaction of the elements of the car, both among themselves and the impact of the external environment. In the carrier of the car there are bending, twisting, shearing and other efforts. However, this is not always taken into account. Given this, the cab on the frame of the truck must be sufficiently elastic. But this is not always taken into account. As a result, in the frame and cab overload occur, leading to malfunctions.

**Findings:** Below are the interaction of a cabin or body frame of the truck when it is in motion, partly are the forces acting in the above-mentioned elements of the car, the dynamics of their interactions. Recommendations for the development of compounds cabin with frame and their characteristics.

**Research limitations/implication:** The proposed recommendations for cab suspension applies to "GAS" and "Ural" trucks.

**Originality/value:** These materials may be useful for specialists dealing with the construction and operation of motor transport, and as for students of corresponding profile.

*Key words:* technical operation of cars, non-failure operation, durability, reliability.

УДК 656.13

А. В. Липенков

**ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ОСТАНОВОЧНОГО ПУНКТА  
ГОРОДСКОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА**

Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева

В статье рассматривается имитационная модель остановочного пункта городского пассажирского транспорта. Модель позволяет с более высокой точностью оценить пропускную способность остановочного пункта, чем традиционные расчетные методики за счет учета большего числа факторов.

*Ключевые слова:* остановочный пункт, пропускная способность, пассажирские перевозки, городской пассажирский транспорт, имитационное моделирование.

Остановочные пункты (ОП) городского пассажирского транспорта – важные элементы транспортной инфраструктуры города. Они являются местом взаимодействия как маршрутных транспортных средств (МТС) с пассажирами, так и транспортных средств различных маршрутов между собой. ОП оказывают влияние на пропускную способность дорог и безопасность движения. Важнейшим показателем, характеризующим ОП, является его пропускная способность (ПС).

В результате проведенного комплексного исследования ОП в Нижнем Новгороде [1] были выявлены нарушения в работе городского пассажирского транспорта на ОП, связанные в первую очередь с недостаточной ПС последних. По мнению автора статьи, это связано с работой на маршрутах городского пассажирского транспорта большого числа автобусов малого и особо малого класса, принадлежащих частным перевозчикам. В итоге из-за недостаточной ПС ОП снижается ПС дороги и безопасность дорожного движения, увеличиваются затраты времени как пассажирами, так и водителями личного транспорта, растет расход топлива МТС и нагрузка на окружающую среду. Таким образом, задача повышения пропускной способности ОП является весьма актуальной.

Для оценки ПС ОП используются различные расчетные методики: модель Ефимова, модель R. Fernandez, Highway Capacity Manual 2000 (HCM2000), а также их варианты и ряд других, менее распространенных методик. Ряд авторов предлагает использовать методы теории массового обслуживания. Подробнее все эти работы рассмотрены в [2].

Расчет ПС по данным методикам предполагает определенный уровень абстракции и некоторые допущения. Например, считается, что на ОП прибывает только одномарочный подвижной состав (или близкий по характеристикам). В реальной же ситуации, число автобусов, способных одновременно находится на ОП не является постоянным. Например, ОП может быть занят двумя автобусами большого класса или четырьмя автобусами особо малого класса. Также в расчетных методиках часто не учтены различные факторы, оказывающие серьезное влияние на ПС, например, неэффективное использование длины ОП [1].

В этой ситуации использование имитационного моделирования является более выигрышным, так как позволяет повысить точность расчетов. Благодаря имитационному моделированию становится возможным прогнозирование и анализ различных ситуаций, которые еще не происходили, но могут произойти в будущем. С помощью имитационной модели существует возможность оценить важность отдельных параметров, что облегчает создание теоретических моделей. Имитационные модели позволяют проводить эксперименты, которые невозможно провести на реальной дорожной сети. К тому же они более наглядны и позволяют отслеживать динамику процесса.

Имитационное моделирование находит широкое применение в области решения задач автомобильного транспорта, в особенности в задачах управления транспортными и пассажирскими потоками [7, 8].

Существует ряд работ, посвященных исследованию остановочных пунктов методами имитационного моделирования, например, [3, 4]. Однако работа [3] акцентирована на исследовании конфликтных ситуаций в зоне ОП, а в работе [4] не учтен ряд факторов, оказывающих существенное влияние на ПС ОП.

Учитывая предыдущий опыт автора в моделировании городских пассажирских перевозок [5], для разработки модели ОП был выбран Anylogic 6.9.0. [9], в последних версиях которого была добавлена специальная библиотека дорожного движения, позволяющая эффективно моделировать транспортный поток.

Логика разработанной имитационной модели представлена на рис. 1.

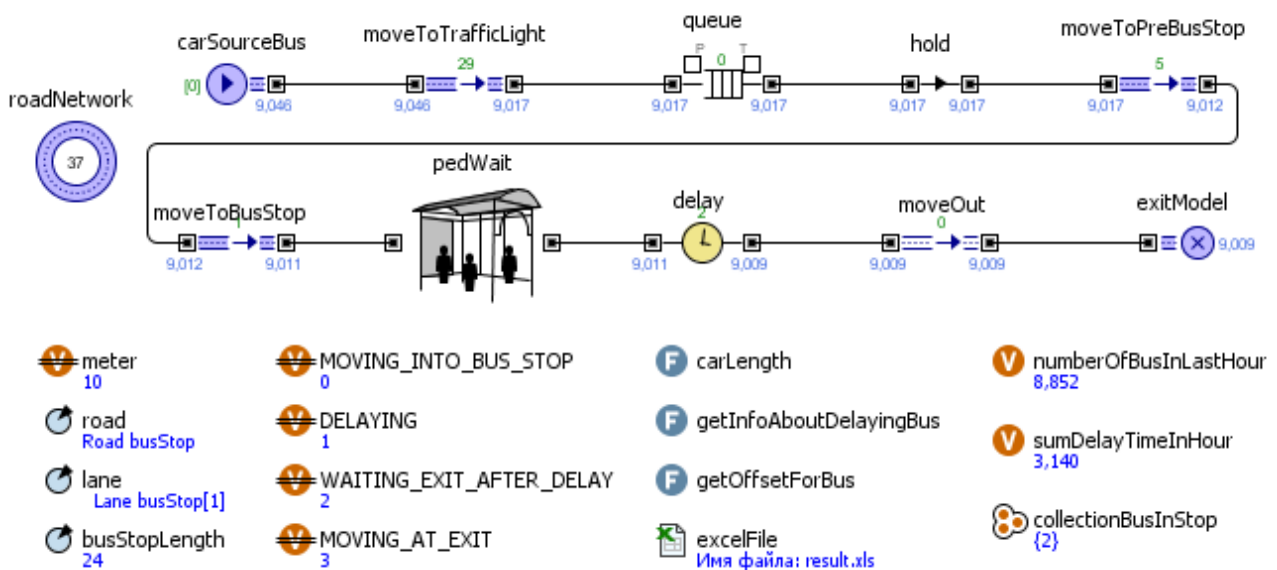


Рис. 1. Логика имитационной модели ОП

Рассмотрим объекты в модели.

Объект *roadNetwork* – объект, задающий топологию транспортной сети, основываясь на нарисованной пользователем графике, проверяет правильность сети и отображает сеть дорог на анимации во время выполнения модели. Этот объект должен присутствовать в любой модели дорожного трафика, построенной с помощью Anylogic. В свойствах этого объекта задаются параметры, связанных с поведением водителей, ограничениями по скоростям и расстояниям между автомобилями. Дорожная сеть представляет собой несколько фигур (линий и дуг) объединенных в группу, которая указывается в специальном поле объекта *roadNetwork*.

*carSourceBus* – генератор МТС. Транспортные средства генерируются согласно пуассоновскому распределению с заданной интенсивностью.

*moveToTrafficLight* – объект, управляющий движением автобусов. Он заставляет их двигаться к светофору.

Светофор был добавлен в модель с целью изучения влияния эффекта образования «пачек» [2] на ПС ОП. Логика светофора в модели представлена на рис. 2. Пользователь модели может включать и отключать светофор, менять длительность горения как зеленого и красного сигнала, так и длительность цикла регулирования, а также удаленность светофора от ОП. Параметры работы светофорного объекта задаются соответствующими параметрами (рис. 2).

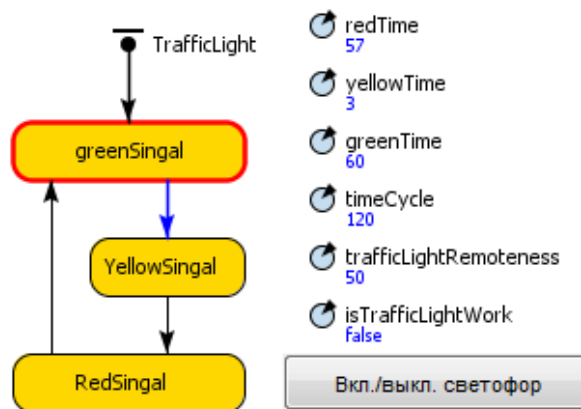


Рис. 2. Логика работы светофора в модели

Если светофор переходит в режим запрещающего сигнала, то поток транспорта блокируется объектом *hold*, и автомобили ожидают продолжения движения в объекте *queue* (очередь).

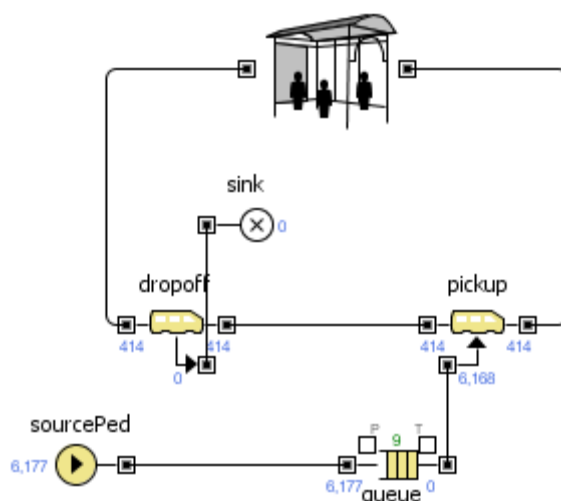
Следующие два объекта *moveToPreBusStop* и *moveToBusStop* задают путь дальнейшего следования по аналогии с рассмотренным выше объектом *moveToTrafficLight*. Первый - к началу ОП, во втором выбирается точное место остановки с учетом текущей загрузки ОП другими МТС.

Наибольшую сложность при разработке модели представлял выбор точного места остановки автобуса на ОП. Для этого каждому МТС присваивался один из четырех статусов, заданный константами:

10. *MOVING\_INTO\_BUS\_STOP* – МТС движется внутри ОП;
11. *DELAYING* – МТС осуществляет посадку-высадку пассажиров;
12. *WAITING\_EXIT\_AFTER\_DELAY* – МТС завершило посадку-высадку пассажиров, но ожидает, пока впереди стоящее МТС не освободится;
13. *MOVING\_AT\_EXIT* – МТС еще находится в зоне ОП, но уже освобождает его.

При подъезде к ОП нового МТС запускается функция *getOffsetForBus*, которая просматривает все находящиеся на ОП МТС и высчитывает точку остановки.

*pedWait* – вложенный активный объект, включающий в себя несколько более простых объектов (см. рис. 3).

Рис. 3. Логика активного объекта *PedWait*

*sourcePed* – генератор пассажиров, интенсивность поступления которых задается при запуске эксперимента.

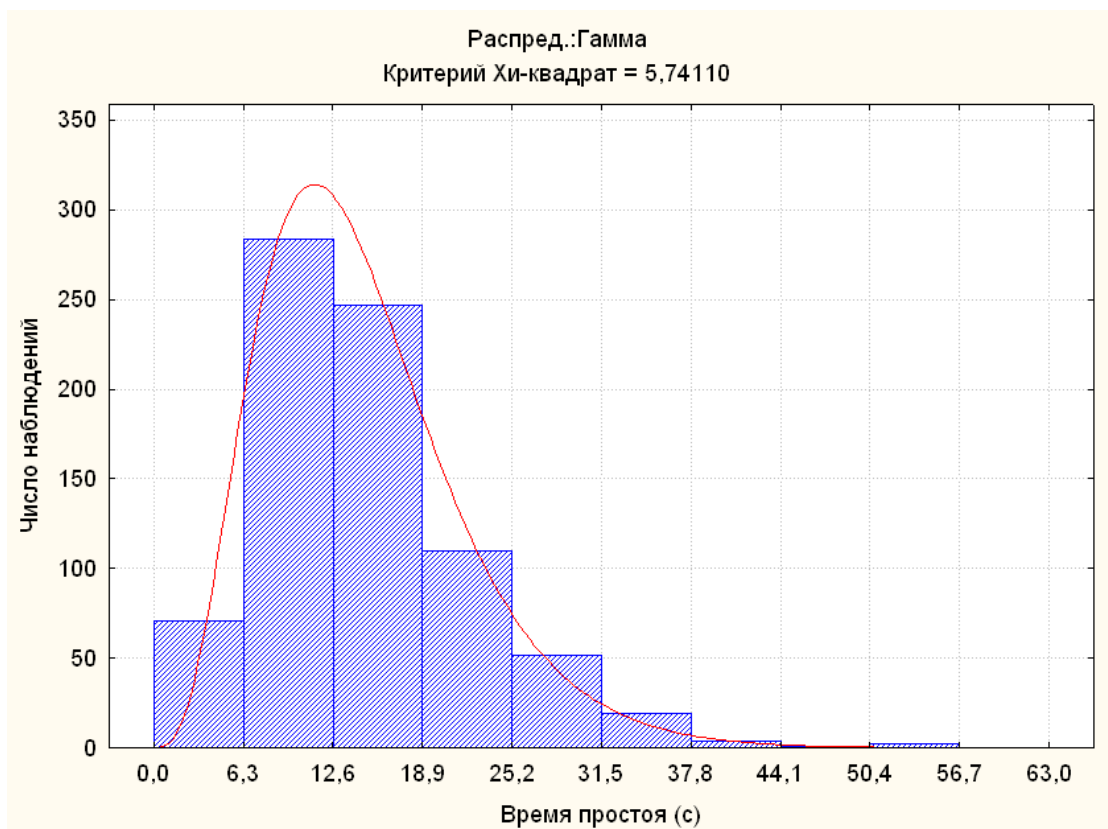
*queue* – очередь пассажиров, ожидающих прибытия МТС.

*pickup* и *dropoff* – моделируют соответственно посадку и высадку пассажиров. Этот процесс в модели происходит за нулевое время, поэтому для моделирования времени простоя под посадкой и высадкой присутствует отдельный объект.

*Delay* – моделирует время задержки автобуса на ОП при посадке и высадке пассажиров.

После завершения посадки и высадки пассажиров, автобус покидает ОП и удаляется из модели с помощью объекта *exitModel*.

Так как время посадки и высадки пассажиров является наиболее важной составляющей общего времени, затрачиваемого МТС на ОП, его моделированию было уделено особое внимание. Для выявления закономерностей изменения времени простоя при посадке и высадке пассажиров был проведен натурный эксперимент. Было исследовано 14 ОП Нижнего Новгорода. Эксперимент заключался в фиксации работы автобусов на видеокамеру с последующей обработкой в Excel. Объем исследованных МТС составил 2488 единиц.



**Рис. 4. Выбор закона распределения времени простоя автобуса при посадке-высадке пассажиров**

Было выявлено, что на всех исследованных ОП, время посадки-высадки пассажиров описывается гамма-распределением (также во всех случаях подходил логарифмически-нормальный закон). Гистограмма распределения времени посадки-высадки пассажиров на одном из исследованных ОП представлена на рис. 4. Также была выявлена линейная зависимость между временем посадки-высадки пассажиров и их количеством (вошедшие + вышедшие). Все полученные закономерности были применены в рассматриваемой имитационной модели. Подробнее с результатами этого исследования можно ознакомиться в работе [6].

Весь процесс моделирования отображается на анимации, что позволяет детально отслеживать динамику процесса и при необходимости вносить в модель изменения прямо во время выполнения. Анимация имитационной модели представлена на рис. 5.



Рис. 5. Анимация имитационной модели

На рис. 5 представлена анимация варианта модели ОП без кармана. Существует вариант модели ОП с карманом, с двумя светофорами и другие.

Построенная модель позволяет оценивать пропускную способность ОП и задержки транспорта при действии различных факторов, таких как:

- 1) разнотипный подвижной состав (автобусы большого, малого и особо малого класса), каждый со своими интенсивностями поступления и особенностями;
- 2) светофорное регулирование (удаленность светофора, время цикла регулирования, длительность разрешающего сигнала);
- 3) пассажиропоток, влияющий на время посадки и высадки пассажиров;
- 4) возможность маневрирования при убытии, когда МТС, закончившее посадку и высадку пассажиров покидает ОП, совершая при этом маневр по обгону впереди стоящего МТС;
- 5) неэффективное использование места на ОП, когда МТС, прибывающее на ОП первым, останавливается не в начале ОП, а в произвольном месте, как правило, около остановочного павильона;
- б) простой маршрутных транспортных средств в ожидании дополнительных пассажиров [1];

Разработанная имитационная модель может быть использована для расчета пропускной способности как вновь проектируемых остановочных пунктов, так и уже действующих. Также данная модель может быть полезна в оценке влияния на ПС отдельных, не рассмотренных ранее факторов, и экспериментальных проверок выдвинутых гипотез об их влиянии. С помощью данной модели уже получены некоторые результаты, обзор которых будет доступен в последующих публикациях автора.

#### Библиографический список

1. **Липенков, А.В.** О результатах комплексного исследования остановочных пунктов городского пассажирского транспорта в г. Нижнем Новгороде // Мир транспорта и технологических машин. 2012. №4. С. 93–102.
2. **Липенков, А.В.** Анализ методик расчета пропускной способности остановочного пункта / А.В.Липенков, Н.А. Кузьмин // Безопасность транспортных средств в эксплуатации: материалы 79-й междунар. науч.-практ. конф. ААИ. – Н. Новгород, 3-4 октября 2012. С. 188–191.
3. **Кажаяев, А.А.** Имитационная модель загрузки остановочных пунктов городского маршрутного транспорта / А.А. Кажаяев, О.Н. Ларин // Современные проблемы транспортного комплекса России. 2011. №1. С. 86–94.

4. Димова, И. П. Применение имитационного моделирования для исследования пропускной способности остановочных пунктов / И. П. Димова, В. В. Грачев // Современное состояние и инновации транспортного комплекса: материалы научно-технической конференции. – Пермь: ПГТУ, 2008. Т. 1. С. 87–92.
5. Елисеев, М.Е. О проведении обследований городских автобусных маршрутов с целью их последующего моделирования / М.Е. Елисеев, А.В. Липенков, О. А. Маслова // Автотранспортное предприятие. 2012. №1. С. 42–44.
6. Липенков, А.В. О подходах к моделированию времени простоя автобусов на остановочных пунктах городского пассажирского транспорта / А.В. Липенков, О.А. Маслова, М.Е. Елисеев // Мир транспорта и технологических машин. 2012. №3. С. 84–93.
7. Кузьмин, Н.А. Техническая эксплуатация автомобилей: нормирование и управление: учеб. пособие / Н.А. Кузьмин. – М.: ФОРУМ, 2011. – 224 с.
8. Кузьмин Н.А. Моделирование транспортных процессов и управление ими / Н.А. Кузьмин, Л.Г. Лавров // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2010. №3. С. 138–147.
9. Официальный сайт Anylogic [www.anylogic.ru](http://www.anylogic.ru) [Электронный ресурс].

*Дата поступления  
в редакцию 01.10.2013*

**A. V. Lipenkov**

## **SIMULATION MODEL OF A BUS STOP OF CITY PUBLIC TRANSPORT**

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

**Purpose:** the key purpose is the estimation of acceptance rate of a bus stop of city public transport in accordance with huge amount of various factors when traditional calculative methods can't give a precise estimation.

**Design/methodology/approach:** Simulation modeling is used. The Anylogic software is used for development of simulation model that contains the characterized by representation of traffic flow.

**Findings:** the simulation model of a bus stop of city public transport is developed. It can be used for high perceive estimation of the acceptance rate.

**Research limitations/implications:** an assumption is made: characteristics of vehicles movement are not depending on intensity of a traffic flow and the level of bus stop traffic. Experimental observations show that the increasing of intensity of a traffic flow and bus stop traffic could seriously influence on vehicles movement. It will be taken into account during further researches.

**Originality/value:** the substance of the paper is developed method of highly perceive estimation of geometrical characteristics of bus stops, which could reduce the cost of its design and modifications.

*Key words:* bus stop, acceptance rate, passenger transportation, passenger city transport, simulation modeling.

УДК 621.113

И.А. Суворов, Л.А. Бердников

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ТЕПЛОВОЙ ОПТИМИЗАЦИИ РОТОРА  
ТУРБОКОМПРЕССОРА С ПРОВЕДЕНИЕМ  
КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНЫХ АНАЛИЗОВ**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Выявление причин отказов и уменьшение воздействия негативных факторов с целью повышения надежности турбокомпрессоров является актуальной задачей. При работе турбокомпрессора повышенные температурные нагрузки являются причиной возникновения явлений, приводящих к отказу агрегата. Сниженный ресурс турбокомпрессора отрицательно влияет на эффективность функционирования автомобильного транспорта. Необходимы исследования, позволяющие реализовать неиспользованные возможности оптимизации теплового состояния частей турбокомпрессора.

*Ключевые слова:* газотурбинный наддув, турбокомпрессор радиального типа, отказ, ресурс, тепловое состояние, конечно-элементный анализ.

Актуальной задачей на автомобильном транспорте и в технике в целом является сохранение работоспособности каждого рассматриваемого объекта, а также увеличение его надежности и ресурса. Надежность автомобиля зависит от надежности деталей, узлов и агрегатов его составляющих. Одним из лимитирующих агрегатов является двигатель автомобиля, отказы которого во многих случаях наиболее распространены.

В настоящее время неуклонно растет доля автомобилей, оборудованных двигателями с применением газотурбинного наддува (турбонаддува). Опыт эксплуатации показывает, что на отказы турбокомпрессоров приходится до 7% от общего числа отказов ТС. Неисправности системы газотурбинного наддува приводят к значительному увеличению негативного воздействия на окружающую среду, повышают эксплуатационные затраты, снижают качество выполнения транспортной работы, ухудшают условия работы водителей [2]. В большинстве случаев ресурс ТК меньше ресурса ДВС и автомобиля в целом, что, в совокупности с высокой стоимостью данного агрегата (до 10% от стоимости всего ТС), обуславливает необходимость повышения эксплуатационной надежности ТК.

Важнейшим фактором, влияющим на показатели надежности ТК, независимо от применяемой схемы установки является тепловая нагруженность его деталей. Из-за высокой температуры распространены такие отказы как течи и коксование масла, заклинивание и перегрев ротора, подшипникового узла. Ключевыми местами возникновения негативных последствий повышенных температур являются лабиринтные кольцевые уплотнения ротора со стороны турбинного колеса, а также подшипниковый узел. В первом случае стоит проблема разделения горячей газовой среды и среды смазки (схоже с проблемой разделения камеры сгорания и картерного пространства в ДВС в виде коксования поршневых колец) [1]. Температура в районе лабиринтного уплотнения выше, чем в подшипниковом узле, а попавшее в уплотнение масло не участвует в циркуляции в системе смазки ТК и ДВС и, как следствие, не отводит тепло из данного узла, приобретая температуру сопряженных частей. В случае с подшипником, имеется проблема потери смазывающих свойств масла при превышении допустимых значений температуры в парах трения, с дальнейшим нагревом, износом, отказом.

Контакт масла с деталями, имеющими высокую температуру, неизбежно ведет к ускорению процессов его старения. Поэтому, независимо от вопроса сохранения работоспособности ТКР, следует стремиться к изначальному приближению температур стенок полостей в корпусе ТКР к температуре масла, поступающего в ТКР (90-110 °С).

Существует два основных пути распространения тепловой энергии в ТКР: от отрабо-



тавших газов к корпусу турбинной части и к центральному корпусу; от отработавших газов на турбинное колесо и далее по ротору. Методов снижения температуры в указанных выше частях ТК также два: термоизоляция и охлаждение посредством отвода тепла. Одним из наименее развитых путей уменьшения тепловой нагрузки на уплотнение и подшипниковый узел является снижение величины теплового потока в теле ротора.

Как видно из рисунка, вал ротора в районе канавок для колец лабиринтного уплотнения и рассматриваемые ключевые точки 1 и 2 (рис. 1) находятся в непосредственной близости к рабочему колесу турбины.

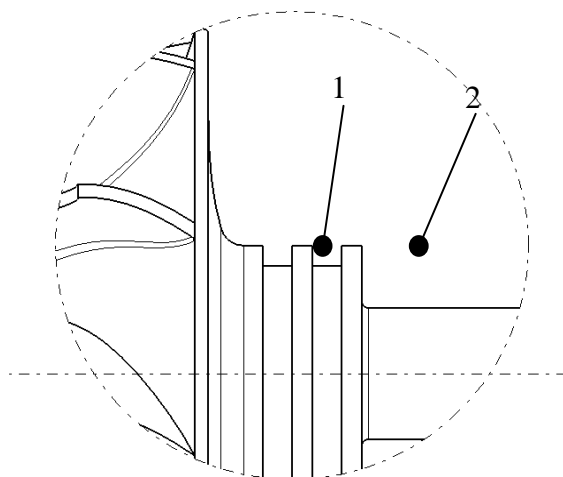


Рис. 1. Ключевые точки ротора турбокомпрессора

Последнее в свою очередь имеет непосредственный контакт с высокоскоростным потоком отработавших газов, имеющих температуру до 700-1200 °С в зависимости от типа двигателя. Это может вызывать повышение температуры в рассматриваемых зонах до критических температур с точки зрения свойств масла. Варианты изменений геометрии ротора предполагают увод теплового потока от ключевых зон и, как результат, снижение значений их температур.

Уравнение Фурье в теплотехнике позволяет определить величину теплового потока при теплопроводности. С учетом зависимости коэффициента теплопроводности материала от температуры:

$$\vec{Q} = -\lambda(T) \cdot \text{grad}(T) \cdot F \quad (1)$$

Следовательно, термоизоляцию, т.е. уменьшение теплового потока, можно обеспечить путем применения материалов с меньшим коэффициентом теплопроводности  $\lambda$ , либо сокращением площади поверхности теплообмена  $F$ , т.е. уменьшением сечения на пути распространения тепловой энергии в теле детали. Другими словами, оптимизацию детали при заданных условиях с учетом технологий изготовления можно проводить посредством изменения ее геометрии, изменения материалов (следовательно, их свойств) и сочетанием этих способов.

В исследовании рассмотрены пути снижения температур в районе ключевых точек путем изменения формы ротора турбокомпрессора.

Рассмотрение тепловой задачи для деталей, испытывающих высокие динамические комплексные нагрузки, в частности для ротора ТКР, невозможно без учета изменений прочностных характеристик, которые изменяются вслед за модификацией геометрии. Поэтому необходимо осуществить ряд анализов для проверки сохранения работоспособности ротора. Таким образом, проведение модификации ротора и комплексного анализа предполагает реализацию схемы, изображенной на рис. 2.



**Рис. 2.** Упрощенная схема тепловой оптимизации ротора ТК

Для оценки эффективности вносимых изменений использовался метод сравнения. В проводимых анализах для исходного варианта ротора и его модификаций задавались идентичные начальные условия, равные нагрузки и одинаковые структурные и тепловые физические характеристики материалов. Такой метод позволяет исключить ошибки при задании исходных величин (граничных условий и т.д.), т.к. оценивается лишь относительное изменение интересующих параметров ротора ТКР. При этом вносимые численные значения исходных параметров приближены к реальным, поэтому полученные в ходе анализов данные могут быть использованы в качестве ориентировочных значений.

В науке и технике постоянно приходится сталкиваться с проблемой расчета систем, имеющих сложную геометрическую форму и нерегулярную физическую структуру [4]. Подобные задачи возникают при попытке рассмотрения вариантов совершенствования ротора турбокомпрессора (ТК) с целью повышения надежности устройства. При этом необходимо выполнение одновременно теплового и механического анализа, что актуально для деталей, испытывающих комбинированную нагрузку. Изменения, положительно влияющие на механические показатели детали, могут отрицательно сказываться на тепловых характеристиках, и наоборот. Поэтому, для нахождения оптимального решения необходим комплексный подход к решению подобных задач.

Уровень развития численных методов и наличие производительных ЭВМ позволяют почти для любой практической задачи составить математическую модель и провести ее численное исследование. Наиболее популярным и эффективным в последнее время является метод конечных элементов (МКЭ). МКЭ представляет собой численный метод решения системы дифференциальных уравнений, описывающих большинство физических процессов [4].

Для решения поставленных задач использовалась программная система инженерного анализа ANSYS, в которой проведены тепловые и термопрочностные исследования. Для построения твердотельной 3-D модели, оценки изменения прочностных свойств, а также проведения модального анализа (анализа собственных частот колебаний и их форм) использованы встроенные в CAD-программу Catia V5 возможности.

На рис. 3 показаны рассмотренные возможные варианты изменений в роторе от примитивной проточки прямоугольной формы, до проточек с более сложной геометрией.

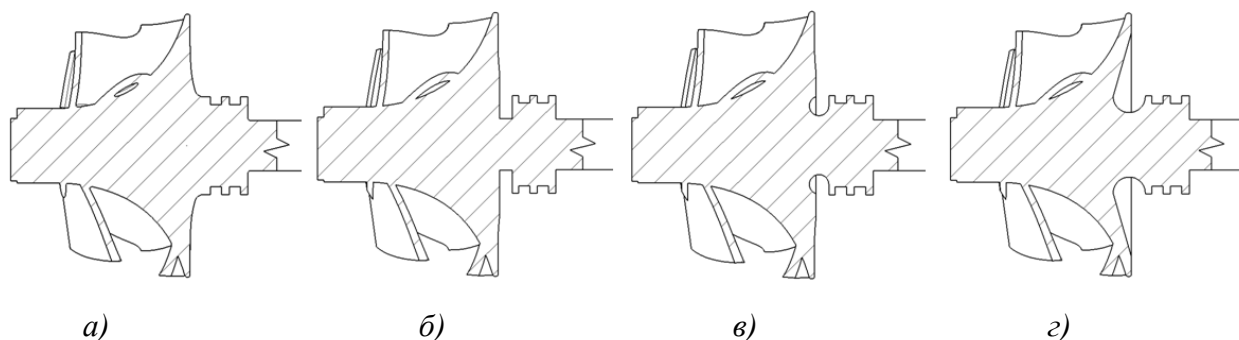


Рис. 3. Исходный ротор (а) и варианты изменения его формы (б – з)

Наиболее явное влияние данные изменения формы оказывают на массово-инерционные характеристики. Программный комплекс САТИА позволяет быстро определить величины данных показателей при внесении корректировок в исходную твердотельную модель (рис. 4).

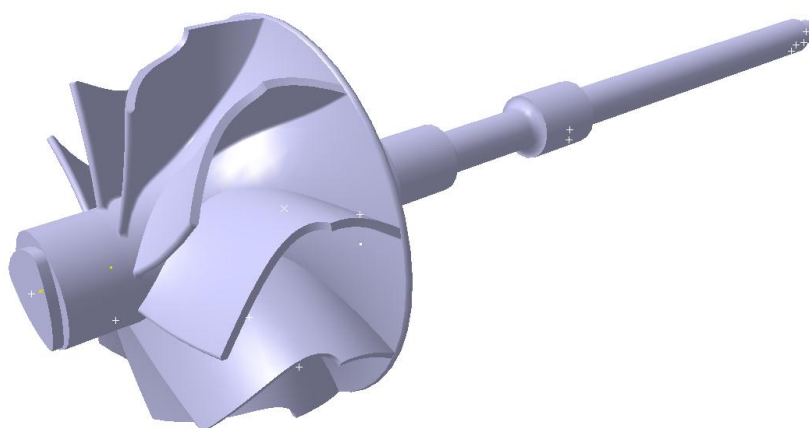


Рис. 4. Твердотельная модель ротора ТКР в САТИА V5

Основные массово-инерционные характеристики вариантов роторов при принятой плотности  $7860 \text{ кг/м}^3$  и их относительное изменение сведены в табл. 1.

Таблица 1

Изменение массово-инерционных характеристик ротора

Параметр Вариант	Масса, кг	Относительное изменение, %	Осевой момент инерции, $\text{кг}\cdot\text{мм}^2$	Относительное изменение, %
а	0,106	0	9,069	0
б	0,104	- 1,89	8,955	- 1,26
в	0,103	- 2,83	8,925	- 1,59
з	0,094	- 11,32	7,855	- 13,39

Таким образом, значительное изменение значений массы и момента инерции имеет место для варианта з. Снижение момента инерции ротора положительно сказывается на рабочих характеристиках турбокомпрессора. Легкий ротор быстрее увеличивает частоту своего

вращения при возрастании нагрузки на ДВС, что повышает удобство управления транспортным средством и улучшает экологические показатели двигателя (главным образом, дизельного) в переходных режимах путем уменьшения вероятности недостатка воздуха при резком увеличении подачи топлива. Помимо прочего, снижение массовых показателей ротора вызывает уменьшение реакций подшипникового узла, например, при проявлении гироскопического эффекта, что уменьшает скорость износа пар трения.

Главной целью вносимых изменений была оптимизация теплового состояния ротора ТКР, а именно снижение температур в зоне лабиринтных уплотнений и подшипника. Чтобы проанализировать эффективность принятых мер, был проведен тепловой анализ модели ротора ТКР с использованием программного комплекса реализации метода конечных элементов ANSYS.

В нелинейном анализе матрица теплопроводности является функцией температуры, и решение задачи достигается применением итераций. В программе ANSYS итеративная процедура имеет своей основой метод Ньютона-Рафсона, который предполагает решение последовательности линейных задач для получения нелинейного приближения. Таким образом, уравнение для нелинейной стационарной задачи теплопроводности имеет вид:

$$[K]_i \{\Delta T\}_{i+1} = \{Q^A\} - \{Q^{NR}\}_i, \quad (2)$$

где  $i$  - номер итерации.

Это уравнение на первой итерации решается при некоторой начальной температуре (которая может быть задана пользователем); в последующих итерациях для вычисления коэффициентов матрицы теплопроводности используются значения температур, полученные на предыдущей итерации. Процесс итераций продолжается, пока не достигается сходимость решения, т.е. пока не будет выполнен установленный пользователем критерий сходимости. Сходимость контролируется по величине невязки вектора нагрузок (потока тепла) и/или по изменению температуры от итерации к итерации.

При проведении данного анализа были приняты некоторые допущения:

- имеет место только конвективный теплообмен, другие виды теплообмена учитываются посредством коэффициента теплоотдачи  $\alpha$ ; таким образом, начальные условия являются граничными условиями третьего рода;
- рассматривается упрощенная модель ротора (без лопаток рабочего колеса), что не влияет на результат в виде картины температурных полей;
- при предварительных расчетах было выявлено отсутствие влияния теплообмена в части вала ротора, имеющей контакт с компрессорным колесом и входным потоком воздуха; дальнейшие расчеты проводятся с упрощением конвективного теплообмена в этой части в виде задания тех же граничных условий, что и подшипниковой части ротора;
- тепловыделение в парах трения пренебрежимо мало.

В анализе используется произвольная сетка конечных элементов-тетраэдров с линейным размером параболических ребер до 1,5 мм, что обеспечивает необходимую точность решения при приемлемом времени вычислений на ПК.

Проведение анализа любого типа требует задания свойств материала. В модели использовались таблицы с данными для двух материалов – жаропрочного никелевого сплава турбинного колеса и углеродистой стали вала. В программном комплексе ANSYS предусмотрена возможность учета зависимости свойств материалов от температуры. Свойства материалов приняты изотропными.

Граничные условия в анализе [3] задаются для поверхностей и включают в себя температуру омывающей поверхность среды (жидкой или газообразной)  $T_f$  и обобщающий ко-

эффицент теплоотдачи  $\alpha$ , учитывающий как характер течения среды вокруг поверхности, так и его теплофизические свойства.

Результаты решения, для линейного и нелинейного анализа, представляют собой значения температуры и плотности теплового потока в узлах. Эти данные использованы при постпроцессорной обработке для построения картины изотерм в расчетной модели (рис. 5).

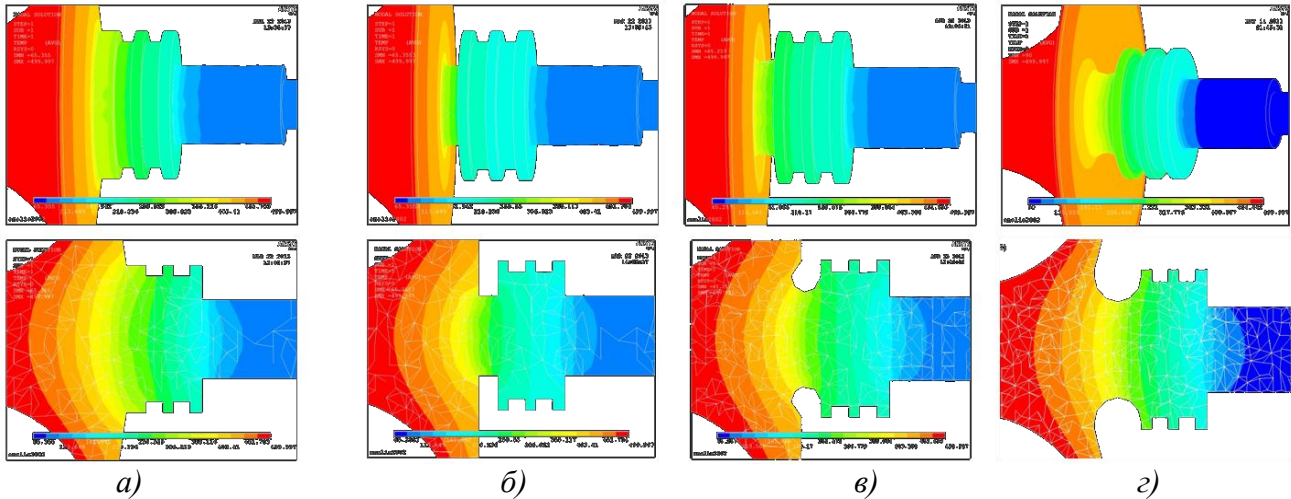


Рис. 5. Температурные поля исходного ротора (а) и измененных вариантов (б - г)

Полученные результаты диапазонов значений температур для ключевых точек 1 и 2 (см. рис. 1) сведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты теплового анализа для вариантов форм ротора

Зона	Вариант:	а)	б)	в)	г)
т. 1	Температура, °С	306 - 330	210 - 234	258 - 282	272 - 294
	Относительное. изменение, %	0	- 30,2	- 15,1	- 11,0
т. 2	Температура, °С	210 - 234	185 - 210	210 - 234	204 - 226
	Относительное изменение, %	0	- 11,0	0	- 3,1

Из результатов следует, что наиболее эффективно снижает температуру в ключевых зонах вариант б, что можно объяснить наименьшим сечением на пути теплового потока. Варианты в и г также эффективны и способствуют значительному снижению теплового потока от турбинного колеса к валу ротора.

Таким образом, изменение формы оказывает значительное влияние на распространение тепловой энергии, позволяя снизить температуру в интересующих зонах. Возможности снижения температур путем изменения формы деталей ограничены прочностными характеристиками. Для оценки влияния формы детали на ее структурные качества необходимо проведение ряда последующих анализов.

В условиях большой разности температур в теле детали необходимо учитывать появление напряжений, обусловленных тепловым расширением. Поэтому следующим анализом проведен термомеханический анализ ротора ТКР. Граничными условиями, т.е. нагрузками является распределения температур, полученные при тепловом анализе. Программный комплекс ANSYS позволяет быстро и эффективно проводить данный вид анализа путем использования результатов теплового анализа как исходных данных для проведения структурного.

Результаты анализа представлены на рис. 6.

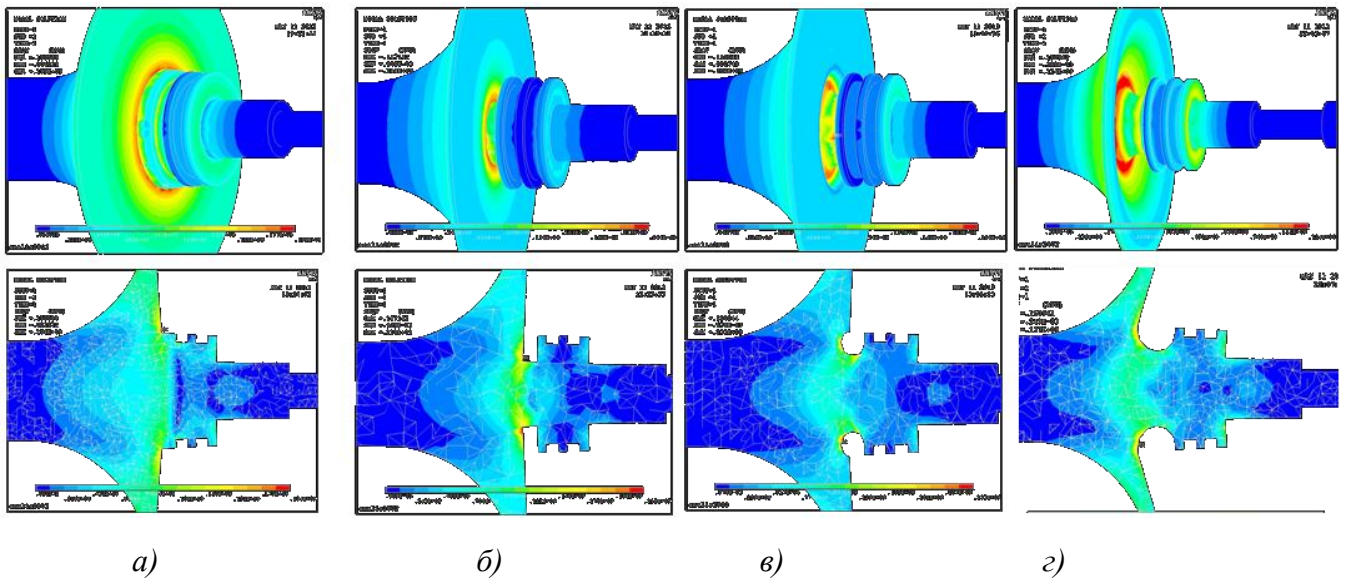


Рис. 6. Термические напряжения исходного (а) и измененных (б - з) вариантов ротора

Для удобства полученные данные о максимальных напряжениях сведем в табл. 3.

Таблица 3

Результаты анализа тепло – прочность для вариантов форм ротора

Вариант	а)	б)	в)	з)
Максимальные напряжения, ГПа	0,199	0,244	0,233	0,137
Относительное изменение, %	0	22,6	17,1	- 31,2

Следует отметить, что в вариантах в и з максимальные напряжения возникают не на поверхности ротора, что уменьшает вероятность развития усталостных разрушений.

Проведение полноценного механического анализа динамического поведения ротора ТКР – сложная инженерная задача, которая решается в отдельных исследованиях. В рамках данного исследования проведем некоторые исследования модели с целью получения сравнительных данных по некоторым показателям и предварительной оценки возможности применения модификаций ротора.

Приведенные далее результаты получены для полноценной точной твердотельной модели ротора (см. рис. 4) в программном комплексе CATIA V5, который также имеет возможность для расчетов с использованием МКЭ.

#### Модальный анализ ротора

Модальный анализ (анализ свободных механических колебаний) используется для определения собственных частот и форм колебаний механических систем. Детали и узлы оборудования следует конструировать так, чтобы избежать их возбуждения на одной из собственных частот в условиях эксплуатации.

Ротор турбокомпрессора является гибким с точки зрения частот собственных колебаний, т.е. частоты собственных колебаний находятся внутри диапазона частот, с которыми могут воздействовать внешние нагрузки. В случае с ротором за частоту нагрузки можно принять частоту его вращения. В проводимом анализе ограничимся десятью первыми модами, что с запасом перекрывает возможные частоты внешних воздействий, и поэтому является достаточным.

Данные анализа форм и частот собственных колебаний ротора представлены в табл. 4.

Таблица 4

## Результаты модального анализа моделей ротора, Гц

Мода № \ Вариант	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>
1	1454,45	1453,91	1454,62	1453,69
2	1455,64	1455,16	1455,81	1455,06
3	2261,84	1992,94	2116,75	2213,33
4	2262,39	1994,06	2118,32	2215,18
5	6508,04	4084,74	4737,06	5246,34
6	6967,96	6765,52	6832,35	7156,91
7	8812,99	8809,8	8813,33	8808,64
8	8818,47	8815,64	8818,73	8815,07
9	8925,36	8895,48	8920,73	8899,48
10	8927,28	8898,41	8924,17	8908,17

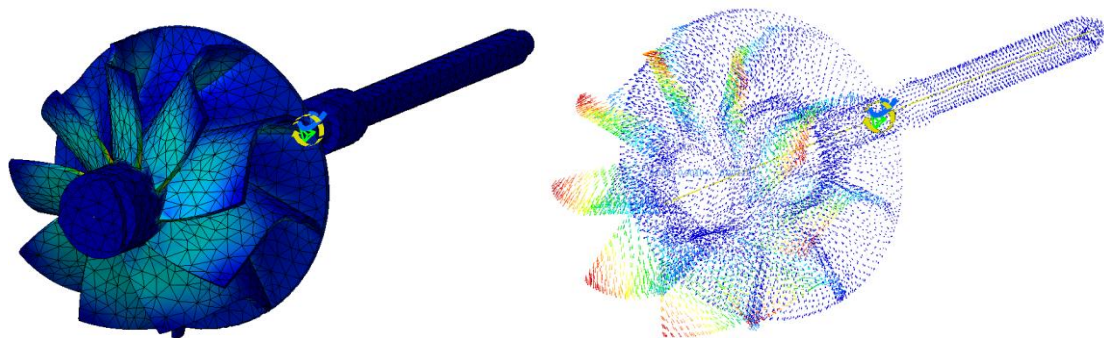
Анализируя полученные данные, можно сделать вывод о том, что существенное влияние наличие проточек оказывает на моды 5, 6. Снижение собственных частот колебаний увеличивает вероятность попадания их в диапазон рабочих частот вращения ротора. В данном же случае рабочие частоты вращения ротора захватывают первые четыре моды и значительное (в вариантах *б* и *в*) снижение частоты 5й моды не несет за собой появления дополнительного перекрытия в частотах. При этом изменения в варианте *г* менее всего преобразуют частотные характеристики в сравнении с ротором первоначальной формы, что говорит о сохранении первоначальных свойств ротора.

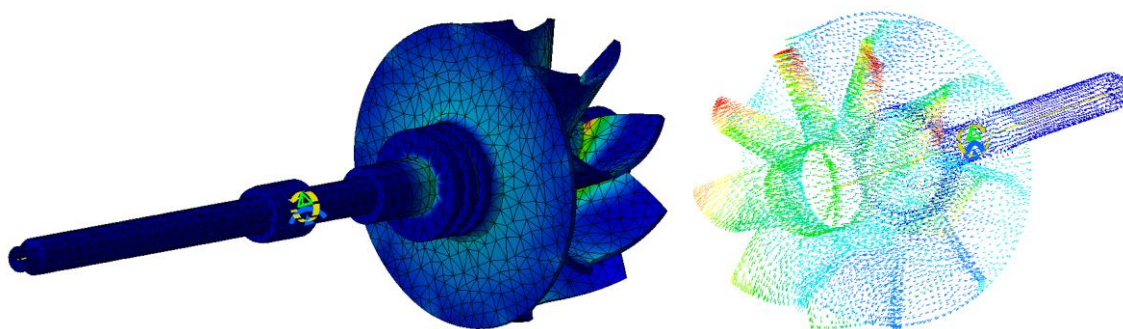
*Сравнительный прочностной анализ ротора*

Несмотря на максимально возможную точность балансировки, изначально присутствует дисбаланс, величина которого может меняться в процессе эксплуатации из-за образования отложений на валу ротора, их неравномерном отделении, в результате попадания мелких частиц, возможных термочувствительных неоднородностей и т.д.

С целью определения влияния проточек на гибкость и прочность ротора искусственно введем дисбаланс путем удаления части массы (объема твердотельной модели) на некотором расстоянии от оси вращения. Нужно заметить, что данная операция выполняется и в ходе балансировки.

Нагрузкой в сравнительном анализе является заданное вращение со скоростью  $80\ 000\ \text{мин}^{-1}$ , имитирующее один из возможных режимов работы ТКР. Таким образом, приложение нагрузки в виде вращения при наличии дисбаланса дает один из вариантов приближения к воздействию нагрузки на ротор в реальных условиях. Визуализации напряжений в теле ротора и перемещений его частей представлены на рис. 7 и рис. 8.

Рис. 7. Напряжения и перемещения в исходной модели ротора (*a*) без дисбаланса



**Рис. 8. Напряжения и перемещения исходной модели ротора при несбалансированном вращении**

Анализируемыми параметрами являются напряжения и максимальные перемещения частей под действием нагрузки. Расчеты проводятся и для модифицированных вариантов ротора *б*, *в*, *г*. Сравнительные результаты этих анализов сведены в табл. 5.

**Таблица 5**

**Результаты прочностного анализа**

Вариант ротора	<i>а</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>
Максимальные напряжения, ГПа	0,400	0,398	0,394	0,410
Относительное изменение, %	0	-0,5	-1,5	+2,5
Максимальные перемещения, мм	0,0801	0,0915	0,0872	0,0879
Относительное изменение, %	0	+14,2	+8,8	+9,7

Таким образом, рассматриваемое изменение геометрии ротора не приводит к значительному изменению величины максимальных напряжений. Это можно объяснить повышением гибкости ротора и снижением его массы, что также видно из анализа перемещений.

Исходя из совокупности проведенных анализов, можно сделать вывод об оптимальности варианта *г* изменения конструкции ротора ТКР. Такая форма приводит к существенному снижению температур в исследуемой зоне, а значит, способ является эффективным для улучшения теплового состояния ротора ТКР. Также значительно снижаются величины массово-инерционных параметров, повышается долговечность подшипникового узла, улучшаются рабочие характеристики ТКР. Изменение частот собственных колебаний затрагивает частоты, не входящие в диапазон рабочих скоростей вращения и не имеет негативных последствий. Увеличение перемещений внешних кромок лопаток турбинного колеса обусловлено наличием заведомо большой несбалансированности и может быть сведено к минимуму путем сверхточной балансировки.

**Библиографический список**

1. Кузьмин, Н.А. Профилирование головок поршней ДВС / Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2006. С. 41.
2. Кузьмин, Н.А. Техническая эксплуатация автомобилей: нормирование и управление: учеб. пособие / Н.А. Кузьмин. – М.: ФОРУМ, 2011. – 224 с.
3. Кузьмин, Н.А. Выбор граничных условий для моделирования / Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева // Н.А. Кузьмин, И.О. Донато. – Нижний Новгород, 2011. № 1. С. 138.



4. Кузьмин, Н.А. Применение инновационной техники Structural intensity analysis для повышения вибрационной надежности и усовершенствования акустического дизайна рулевой колонки автомобиля / Н.А. Кузьмин, В.А. Шапкин, Ю.В. Шапкина // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 2013. № 1. С. 139–149.

*Дата поступления  
в редакцию 01.10.2013*

**I.A. Suvorov, L.A. Berdnikov**

## **STUDY THE POSSIBILITY OF THERMAL OPTIMIZATION OF TURBOCHARGER ROTOR WITH CARRYING OUT FINITE ELEMENT ANALISIS**

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.Y. Alexeev

**Purpose:** The aim is to develop a design technical solutions to improve the reliability of automotive turbochargers engine by optimizing the thermal loading of their parts. The subject of the study was the thermal state of the turbocharger, the process of distribution of thermal energy in its rotor.

**Design/methodology/approach:** The centerpiece is a series of analyzes carried out by the finite element method. In this case, the initial sample is compared with the modified parts under the same boundary conditions, which minimizes the error.

**Findings:** As a result of thermal analysis, thermal stress evaluation, structural studies concluded that the possibility of reducing heat flow into the turbocharger rotor body by changing its geometry. This ultimately reduces the temperature at key points turbocharger rotor and reduces the probability of failure of the unit.

**Research limitations/implications:** The present study provides a starting point for more detailed study of the possibility of optimizing the thermal state of the turbocharger and increase its resource.

**Originality/value:** Moreover, the thermal state of the relationship is reflected turbocharger with its failures, the more specific examples of the possible solutions of the problem, their comparison.

*Key words:* Turbocharged, turbocharger radial type, failure, resource, thermal state, finite-element analysis.

УДК 621.113

М.Г. Корчажкин<sup>1</sup>, С.С. Соловьев<sup>2</sup>**ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ АВТОМАТИЧЕСКИХ ТРАНСМИССИЙ АВТОМОБИЛЕЙ**Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева<sup>1</sup>,  
ООО «Автоматик плюс»<sup>2</sup>

Все большее количество автомобилей оснащается автоматическими трансмиссиями. Это приводит к усложнению конструкции автомобиля. В связи с широким распространением автоматических трансмиссий различных типов все более актуальным становится вопрос их эксплуатационной надежности. Среди современных автоматических коробок передач различают три основных типа: гидромеханическая автоматическая коробка передач планетарного типа, вариаторная трансмиссия (вариатор) и роботизированная коробка передач. У каждого типа автоматических трансмиссий существуют преимущества и недостатки, сказывающиеся на их эксплуатационной надежности. Для анализа надежности трансмиссий были собраны данные об отказах автоматических трансмиссий разных типов легковых автомобилей. Из собранных данных были сформированы выборки информации об отказах по каждому типу автоматических трансмиссий. Выборки были обработаны, определены статистические показатели и построены модели надежности по каждому типу автоматических трансмиссий. Получены значения средних наработок до отказа.

*Ключевые слова:* эксплуатационная надежность, техническая эксплуатация автомобилей, отказ, трансмиссия, гидромеханическая коробка передач, вариатор, роботизированная трансмиссия.

Подавляющее большинство новых автомобилей разных марок комплектуются коробкой автомат. Современный автомобиль стал настолько сложным, а автоматические коробки передач настолько распространенными, что они являются самым популярным, или даже базовым вариантом трансмиссии на многих моделях автомобилей, как легковых, так и грузовых. В связи с широким распространением автоматических трансмиссий различных типов, все более актуальным становится вопрос их эксплуатационной надежности [3].

Автоматическая коробка передач (АКП) предполагает возможности двигателя и выбирает передачу в зависимости от комплекса исходных данных (частоты оборотов коленчатого вала, скорости движения, положения дроссельной заслонки и т.д.) для поддержания лучшего приложения движущей силы. Действия, обычно выполняемые сцеплением и механической коробкой передач (МКП), выполняются автоматически, с помощью гидротрансформатора, который позволяет очень небольшие, управляемые проскальзывания между мотором и трансмиссией автомобиля. Гидравлические клапаны контролируют включение различных передач по требованию водителя (положение педали газа), или оперируя предустановленными ответами на текущие условия работы двигателя и скорость движения автомобиля.

Среди современных АКП различают три основных типа: гидромеханическая АКП планетарного типа, вариаторная трансмиссия (вариатор) и роботизированная коробка передач (КП). У каждого типа автоматических трансмиссий существуют преимущества и недостатки, сказывающиеся на их эксплуатационной надежности. Однозначного ответа на вопрос, какой тип автоматической трансмиссии надежней, нет. Однако в настоящее время накапливается достаточное количество информации об отказах подобных трансмиссий, на основании которой можно определить статистические показатели надежности [4].

Гидромеханическая АКП планетарного типа состоит из следующих основных узлов: гидротрансформатора, планетарного ряда, системы управления и контроля. Коробка переднеприводных автомобилей дополнительно содержит внутри корпуса главную передачу и дифференциал.

Отсутствие жесткой связи в гидротрансформаторе имеет свои достоинства и недостатки. Плюсы: крутящий момент изменяется плавно и бесступенчато, демпфируются кру-

тильные колебания и рывки, передаваемые от двигателя к трансмиссии. Минусы – низкий КПД, так как часть энергии теряется при перемешивании масла и расходуется на привод насоса АКП, что, в конечном итоге, приводит к увеличению расхода топлива. Для устранения этого недостатка в гидротрансформаторе применяется режим блокировки. При установленном режиме движения на высших передачах автоматически включается механическая блокировка колес гидротрансформатора, то есть он начинает выполнять функцию обычного «сухого» сцепления. При этом обеспечивается жесткая непосредственная связь двигателя с ведущими колесами, как в механической трансмиссии. На некоторых АКП включение режима блокировки предусмотрено и на низших передачах. Движение с блокировкой является наиболее экономичным режимом работы АКП. При повышении нагрузки на ведущих колесах блокировка автоматически выключается. При работе гидротрансформатора происходит значительный нагрев рабочей жидкости, поэтому в конструкции АКП предусматривается система охлаждения с радиатором, который или встраивается в радиатор двигателя, или устанавливается отдельно.

Планетарная передача представляет собой механическую систему, состоящую из нескольких шестерён – сателлитов, вращающихся вокруг центральной шестерни. Переключение передач осуществляется системой управления, которая на ранних моделях была полностью гидравлической, а на современных на помощь гидравлике пришла электроника.

Особенностью вариатора является то, что количество возможных режимов при движении автомобиля бесконечно велико. Поэтому оптимальную работу двигателя можно обеспечить, если бесконечным будет и количество ступеней в коробке передач. Вариатор – единственный из существующих на сегодняшний день видов КП позволяет бесступенчато изменять передаточное отношение между двигателем и трансмиссией. А это значит, что для каждого режима работы автомобиля (т.е. скорости и сопротивления движению) удастся подобрать наиболее эффективное значение передаточного отношения, а не усредненное, как в любой другой коробке передач. Следствием постоянной работы двигателя в зоне оптимальных оборотов является высокая экономичность, снижение токсичности выхлопных газов и лучшая динамика разгона автомобилей с вариаторами. А так как передаточное отношение изменяется плавно, а не ступенчато, то такие автомобили отличаются и плавностью хода. Отсутствие рывков при переключениях увеличивает срок службы узлов трансмиссии. Вариаторы имеют небольшой вес, простую конструкцию (по сравнению с гидромеханической АКП) и достаточно надежны.

Главный недостаток вариаторов состоит в том, что они фрикционные (работают за счет трения, а не зубчатого зацепления), и поэтому могут передавать ограниченный крутящий момент, при превышении которого рабочие поверхности начинают проскальзывать и интенсивно изнашиваться. А это означает, что их нельзя использовать в паре с мощными двигателями. Долговременная работа в режиме максимальных нагрузок, что приводит к его быстрому износу.

Роботизированная КП является промежуточным звеном между АКП и МКП. В простейшем случае роботизированная коробка представляет собой обыкновенную МКП, управляемую электронным блоком управления при помощи сервоприводов. Сцепление управляется той же автоматикой. Это придает МКП свойства АКП, однако переключения передач, как и в обычной МКП, занимает некоторое время. Это приводит к замедлению разгона и создаёт характерные для МКП «рывки» при переключении передач. Развитие технологий позволяет значительно ускорить переключение передач в КП и свести рывки к минимуму. При этом роботизированная коробка перестает быть обычной МКП, управляемой электроникой и приводами, а проектируется особым образом. Самые лучшие роботизированные МКП от Ferrari позволяют переключать передачи с задержкой не более 60 мс, а МКП DSG (Direct Shift Gearbox – МКП с прямым переключением передач), устанавливаемая на автомобили концерна Volkswagen, может включать некоторые передачи за 8 мс. В настоящее время Volkswagen Golf, оснащённый 7-ступенчатой коробкой передач DSG, расходует примерно на 20 % топлива меньше, чем оснащённый обычной механикой. Значительно улучшились за последнее время системы смазки роботизированных КП. Современные механические коробки передач

зачастую имеют систему смазки под давлением, иногда – объединённую с системой смазки двигателя. Это позволяет значительно повысить ресурс КП по сравнению с традиционной системой смазки за счёт находящегося в картере масла, обеспечить хорошее охлаждение (что стало насущной проблемой в связи с увеличением скоростей движения) за счёт постоянного круговорота смазывающего масла.

Основной проблемой роботизированных КП стала высокая сложность механизмов управления, а также двойного сцепления коробок DSG и, как следствие, их относительно низкая эксплуатационная надёжность. Кроме того, необходимо отметить низкую ремонтпригодность трансмиссий DSG, где в случае отказа заменяются элементы или коробка передач целиком.

Таким образом, учитывая технические особенности и конструктивную сложность различных типов автоматических трансмиссий автомобилей, одним из важнейших вопросов их технической эксплуатации становится надёжность [3]. Для анализа надёжности трансмиссий были собраны данные об отказах автоматических трансмиссий разных типов легковых автомобилей из ООО «Автоматик плюс», которое специализируется на ремонте автоматических трансмиссий всех марок автомобилей.

Все процессы, происходящие в сопряжениях механизмов, в машинах (автомобиле), носят случайный характер. Это связано с тем, что внешние условия, в которых работают машины (температура, динамические нагрузки и т.д.), изменяются случайным образом, а для автомобиля неровности на поверхности дороги, по которой движется автомобиль, чередуются случайным образом, случайным образом повторяются помехи на пути движения [4]. Кроме того, прочностные характеристики самого материала, из которого изготовлены детали машины (предел прочности, текучести, твердости и т.д.) не являются постоянными величинами, а изменяются случайным образом. Таким образом, при исследовании любого процесса на автомобиле мы имеем дело со случайными величинами, процессами [1].

При анализе случайных процессов с увеличением числа опытов точность результатов испытаний увеличивается, и в пределе, когда число опытов стремится к бесконечности, параметры опытных данных совпадают с истинными параметрами изучаемого процесса. Но с увеличением объёма испытаний возрастают материальные, трудовые затраты и продолжительность испытаний. В связи с этим необходимо определить минимальный объём испытаний, задаваясь допустимой для практики ошибкой результатов испытаний.

Для получения объективной информации об эксплуатационной надёжности необходимо построить статистическую модель исследуемого узла или агрегата [1]. Для обработки были сформированы выборки информации об отказах по каждому типу автоматической трансмиссии: гидромеханическая АКП планетарного типа, вариаторная трансмиссия (вариатор) и роботизированная коробка передач (КП). Выборки формировались на основании первичных документов ООО «Автоматик плюс», отражающих обращения владельцев автомобилей с отказами АКП различных типов. Особенностью первичной информации явилось то, что она была собрана непосредственно из эксплуатации. Это обусловило использование метода наибольшего правдоподобия при получении результатов статистической обработки. Информация собиралась в течение 14 месяцев. Обработка информации об отказах производилась с использованием методов математической статистики [1] и проверки по критерию Пирсона.

Собранная информация об отказах гидромеханических АКП была обработана и получены следующие результаты: объём выборки – 80; число интервалов – 5; шаг интервала – 82,8 тыс.км; минимальное значение случайной величины – 36 тыс.км; максимальное значение случайной величины – 450 тыс.км; выборочное среднее – 148,815 тыс.км; выборочная дисперсия – 5783,545 тыс.км; среднее квадратическое отклонение – 76,05 тыс.км; коэффициент вариации – 0.51.

По итогам обработки экспериментальных данных были определены статистические показатели распределения отказов гидромеханических АКП. По расчетным данным плотности вероятности отказов построена гистограмма распределения отказов по наработке (рис. 1), определен закон распределения и проведена проверка по теоретическому значению критерия Пирсона.

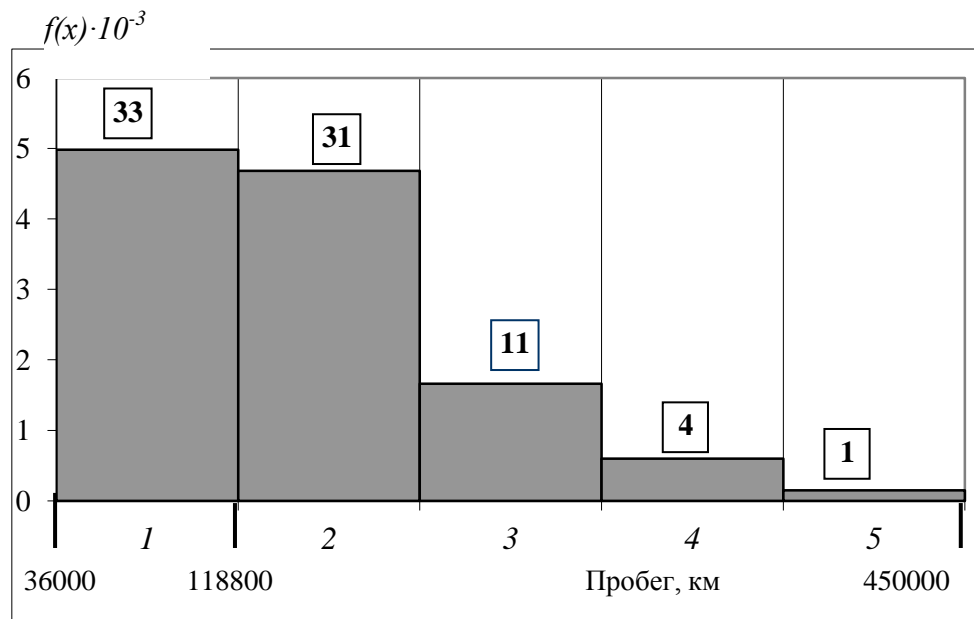


Рис. 1. Гистограмма опытного распределения плотности вероятности отказов гидромеханических АКП

В результате получено, что отказы гидромеханических АКП подчиняются логарифмически нормальному распределению, описываемому выражением:

$$f(x) = \frac{1}{x \cdot 190,63} \cdot \exp \left[ -\frac{(\ln x - 148,815)^2}{11567,205} \right].$$

На следующем этапе была обработана собранная информация об отказах вариаторных АКП и получены следующие результаты: объем выборки – 52; число интервалов – 5; шаг интервала – 41,4 тыс.км; минимальное значение случайной величины – 46 тыс.км; максимальное значение случайной величины – 253 тыс.км; выборочное среднее – 144,723 тыс.км; выборочная дисперсия – 2020,749 тыс.км; среднее квадратическое отклонение – 44,95 тыс.км; коэффициент вариации – 0.31; параметр масштаба – 160,358; параметр формы – 3,6.

По результатам обработки экспериментальных данных были определены статистические показатели распределения отказов гидромеханических АКП. По расчетным данным плотности вероятности отказов построена гистограмма распределения отказов по наработке (рис. 2), определен закон распределения.

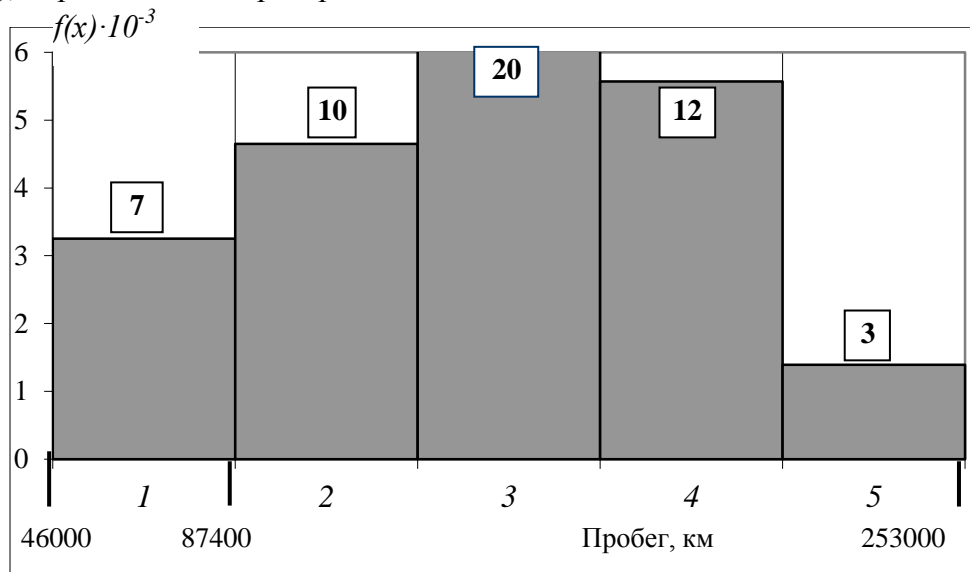


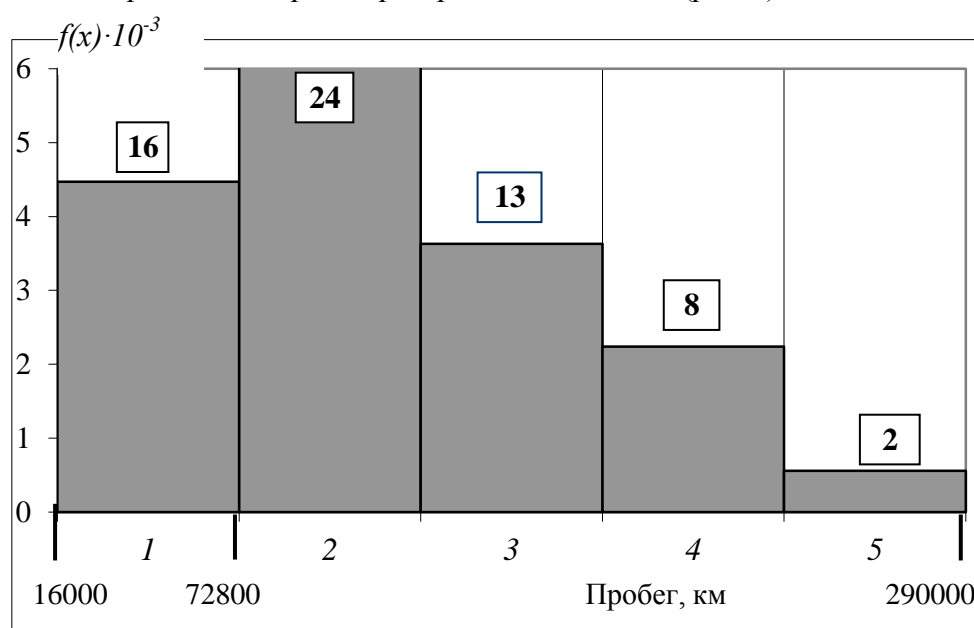
Рис. 2. Гистограмма опытного распределения плотности вероятности отказов вариаторных АКП

В результате получено, что отказы вариаторов подчиняются закону распределения случайных величин Вейбулла, описываемому выражением:

$$f(x) = 0,023 \cdot \left(\frac{x}{160,358}\right)^{2,6} \cdot \exp\left[-\left(\frac{x}{160,358}\right)^{3,6}\right].$$

Далее была обработана собранная информация об отказах роботизированных КП и получены следующие результаты: объем выборки – 63; число интервалов – 5; шаг интервала – 56,8 тыс.км; минимальное значение случайной величины – 16 тыс.км; максимальное значение случайной величины - 290 тыс.км; выборочное среднее - 108,330 тыс.км; выборочная дисперсия - 3852,161 тыс.км<sup>2</sup>; среднее квадратическое отклонение - 61,255 тыс.км; коэффициент вариации – 0,565; параметр масштаба - 121,97; параметр формы – 1,85.

По результатам обработки экспериментальных данных были определены статистические показатели распределения отказов роботизированных КП. По расчетным данным плотности вероятности отказов построена гистограмма распределения отказов (рис. 3).



**Рис. 3. Гистограмма опытного распределения плотности вероятности отказов роботизированных КП**

В результате получено, что отказы вариаторов подчиняются закону распределения случайных величин Вейбулла, описываемому выражением:

$$f(x) = 0,015 \cdot \left(\frac{x}{121,97}\right)^{0,85} \cdot \exp\left[-\left(\frac{x}{121,97}\right)^{1,85}\right].$$

Таким образом, построены статистические модели распределения отказов автоматических трансмиссий автомобилей разных типов. Определены основные показатели надежности. Анализ результатов исследования показывает, что наименьшее значение средней наработки до отказа получено у роботизированных КП. Это связано с лимитированной надежностью отдельных элементов, и прежде всего, механизма двойного сцепления с сухим картером и механизмов управляющего блока КП. Основной проблемой надежности гидромеханических АКП и вариаторов, несмотря на относительно высокую наработку до отказа, является нарушение или несоблюдение норм и правил эксплуатации. Однако отказы возникают даже при соблюдении всех рекомендаций, предписанных производителем. Прежде всего, это происходит из-за отсутствия в списке регламентных работ операций по замене масла [2] в гидромеханических АКП и вариаторах ряда производителей. Также зачастую периодичность замены не соответствует условиям эксплуатации. Все это указывает на необходимость опре-

деления оптимальной периодичности технического обслуживания [5] каждого вида автоматических трансмиссий, разработки рекомендаций по замене трансмиссионных масел. Решение этой задачи возможно на основании полученных статистических моделей надежности и предполагается реализовать в ходе последующих исследований.

### Библиографический список

1. **Кузьмин, Н.А.** Научные основы процессов изменения технического состояния автомобилей: монография / Г.В. Борисов, Н.А. Кузьмин; НГТУ. – Н.Новгород, 2012. – 270 с.
2. **Кузьмин, Н.А.** Техническая эксплуатация автомобилей: нормирование и управление: учеб. пособие / Н.А. Кузьмин – М.: Высшее образование, 2011. – 224 с.
3. **Басков, В. Н.** Эксплуатационные факторы и надежность автомобиля: монография / В. Н. Басков, А. С. Денисов. – Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т., 2003. – 269 с.
4. **Кузьмин, Н.А.** Проблемы надежности трансмиссий городских автобусов / Н.А. Кузьмин, А.Д. Кустиков // Автотранспортное предприятие. 2012. №8. С. 39–42.
5. **Корчажкин, М.Г.** Совершенствование нормативов технической эксплуатации городских автобусов / М.Г. Корчажкин, Н.А. Кузьмин, А.Д. Кустиков // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2012. № 4. С. 168–174.

*Дата поступления  
в редакцию 17.10.2013*

**M.G. Korchazhkin<sup>1</sup>, S.S. Soloviev<sup>2</sup>**

### FEATURES OF OPERATIONAL RELIABILITY OF AUTOMOBILE AUTOMATIC TRANSMISSIONS

Nizhny Novgorod state technical university named after R.Y. Alekseev<sup>1</sup>,  
LLC Automatic plus<sup>2</sup>

**Purpose:** Definition of indicators of operational reliability of automobile automatic transmissions.

**Design/methodology/approach:** Researches are lead with use of methods of the statistical analysis and mathematical modeling.

**Findings:** Information on refusals of automatic transmissions in operation is collected. Statistical models of reliability of various transmissions are constructed/

**Research limitations/implications:** Indicators are defined and models of reliability of each type of automatic transmissions are constructed.

**Originality/value:** The constructed models of reliability allow to define optimum frequency of service of each type of automatic transmissions.

*Key words:* operational reliability, technical operation of cars, failure, transmission, hydromechanical gearbox, variator, robotized transmission.

## Проектирование наземных транспортных средств

УДК 629.113

В.В. Беляков, Д.В. Зезюлин, В.Е. Колотилин, В.С. Макаров

### ПОДВИЖНОСТЬ НАЗЕМНЫХ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

Нижегородский государственный технический университет им Р.Е. Алексеева

В статье дается определение подвижности мобильных наземных транспортных машин и транспортно-технологических комплексов. Она рассматривается как интегральная характеристика конструкционных и эксплуатационных, экономических, эргономических и экологических свойств наземных мобильных систем и комплексов. Также подвижность характеризует конкурентоспособность объектов как товара.

Приведена концептуальная схема иерархии задач управления транспортно-технологических машин, включающая в себя четыре задачи, относящиеся к области конструкционных параметров: поддержание подвижности, поддержание курсовой ориентации, поддержание скорости движения, устранение критических ситуаций при движении транспортно-технологической системы; а также задача: обеспечения экологической безопасности; обеспечения номинальной экономической эффективности и обеспечения комфортабельности транспортно-технологической системы.

*Ключевые слова:* подвижность, мобильность, живучесть, управляемость, надежность, экономичность, экологичность, эргономичность.

*Подвижность – это интегральное эксплуатационное свойство транспортно-технологических машин (ТТМ), определяющее её способность выполнять поставленную задачу с оптимальной адаптивностью к условиям эксплуатации и техническому состоянию самой машины*, то есть возможность машины противостоять внешним и внутренним факторам, препятствующим выполнению поставленной задачи [3-11]. Таким образом, процесс поддержания подвижности является ключевым в решении проблемы обеспечения устойчивого и безопасного функционирования мобильных наземных транспортных машин и транспортно-технологических комплексов. Также в процессе эксплуатации должна обеспечиваться эксплуатационная и конструкционная подвижность.

*Эксплуатационная подвижность* (ЭП) определяет возможность выполнения поставленной задачи по условиям эксплуатации, включающим в себя как характеристики местности, так и режимы нагружения машины.

*Конструкционная подвижность* (КП) связана с техническими характеристиками машины, которые в ходе эксплуатации могут существенно изменяться и приводить как к частичной потере подвижности, так и к ее полной потере. Изменения конструкционной подвижности связаны, с одной стороны, с износом узлов, систем и деталей машины, что приводит к отказам функционирования, а с другой стороны, с разрушениями конструкции, обусловленными агрессивностью внешней среды. Агрессивность внешней среды может проявляться весьма в разнообразных формах, однако чаще всего это механические воздействия: *износные* и *ударные*. Износы определяют отказную надежность машины, а ударные механические взаимодействия могут носить как естественный характер вследствие контакта с местностью, так и искусственный при столкновениях с другими машинами и/или объектами внешней среды, а также повреждения, полученные в ходе боевых действий и террористических актов от воздействия средств поражения со стороны противника.

*Подвижность* (П) машины есть обобщенная функция эксплуатационной и конструкционной подвижностей.

$$П = f(ЭП; КП). \quad (1)$$



С позиции подвижности машины сложно ввести разграничения на активную и пассивную безопасности, так как эти понятия охватывают широкий круг задач, связанных с поддержанием устойчивого и безопасного движения, и не имеют четких границ разделения. Более приемлемым является выделение *подвижности по мобильности и живучести*, которые дополняются задачей устранения критических ситуаций – динамической адаптивностью наземных транспортных машин и транспортно-технологических комплексов к текущему состоянию машины и местности.

**Подвижность по мобильности** (мобильность – от лат. mobilis – подвижный) – способность машины к быстрому передвижению, действию. По существу, этот термин относится к понятию «движение» или более широко определяет «готовность к быстрой реакции, быстрому включению в деятельность». Это может быть физическое движение или движение через некоторые «сферы»: природные, климатические, дорожно-транспортные, технические, социальные. Термин «мобильность» обычно используется с уточняющими определениями. Например, тягово-скоростная мобильность, курсовая и траекторная мобильность. Все эти понятия объединяются в способность к движению в каких-либо условиях и решаются в трех основных задачах управления машиной: *поддержание скорости движения, обеспечение курсовой ориентации, устранение критических ситуаций*. Последняя задача управления осуществляет **динамическую адаптивность машины к условиям эксплуатации и к собственному техническому состоянию**. В англоязычной интерпретации теории подвижности этой задачи в соответствии ставится термин – **agility** (быстрота, ловкость, живость, резвость, проворство, сообразительность).

Оценка мобильности и построение алгоритмов управления автотракторной техникой выполняются на основе следующих критериев: 1) *по запасу тягового усилия*; 2) *по балансу мощности*; 3) *по курсовой ориентации (управляемости и маневренности)*. При этом имеется место следующие решения задачи поддержания подвижности по мобильности: 1) **концепция управления движением** ( $\lambda_p = \text{var}$ ,  $\lambda_k = \text{const}$ ,  $\lambda_3 = \text{const}$ ) – для заданных условий эксплуатации и данной конструкционной конфигурации машины определяются оптимальные режимы управления движением; 2) **концепция конструкции машины** ( $\lambda_k = \text{var}$ ,  $\lambda_p = \text{const}$ ,  $\lambda_3 = \text{const}$ ) – для заданных условий эксплуатации и выбранных режимов управления движением определяется рациональная конструкционная конфигурация машины; 3) **концепция условий эксплуатации** ( $\lambda_3 = \text{var}$ ,  $\lambda_k = \text{const}$ ,  $\lambda_p = \text{const}$ ) – для данной конструкционной конфигурации машины и выбранных режимов управления движением определяются критические характеристики условий эксплуатации. Здесь  $\lambda_k$  – параметры машины, включая параметры движителя;  $\lambda_3$  – характеристики эксплуатационных условий, включая свойства и параметры полотна пути;  $\lambda_p$  – параметры, характеризующие режимы движения как кинематические, так и силовые. Причем эти параметры могут рассматриваться как по отдельности, так и в виде каких-либо комплексных характеристик  $\lambda \equiv \xi(\lambda_k, \lambda_3, \lambda_p)$ .

**Подвижность по живучести** (жизнестойкость) – обеспечение управления состоянием машины, направленным на поддержание *работоспособности* наземных транспортных систем и транспортно-технологических комплексов к текущему состоянию машины и местности. При этом следует различать *частичную* и *полную* потерю работоспособности.

Жизнестойкость машин можно разделить на *отказную*, связанную с износами, и *эксплуатационную*, которая определяется функционированием машины в природно-климатической среде и социально-технической сфере деятельности. Таким образом, жизнестойкость может быть связана не только со свойствами местности, но с воздействиями от деятельности человека: техногенные катастрофы, военные действия, дорожно-транспортные происшествия, сверхтяжелые (ненормированные) режимы работы.

Жизнестойкость может быть разделена на структурную и функциональную составляющие. Если исследование структурной составляющей живучести в основном сводится к выявлению уяз-

вимых мест в топологии системы и определению степени их влияния на целостность системы, то исследование функциональной составляющей живучести сводится к определению способности системы решать стоящие перед ней задачи при изменяющихся возможностях ее элементов.

Оценка жизнестойкости машины по отказной надежности проводится по критерию *вероятности безотказной работы*, а по эксплуатационной надежности – *вероятности работоспособности в послеаварийном или пораженном состоянии*.

**Комплексная оценка подвижности** наземных транспортных машин и транспортно-технологических комплексов производится на основе системы критериев и ограничивающих условий: *по мобильности*

$$\Delta P_{\varphi}(\Phi_{\varphi}, \Phi_f, \lambda) \rightarrow \max_{\lambda \in \Lambda} \text{ при } \Delta P_{\varphi}, \quad (2)$$

$$W_{\varphi}(\Phi_{\varphi}, \lambda) \rightarrow \min_{\lambda \in \Lambda} \text{ при } W_{\varphi}(\Phi_{\varphi}, \lambda) \geq [W_f(\Phi_f, \lambda) + \Delta W(\Phi_{\varphi}, \Phi_f, \lambda)], \quad (3)$$

$$\Phi_R(\Phi_{\varphi}, \Phi_f, \lambda) \rightarrow \min_{\lambda \in \Lambda} \text{ при } \lambda \equiv \xi(\lambda_k; \lambda_3; \lambda_p); \quad (4)$$

*по живучести*

$$R_{\text{он}}(\Phi_{\varphi}, \Phi_f, \lambda, t) \rightarrow \max_{\lambda \in \Lambda} \text{ при } R_{\text{он}}(\Phi_{\varphi}, \Phi_f, \lambda, t) \geq R_{\eta}(\Phi_{\varphi}, \Phi_f, \lambda, t); \quad (5)$$

$$\Phi_f \text{ при } R_{\text{эн}}(\Phi_{\text{ив}}, \lambda, t) \geq R_{\gamma}(\Phi_{\text{ив}}, \lambda, t). \quad (6)$$

Критерии построены в зависимости от параметров взаимодействия движителя с полотном пути  $\Phi_{\varphi}$ ,  $\Phi_f$  и с учетом других характеристик  $\lambda \equiv \xi(\lambda_k; \lambda_3; \lambda_p)$ . Здесь  $\Delta P_{\varphi}$  – запас силы тяги,  $W_{\varphi}$  – мощность, реализуемая движителем по сцеплению,  $\Delta W = W_{\text{эу}} - W_f$  – запас мощности по двигателю,  $W_{\text{эу}}$  – мощность энергетической установки,  $W_f$  – мощность сопротивлений,  $\Phi_R$  – обобщенная функция радиуса кривизны траектории движения,  $R_{\text{он}}$  – вероятность безотказной работы,  $R_{\eta}$  – предельная вероятность безотказной работы техники в оптимальных (заданных для расчета) условиях работы и технологии изготовления машины;  $R_{\text{эн}}$  – вероятности работоспособности в послеаварийном или пораженном состоянии,  $\Phi_{\text{ив}}$  – обобщенная функция интенсивности аварийного или поражающего воздействия,  $R_{\gamma}$  – предельная вероятность работоспособности техники после заданной (в расчетах) интенсивности аварийного или поражающего воздействия,  $t$  – время работы или воздействия в соответствии с рассматриваемым типом надежности.

Представленную систему критериев (2)-(6) с ограничивающими условиями можно свести к более обоснованной системе целевых функций:

$$\Phi_{\varphi}(\lambda) \rightarrow \max_{\lambda \in \Lambda}, \Phi_f(\lambda) \rightarrow \min_{\lambda \in \Lambda}, v(\lambda) \rightarrow \max_{\lambda \in \Lambda}, \rho(\lambda) \rightarrow \min_{\lambda \in \Lambda}, R(\lambda) \rightarrow \max_{\lambda \in \Lambda}. \quad (7)$$

Здесь  $\Phi_{\varphi}$  – обобщенная функция сцепления движителя машины с материалом опорного основания;  $\Phi_f$  – обобщенная функция сопротивления движению машины;  $v$  – скорость движения машины;  $\rho = R_{\text{п}} / B$  – относительный радиус поворота, где  $B$  – колея машины,  $R$  – вероятность безотказной работоспособности машины как функция  $R(R_{\text{он}}; R_{\text{эн}})$  отказной и эксплуатационной надежности;  $\lambda$  – конструкционные ( $\lambda_k$ ), эксплуатационные ( $\lambda_3$ ) и режимные ( $\lambda_p$ ) параметры и характеристики машины и процесса ее движения.

Решение задачи многокритериальной оптимизации, представленной системой уравнений (7) подробно изложено в работе [1, 5]. Были представлены три решения задачи ее поддержания:

1) концепция управления движением ( $\lambda_k = \text{const}, \lambda_3 = \text{const}, \lambda_p = \text{var}$ );

2) концепция конструкции машины ( $\lambda_k = \text{var}, \lambda_3 = \text{const}, \lambda_p = \text{const}$ );

3) концепция условий эксплуатации ( $\lambda_k = \text{const}, \lambda_3 = \text{var}, \lambda_p = \text{const}$ ),

где  $\lambda_k$  – параметры машины, включая и параметры движителя,  $\lambda_3$  – характеристики эксплу-

атационных условий, включая свойства и параметры полотна пути,  $\lambda_p$  – параметры, характеризующие режимы движения как кинематические, так и силовые.

Решения имеют непосредственное отношение лишь к ограниченным задачам поддержания подвижности автотракторной техники и созданных на ее основе транспортно-технологических машин. Однако имеют место и другие варианты решения проблемы поддержания подвижности, которые определяются функцией «var-const» по отношению к параметрам  $\lambda_k$ ,  $\lambda_s$ ,  $\lambda_p$ . При этом наиболее интересным является комплексное решение задачи подвижности, когда  $\lambda_k = \text{var}$ ,  $\lambda_s = \text{var}$ ,  $\lambda_p = \text{var}$ , то есть оценка конкурентоспособности существующей, модифицируемой или вновь создаваемой автотракторной техники.

Для качественной и количественной оценки конкурентоспособности автотракторной техники можно предложить ряд методов: построения экспертной системы, нахождения регрессии, квалиметрии и многокритериальной оптимизации [1, 5]. При этом последний метод направлен не столько на оценку качества существующей конструкции, сколько на выбор рациональных технических, технологических, эксплуатационных и потребительских параметров проектируемой машины. Этот метод в отличие от первых трех может быть совмещен с системой автоматического проектирования, а оценку отличия качества существующей машины от других можно производить как отклонение их от оптимального эталона, что в целом делается и в других методах. Однако другие методы не позволяют производить математически точный выбор рациональных параметров проектируемой автотракторной техники.

**Под конкурентоспособностью автотракторной техники понимается такое комплексное свойство конкретной машины, определяющее ее качество в соответствии с фактическими значениями технических, технологических, эксплуатационных и потребительских показателей, которое характеризует ее способность конкурировать с аналогичными образцами машин, выпускаемых (разрабатываемых) конкурирующими фирмами.**

Методика оценки конкурентоспособности наземных транспортно-технологических машин (ТТМ) сводится к следующему: 1) раздробить оценочные характеристики до числовых показателей; 2) выразить оценочные показатели в безразмерной форме; 3) принять условие, что рост показателя определяет повышение эффективности, вследствие чего ряд показателей должен быть либо взят как обратная величина, либо как результат от вычитания из единицы; 4) повторяющиеся величины должны учитываться столько раз, сколько они встречаются, что определит их ранжировку (весовую значимость); 5) все оценки должны браться по модулю; 6) число оценочных характеристик для сравниваемых различных типов ТТМ должно быть одинаково. Наибольшую трудность вызывает оценка эстетических показателей. Она может быть проведена на основе вероятностных оценок по результатам опросов потребителей или экспертов. Вероятностные оценки могут быть положены в основу балльной характеристики эстетичности машины. Однако нельзя пренебрегать общеизвестным утверждением, что «на вкус и цвет товарищей нет». С этой точки зрения наиболее подходящим для оценки конкурентоспособности автотракторной техники является метод построения экспертных систем [1, 5].

Тогда экспресс-модель конкурентоспособности машины с разбивкой по конструкционным блокам в общем виде может быть представлена следующей системой уравнений:

$$a_{ki}(\lambda) \rightarrow \text{extr}_{\lambda \in \Lambda}; a_{si}(\lambda) \rightarrow \text{extr}_{\lambda \in \Lambda}; a_{pi}(\lambda) \rightarrow \text{extr}_{\lambda \in \Lambda}; a_{ti}(\lambda) \rightarrow \text{extr}_{\lambda \in \Lambda}; a_{ri}(\lambda) \rightarrow \max_{\lambda \in \Lambda}; a_{ci}(\lambda) \rightarrow \min_{\lambda \in \Lambda}; \quad (8.a)$$

$${}_A P_\Phi(\lambda) \rightarrow \max_{\lambda \in \Lambda}; v(\lambda) \rightarrow \max_{\lambda \in \Lambda}; \exists(\lambda) \rightarrow \text{extr}_{\lambda \in \Lambda}; \Pi(\lambda) \rightarrow \text{extr}_{\lambda \in \Lambda}. \quad (8.б)$$

Здесь  $a_i(\lambda) \in A$ , ( $i = 1, 2, \dots, 11$ );  $\lambda = \xi(\lambda_k, \lambda_s, \lambda_p, \lambda_t, \lambda_\Pi)$  при  $\lambda_k = \text{var}$ ,  $\lambda_s = \text{var}$ ,  $\lambda_p = \text{var}$ ,

$\lambda_t = \text{var}$ ,  $\lambda_\Pi = \text{var}$ . Целевые функции (8.б) относятся к машине в целом.

Примеры решения задачи оптимизации целевых функций (7) и (8) с целью нахождения рациональной конструкции машины в заданных условиях эксплуатации на основе многокритериальной оптимизации рассмотрена в работах [1, 5].

Условная сравнительная концептуальная характеристика для двух машин, выполненная на основе многокритериальной оптимизации, представлена на рис. 1.

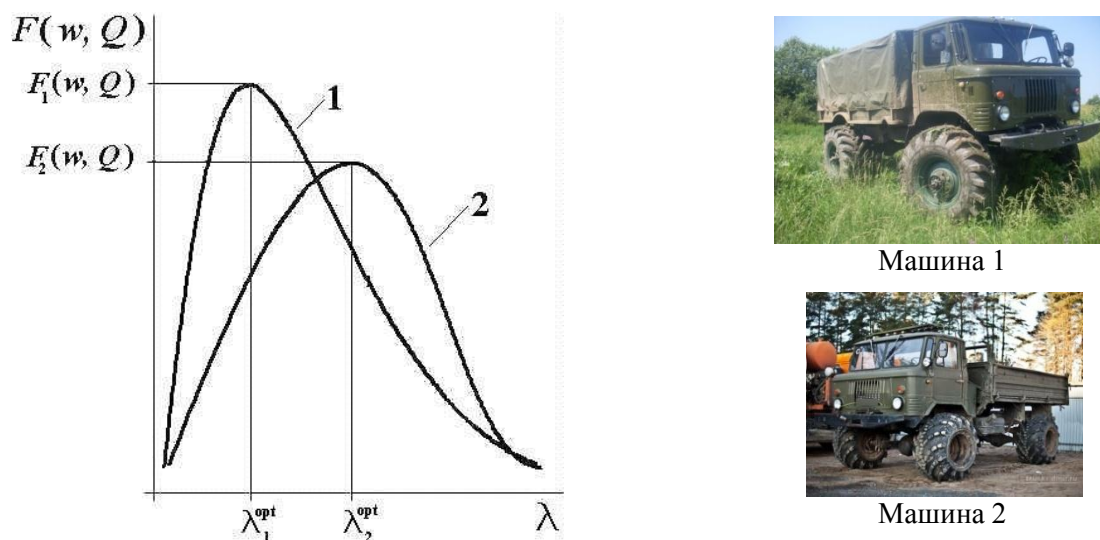


Рис. 1. Условная сравнительная концептуальная характеристика для двух машин, выполненная на основе многокритериальной оптимизации [5]

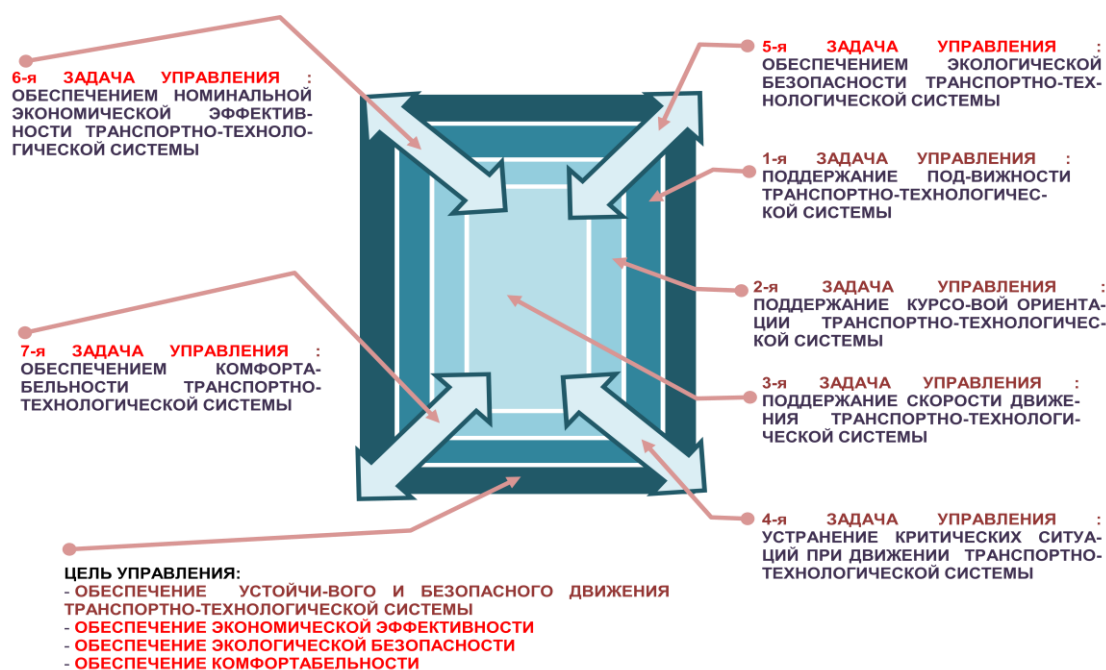


Рис. 2. Иерархия задач управления ТТМ

Из рис. 1 видно, что наилучшей является первая машина.

В результате можно сделать вывод о том, что концептуальная схема иерархии задач управления для обеспечения подвижности ТТМ, рассмотренная в работах [1, 2, 5], может быть представлена в виде схемы, представленной на рис. 2. Она включает в себя не только четыре задачи, относящиеся к области конструкционных параметров (поддержание: подвижности, курсовой ориентации, скорости движения, устранение критических ситуаций при движении транспортно-технологической системы), но также задачи: обеспечения экологической безопасности; номинальной экономической эффективности и комфортабельности транспортно-технологической системы.

## Библиографический список

1. **Беляков, В.В.** Многокритериальная оптимизация в задачах подвижности, конкурентоспособности автотракторной техники и диагностики сложных технических систем / В.В. Беляков, М.Е.Бушуева, В.И. Сагунов; НГТУ. – Н.Новгород, 2001. – 271 с.
2. Вездеходные транспортно-технологические машины. Основы теории движения. Научно-техническое издание: монография / Под. общ. ред. В.В. Белякова и А.П. Куляшова. – Н. Новгород: ТАЛАМ, 2004. – 961 с.
3. **Беляков, В.В.** Транспортно-технологические проблемы Северного Кавказа / В.В. Беляков, У.Ш.Вахидов, Ю.И. Молев; НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Н.Новгород, 2009. – 330 с.
4. **Беляков, В.В.** Взаимодействие со снежным покровом эластичных движителей специальных транспортных средств: дисс. ...док. тех. наук: 05.05.03. Нижний Новгород 1999. – 485 с.
5. Концепция подвижности наземных транспортно-технологических машин / В.В. Беляков [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2013. №3. С. 145–174.
6. **Беляков, В.В.** Оценка эффективности специальных транспортных средств при движении по снегу // В.В. Беляков [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е.Алексеева. 2012. № 2 (95). С. 156–166.
7. **Беляков, В.В.** Подвижность специальных транспортных средств по дорогам типа «stone-road» / В.В. Беляков [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2012. №1. С. 143–151.
8. **Галкин, Д.А.** Влияние параметров шин на подвижность многоосных колесных машин / Д.А. Галкин, В.С. Макаров, В.В. Беляков // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 6; URL: [www.science-education.ru/106-7882](http://www.science-education.ru/106-7882) (дата обращения: 24.12.2012).
9. **Зезюлин, Д.В.** Влияние параметров движителей на показатели эффективности колесных машин при движении по снегу / Д.В. Зезюлин, У.Ш. Вахидов, В.С. Макаров, В.В. Беляков // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 5; URL: [www.science-education.ru/105-6927](http://www.science-education.ru/105-6927) (дата обращения: 17.09.2012).
10. **Зезюлин, Д.В.** Разработка методики выбора конструкционных параметров движителей, обеспечивающих эффективность движения колесных машин по снегу: дисс. ... канд. техн. наук: 05.05.03. – Н. Новгород, 2013. – 218 с.
11. **Макаров, В.С.** Методика расчета и оценка проходимости колесных машин при криволинейном движении по снегу: дисс. ... канд. техн. наук: 05.05.03. – Н. Новгород, 2009. – 161 с.

*Дата поступления  
в редакцию 17.10.2013*

**V.V. Belyakov, D.V. Zezyulin, V.E. Kolotilin, V.S. Makarov**

**MOVABILITY OF GROUND TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL VEHICLES**

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

**Subject/topic/purpose:** To determine the movability of mobile ground-based transport vehicles and transport-technological complexes.

**Methodology of work:** The definition of the movability of ground vehicles.

**Results/application:** Movability is a generalized block diagram unites portability, survivability, manageability, reliability, economic efficiency, environmental friendliness and ergonomics.

**Findings:** The article presents a definition of movability of mobile ground-based transport vehicles and transport-technological complexes.

*Key words:* movability, portability, survivability, manageability, reliability, economic efficiency, environmental friendliness, ergonomics.

УДК 629.113

В.Н. Кравец

## НОРМАЛЬНЫЕ РЕАКЦИИ НА КОЛЁСА ДВУХОСНОГО АВТОМОБИЛЯ ПО СЦЕПЛЕНИЮ С ОПОРНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Рассмотрена методика расчёта нормальных реакций, действующих на передние и задние колёса двухосного автомобиля-тягача, когда тяговая сила на его ведущих колёсах ограничивается сцеплением с опорной поверхностью.

*Ключевые слова:* двухосный автомобиль-тягач, ведущие колёса, ведомые колёса, нормальные реакции на колёса, сцепление колёс с опорной поверхностью, сопротивление качению колёс.

Методика расчёта нормальных динамических реакций, действующих на колёса двухосного и трёхосного автомобилей, а также на колёса автомобиля-тягача и прицепа, входящих в состав автопоезда, когда тяговая сила на ведущих колёсах названных автотранспортных средств ограничена их сцеплением с опорной поверхностью, впервые предложена Е.А. Чудаковым [1]. Несколько иную методику определения нормальных реакций на колёса двухосного автомобиля по условию сцепления ведущих колёс с дорогой изложил В.А. Иларионов в работе [2]. Расчётные формулы, предложенные названными авторами, получены при некоторых упрощающих допущениях. Точное решение данной задачи выполнено автором настоящей публикации в работах [3, 4].

Расчёт нормальных динамических реакций, действующих на колёса передней и задней осей двухосного автомобиля, произведён для трёх компоновочных схем: 1) задние колёса ведущие, передние – ведомые; 2) передние колёса ведущие, задние – ведомые; 3) все колёса ведущие.

### *Неполноприводный автомобиль 4 × 2 с задними ведущими колёсами*

*Схема сил и моментов*, действующих на автомобиль-тягач с задними ведущими и передними ведомыми колёсами, показана на рис. 1. В центре масс автомобиля – точке  $C$  приложены сила тяжести  $G_a$  и её составляющие  $G_n$  и  $F_i$ , а также сила сопротивления поступательному разгону  $F_{ax}$ . Положение центра масс задано координатами  $a$ ,  $b$  и  $h_g$ . В точке  $C_w$  – центре парусности, или метацентре действуют сила сопротивления воздуха  $F_B$ , подъёмная аэродинамическая сила  $F_{wz}$ . Силы  $F_B$  и  $F_{wz}$  создают относительно поперечной оси  $S_y$  опрокидывающий аэродинамический момент  $T_{wy}$ . Положение точки  $C_w$  задано координатами  $a_w$ ,  $b_w$  и  $h_w$  и расстоянием  $l_m$  до центра масс  $C$ . В точке  $C_c$  приложена сила в сцепном устройстве  $F_c$  и её составляющие  $F_{cx}$  и  $F_{cz}$ . Положение точки  $C_c$  задано расстояниями  $b_c$  и  $h_c$  до задней оси и опорной поверхности соответственно.  $\Sigma T_{f1}$ ,  $\Sigma T_{f2}$  – суммарные моменты сопротивления качению передних и задних колёс соответственно. Под действием внешних сил и моментов на передние и задние колёса автомобиля действуют суммарные продольные реакции  $\Sigma R_{x1}$ ,  $\Sigma R_{x2}$  и суммарные нормальные реакции  $\Sigma R_{z1}$  и  $\Sigma R_{z2}$  опорной поверхности.

Суммарные продольные реакции:

- на передние колёса

$$\Sigma R_{x1} = f \Sigma R_{z1} + \frac{\Sigma J_{k1} \varepsilon_k}{r_d} = f \Sigma R_{z1} + \frac{\Sigma J_{k1} a_a}{r_d r_k}; \quad (1)$$

- на задние колёса

$$\sum R_{x2} = \varphi_x \sum R_{z2}, \quad (2)$$

где  $f$  – коэффициент сопротивления качению передних ведомых колёс;  $\sum J_{к1}$  – суммарный момент инерции передних колёс;  $\epsilon_k$  – угловое ускорение передних колёс;  $r_d$  – динамический радиус передних колёс;  $a_a$  – ускорение автомобиля;  $r_k$  – радиус качения передних колёс;  $\varphi_x$  – коэффициент продольного сцепления задних ведущих колёс с опорной поверхностью.

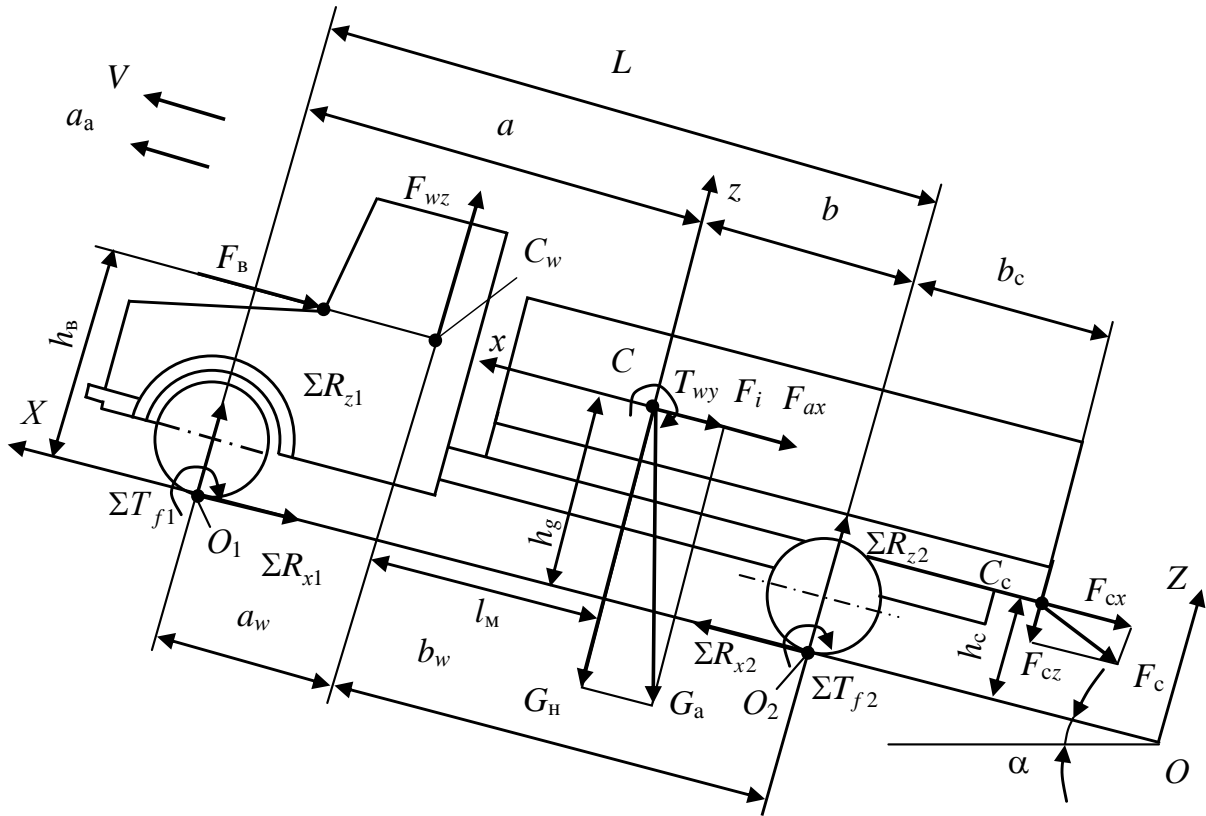


Рис. 1. Силы и моменты, действующие на автомобиль-тягач в общем случае движения

Составляют два уравнения с двумя неизвестными  $\sum R_{x1}$  и  $\sum R_{x2}$ :

- сумму проекций всех сил на ось Cz

$$\sum Z = 0; \sum R_{z1} + \sum R_{z2} + F_{wz} - G_H - F_{cz} = 0, \quad (3)$$

откуда

$$\sum R_{z2} = G_H - F_{wz} + F_{cz} - \sum R_{z1}; \quad (4)$$

- сумму моментов всех сил относительно центра масс (точки C)

$$\sum T_C = 0;$$

$$\begin{aligned} & \sum R_{z1}a - \sum R_{x1}h_g + \sum T_{f1} - \sum R_{z2}b + \sum R_{x2}h_g + \sum T_{f2} + \\ & + F_B(h_B - h_g) + F_{wz}l_M + T_{wy} - F_{cx}(h_g - h_c) + F_{cz}(b + b_c) = 0. \end{aligned} \quad (5)$$

После подстановки в уравнение (5) приведённых ранее выражений для  $\sum R_{x1}$ ,  $\sum R_{x2}$  и  $\sum R_{z2}$  по формуле (4) получают:

$$\begin{aligned} & \sum R_{z1}a - f \sum R_{z1}h_g - \frac{\sum J_{к1}a_a h_g}{r_d r_k} + \sum T_{f1} - (G_H - F_{wz} + F_{cz})b + \\ & + \sum R_{z1}b + \varphi_x (G_H - F_{wz} + F_{cz})h_g - \varphi_x \sum R_{z1}h_g + \sum T_{f2} + \\ & + F_B(h_B - h_g) + F_{wz}l_M + T_{wy} - F_{cx}(h_g - h_c) + F_{cz}(b + b_c) = 0. \end{aligned} \quad (6)$$

В уравнении (6):

$$\sum T_{f1} + \sum T_{f2} = a_{ш}(\sum R_{z1} + \sum R_{z2}) = f(G_H - F_{wz} + F_{cz})r_d. \quad (7)$$

С учётом (7) уравнение (6) приобретает вид:

$$\begin{aligned} \sum R_{z1}a + \sum R_{z1}b - f\sum R_{z1}h_g - \varphi_x\sum R_{z1}h_g - (G_H - F_{wz} + F_{cz})b + \\ + f(G_H - F_{wz} + F_{cz})r_d + \varphi_x(G_H - F_{wz} + F_{cz})h_g - \frac{\sum J_{к1}a_a h_g}{r_d r_k} + \\ + F_B(h_B - h_g) + F_{wz}l_M + T_{wy} - F_{cx}(h_g - h_c) + F_{cz}(b + b_c) = 0. \end{aligned} \quad (8)$$

Имея в виду, что  $\sum R_{z1}(a+b) = \sum R_{z1}L$ , получают:

$$\begin{aligned} \sum R_{z1}[L - (\varphi_x + f)h_g] = (G_H - F_{wz} + F_{cz})(b - \varphi_x h_g - fr_d) + \\ + \frac{\sum J_{к1}a_a h_g}{r_d r_k} - F_B(h_B - h_g) - F_{wz}l_M - T_{wy} + \\ + F_{cx}(h_g - h_c) - F_{cz}(b + b_c), \end{aligned} \quad (9)$$

откуда

$$\begin{aligned} \sum R_{z1} = \frac{(G_H - F_{wz} + F_{cz})(b - \varphi_x h_g - fr_d) + \frac{\sum J_{к1}a_a h_g}{r_d r_k} - \\ - F_B(h_B - h_g) - F_{wz}l_M - T_{wy} + F_{cx}(h_g - h_c) - F_{cz}(b + b_c)}{L - (\varphi_x + f)h_g}. \end{aligned} \quad (10)$$

После подстановки выражения  $\sum R_{z1}$  по формуле (10) в уравнение (4) получают:

$$\begin{aligned} \sum R_{z2} = \frac{(G_H - F_{wz} + F_{cz})[a - f(h_g - r_d)] - \frac{\sum J_{к1}a_a h_g}{r_d r_k} + \\ + F_B(h_B - h_g) + F_{wz}l_M + T_{wy} - F_{cx}(h_g - h_c) + F_{cz}(b + b_c)}{L - (\varphi_x + f)h_g}. \end{aligned} \quad (11)$$

*Частные случаи*

1. Одиночный автомобиль движется на подъёме.

При этом  $F_c = F_{cx} = F_{cz} = 0$ :

$$\begin{aligned} \sum R_{z1} = \frac{(G_H - F_{wz})(b - \varphi_x h_g - fr_d) + \frac{\sum J_{к1}a_a h_g}{r_d r_k} - \\ - F_B(h_B - h_g) - F_{wz}l_M - T_{wy}}{L - (\varphi_x + f)h_g}; \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \sum R_{z2} = \frac{(G_H - F_{wz})[a - f(h_g - r_d)] - \frac{\sum J_{к1}a_a h_g}{r_d r_k} + \\ + F_B(h_B - h_g) - F_{wz}l_M + T_{wy}}{L - (\varphi_x + f)h_g}. \end{aligned} \quad (13)$$

2. Одиночный автомобиль движется на подъёме с малой скоростью. В этом случае  $F_c = F_{cx} = F_{cz} = 0$  и  $F_B = F_{wz} = T_{wy} \approx 0$ :

$$\sum R_{z1} = \frac{G_H(b - \varphi_x h_g - fr_d) + \frac{\sum J_{к1}a_a h_g}{r_d r_k}}{L - (\varphi_x + f)h_g}; \quad (14)$$



$$\sum R_{z2} = \frac{G_H [a - f(h_g - r_d)] - \frac{\sum J_{к1} a_a h_g}{r_d r_k}}{L - (\varphi_x + f) h_g}. \quad (15)$$

3. Одиночный автомобиль движется на подъёме с постоянной малой скоростью. В данной случае  $F_c = F_{cx} = F_{cz} = 0$ ;  $F_B = F_{wz} = T_{wy} \approx 0$  и  $a_a = 0$ , так как  $V = \text{const}$ :

$$\sum R_{z1} = \frac{G_H (b - \varphi_x h_g - f r_d)}{L - (\varphi_x + f) h_g}; \quad (16)$$

$$\sum R_{z2} = \frac{G_H [a - f(h_g - r_d)]}{L - (\varphi_x + f) h_g}. \quad (17)$$

4. Одиночный автомобиль движется на подъёме с постоянной малой скоростью по дороге с твёрдой опорной поверхностью в хорошем состоянии. В этом случае  $F_c = F_{cx} = F_{cz} = 0$ ;  $F_B = F_{wz} = T_{wy} \approx 0$ ;  $a_a = 0$  и  $f \approx 0$ , так как  $f \ll \varphi_x$ :

$$\sum R_{z1} = \frac{G_H (b - \varphi_x h_g)}{L - \varphi_x h_g}; \quad (18)$$

$$\sum R_{z2} = \frac{G_H a}{L - \varphi_x h_g}. \quad (19)$$

5. Одиночный автомобиль движется на горизонтальной дороге с постоянной малой скоростью, причём опорная поверхность твёрдая и в хорошем состоянии. При этом  $F_c = F_{cx} = F_{cz} = 0$ ;  $\alpha = 0$  и  $G_H = G_a \cos \alpha = G_a$ ;  $F_B = F_{wz} = T_{wy} \approx 0$ ;  $a_a = 0$  и  $f \approx 0$ :

$$\sum R_{z1} = \frac{G_a (b - \varphi_x h_g)}{L - \varphi_x h_g}; \quad (20)$$

$$\sum R_{z2} = \frac{G_a a}{L - \varphi_x h_g}. \quad (21)$$

#### **Неполноприводный автомобиль 4 × 2 с передними ведущими колёсами**

Суммарные продольные реакции:

- на передние колёса

$$\sum R_{x1} = \varphi_x \sum R_{z1}; \quad (22)$$

- на задние колёса

$$\sum R_{x2} = f \sum R_{z2} + \frac{\sum J_{к2} a_a}{r_d r_k}, \quad (23)$$

где  $\varphi_x$  – коэффициент продольного сцепления передних ведущих колёс с опорной поверхностью;  $f$  – коэффициент сопротивления качению задних ведомых колёс;  $\sum J_{к2}$  – суммарный момент инерции задних колёс;  $r_d$  – динамический радиус задних колёс;  $r_k$  – радиус качения задних колёс.

Сумму проекций всех сил на ось  $Cz$  записывают в виде уравнений (3) и (4).

Сумма моментов всех сил относительно центра масс (точки  $C$ ):

$$\sum T_C = 0;$$

$$\begin{aligned} & \sum R_{z1} a + \sum R_{x1} h_g + \sum T_{f1} - \sum R_{z2} b - \sum R_{x2} h_g + \sum T_{f2} + \\ & + F_B (h_B - h_g) + F_{wz} l_M + T_{wy} - F_{cx} (h_g - h_c) + F_{cz} (b + b_c) = 0. \end{aligned} \quad (24)$$

Подставив в уравнение (24) приведённые ранее выражения для  $\sum R_{x1}$  и  $\sum R_{x2}$ , а также  $\sum R_{z2}$  по формуле (4) получают:

$$\begin{aligned} & \sum R_{z1}a + \varphi_x \sum R_{z1}h_g + \sum T_{f1} - (G_H - F_{wz} + F_{cz})b + \sum R_{z1}b - \\ & - f(G_H - F_{wz} + F_{cz})h_g + f \sum R_{z1}h_g - \frac{\sum J_{\kappa 2} a_a h_g}{r_d r_{\kappa}} + \sum T_{f2} + \\ & + F_B(h_B - h_g) + F_{wz}l_M + T_{wy} - F_{cx}(h_g - h_c) + F_{cz}(b + b_c) = 0. \end{aligned} \quad (25)$$

После замены в уравнении (25)  $\sum T_{f1} + \sum T_{f2}$  по формуле (7) и с учётом того, что  $a + b = L$ , получают:

$$\begin{aligned} & \sum R_{z1}L + \varphi_x \sum R_{z1}h_g + f \sum R_{z1}h_g + f(G_H - F_{wz} + F_{cz})r_d - \\ & - (G_H - F_{wz} + F_{cz})b - f(G_H - F_{wz} + F_{cz})h_g - \frac{\sum J_{\kappa 2} a_a h_g}{r_d r_{\kappa}} + \\ & + F_B(h_B - h_g) + F_{wz}l_M + T_{wy} - F_{cx}(h_g - h_c) + F_{cz}(b + b_c) = 0. \end{aligned} \quad (26)$$

После некоторых преобразований уравнение (26) приобретает вид:

$$\begin{aligned} & \sum R_{z1} [L + (\varphi_x + f)h_g] = (G_H - F_{wz} + F_{cz}) [b + f(h_g - r_d)] + \\ & + \frac{\sum J_{\kappa 2} a_a h_g}{r_d r_{\kappa}} - F_B(h_B - h_g) - F_{wz}l_M - T_{wy} + F_{cx}(h_g - h_c) - F_{cz}(b + b_c), \end{aligned} \quad (27)$$

откуда

$$\begin{aligned} & (G_H - F_{wz} + F_{cz}) [b + f(h_g - r_d)] + \frac{\sum J_{\kappa 2} a_a h_g}{r_d r_{\kappa}} - F_B(h_B - h_g) - \\ & - F_{wz}l_M - T_{wy} + F_{cx}(h_g - h_c) - F_{cz}(b + b_c) \\ \sum R_{z1} = & \frac{\quad}{L + (\varphi_x + f)h_g}. \end{aligned} \quad (28)$$

Подставив выражение (28) в формулу (2), получают:

$$\begin{aligned} & (G_H - F_{wz} + F_{cz})(a + \varphi_x h_g + fr_d) - \frac{\sum J_{\kappa 2} a_a h_g}{r_d r_{\kappa}} + F_B(h_B - h_g) + \\ & + F_{wz}l_M + T_{wy} - F_{cx}(h_g - h_c) + F_{cz}(b + b_c) \\ \sum R_{z2} = & \frac{\quad}{L + (\varphi_x + f)h_g}. \end{aligned} \quad (29)$$

*Частные случаи*

1. Одиночный автомобиль движется на подъёме. При этом  $F_c = F_{cx} = F_{cz} = 0$ :

$$\begin{aligned} & (G_H - F_{wz}) [b + f(h_g - r_d)] + \frac{\sum J_{\kappa 2} a_a h_g}{r_d r_{\kappa}} - \\ & - F_B(h_B - h_g) - F_{wz}l_M - T_{wy} \\ \sum R_{z1} = & \frac{\quad}{L + (\varphi_x + f)h_g}; \end{aligned} \quad (30)$$

$$\begin{aligned} & (G_H - F_{wz})(a + \varphi_x h_g + fr_d) - \frac{\sum J_{\kappa 2} a_a h_g}{r_d r_{\kappa}} + \\ & + F_B(h_B - h_g) + F_{wz}l_M + T_{wy} \\ \sum R_{z2} = & \frac{\quad}{L + (\varphi_x + f)h_g}. \end{aligned} \quad (31)$$

2. Одиночный автомобиль движется на подъёме с малой скоростью. В этом случае  $F_c = F_{cx} = F_{cz} = 0$  и  $F_B = F_{wz} = T_{wy} \approx 0$ :

$$\sum R_{z1} = \frac{G_H [b + f(h_g - r_d)] + \frac{\sum J_{k2} a_a h_g}{r_d r_k}}{L + (\varphi_x + f) h_g}; \quad (32)$$

$$\sum R_{z2} = \frac{G_H (a + \varphi_x h_g + f r_d) - \frac{\sum J_{k2} a_a h_g}{r_d r_k}}{L + (\varphi_x + f) h_g} \dots \quad (33)$$

3. Одиночный автомобиль движется на подъёме с постоянной малой скоростью. В данном случае  $F_c = F_{cx} = F_{cz} = 0$ ;  $F_B = F_{wz} = T_{wy} \approx 0$  и  $a_a = 0$  при  $V = \text{const}$ :

$$\sum R_{z1} = \frac{G_H [b + f(h_g - r_d)]}{L + (\varphi_x + f) h_g}; \quad (34)$$

$$\sum R_{z2} = \frac{G_H (a + \varphi_x h_g + f r_d)}{L + (\varphi_x + f) h_g}. \quad (35)$$

4. Одиночный автомобиль движется на подъёме с постоянной малой скоростью по дороге с твёрдой опорной поверхностью в хорошем состоянии. В этом случае  $F_c = F_{cx} = F_{cz} = 0$ ;  $F_B = F_{wz} = T_{wy} \approx 0$ ;  $a_a = 0$  и  $f \approx 0$ , так как  $f \ll \varphi_x$ :

$$\sum R_{z1} = \frac{G_H b}{L + \varphi_x h_g}; \quad (36)$$

$$\sum R_{z2} = \frac{G_H (a + \varphi_x h_g)}{L + \varphi_x h_g}. \quad (37)$$

5. Одиночный автомобиль движется на горизонтальной дороге с постоянной малой скоростью, причём опорная поверхность твёрдая и в хорошем состоянии. При этом  $F_c = F_{cx} = F_{cz} = 0$ ;  $\alpha = 0$  и  $G_H = G_a \cos \alpha = G_a$ ;  $F_B = F_{wz} = T_{wy} \approx 0$ ;  $a_a = 0$  и  $f \approx 0$ :

$$\sum R_{z1} = \frac{G_a b}{L + \varphi_x h_g}; \quad (38)$$

$$\sum R_{z2} = \frac{G_a (a + \varphi_x h_g)}{L + \varphi_x h_g}. \quad (39)$$

#### Двухосный полноприводный автомобиль 4 × 4

Суммарные продольные реакции:

- на передние колёса

$$\sum R_{x1} = \varphi_x \sum R_{z1}; \quad (40)$$

- на задние колёса

$$\sum R_{x2} = \varphi_x \sum R_{z2}. \quad (41)$$

Сумма проекций всех сил на ось  $Cz$  выражена уравнениями (3) и (4).

Сумма моментов всех сил относительно точки  $C$ :

$$\sum T_C = 0;$$

$$\begin{aligned} & \sum R_{z1} a + \sum R_{x1} h_g + \sum T_{f1} - \sum R_{z2} b + \sum R_{x2} h_g + \sum T_{f2} + \\ & + F_B (h_B - h_g) + F_{wz} l_M + T_{wy} - F_{cx} (h_g - h_c) + F_{cz} (b + b_c) = 0. \end{aligned} \quad (42)$$

После подстановки в уравнение (42) выражений для  $\sum R_{x1}$ ;  $\sum R_{x2}$  и  $\sum R_{z2}$  по формуле (4) получают следующее уравнение:

$$\begin{aligned} & \sum R_{z1} a + \varphi_x \sum R_{z1} h_g + \sum T_{f1} - (G_H - F_{wz} + F_{cz}) b + \sum R_{z1} b + \\ & + \varphi_x (G_H - F_{wz} + F_{cz}) h_g - \varphi_x \sum R_{z1} h_g + \sum T_{f2} + F_B (h_B - h_g) + \\ & + F_{wz} l_M + T_{wy} - F_{cx} (h_g - h_c) + F_{cz} (b + b_c) = 0. \end{aligned} \quad (43)$$

С учётом того, что  $a + b = L$  и  $\sum T_{f1} + \sum T_{f2} = f(G_H - F_{wz} + F_{cx}) r_d$  по формуле (7), уравнение (43) приобретает вид:

$$\begin{aligned} & \sum R_{z1} L + f(G_H - F_{wz} + F_{cz}) r_d - (G_H - F_{wz} + F_{cz}) b + \\ & + \varphi_x (G_H - F_{wz} + F_{cz}) h_g + F_B (h_B - h_g) + F_{wz} l_M + T_{wy} - \\ & - F_{cx} (h_g - h_c) + F_{cz} (b + b_c) = 0. \end{aligned} \quad (44)$$

Тогда

$$\begin{aligned} \sum R_{z1} L = & (G_H - F_{wz} + F_{cz}) (b - \varphi_x h_g - f r_d) - F_B (h_B - h_g) - \\ & - F_{wz} l_M - T_{wy} + F_{cx} (h_g - h_c) - F_{cz} (b + b_c), \end{aligned} \quad (45)$$

откуда

$$\begin{aligned} \sum R_{z1} = & \frac{(G_H - F_{wz} + F_{cz}) (b - \varphi_x h_g - f r_d) - F_B (h_B - h_g) - \\ & - F_{wz} l_M - T_{wy} + F_{cx} (h_g - h_c) - F_{cz} (b + b_c)}{L}. \end{aligned} \quad (46)$$

После подстановки выражения  $\sum R_{z1}$  по формуле (46) в уравнение (4) получают:

$$\begin{aligned} \sum R_{z2} = & \frac{(G_H - F_{wz} + F_{cz}) (a + \varphi_x h_g + f r_d) + F_B (h_B - h_g) + \\ & + F_{wz} l_M + T_{wy} - F_{cx} (h_g - h_c) + F_{cz} (b + b_c)}{L}. \end{aligned} \quad (47)$$

*Частные случаи*

1. Одиночный автомобиль движется на подъёме. При этом  $F_c = F_{cx} = F_{cz} = 0$ :

$$\sum R_{z1} = \frac{(G_H - F_{wz}) (b - \varphi_x h_g - f r_d) - F_B (h_B - h_g) - F_{wz} l_M - T_{wy}}{L}; \quad (48)$$

$$\sum R_{z2} = \frac{(G_H - F_{wz}) (a + \varphi_x h_g + f r_d) + F_B (h_B - h_g) + F_{wz} l_M + T_{wy}}{L}. \quad (49)$$

2. Одиночный автомобиль движется на подъёме с малой скоростью. В этом случае  $F_c = F_{cx} = F_{cz} = 0$  и  $F_B = F_{wz} = T_{wy} \approx 0$ :

$$\sum R_{z1} = \frac{G_H (b - \varphi_x h_g - f r_d)}{L}; \quad (50)$$

$$\sum R_{z2} = \frac{G_H (a + \varphi_x h_g + f r_d)}{L}. \quad (51)$$

3. Одиночный автомобиль движется на подъёме с малой скоростью по дороге с твёрдой опорной поверхностью в хорошем состоянии. В этом случае  $F_c = F_{cx} = F_{cz} = 0$ ;  $F_B = F_{wz} = T_{wy} \approx 0$ ;  $f \approx 0$  при  $f \ll \varphi_x$ :

$$\sum R_{z1} = \frac{G_H (b - \varphi_x h_g)}{L}; \quad (52)$$

$$\sum R_{z2} = \frac{G_H (a + \varphi_x h_g)}{L}. \quad (53)$$

4. Одиночный автомобиль движется на горизонтальной дороге с малой скоростью, причём опорная поверхность твёрдая и в хорошем состоянии. При этом  $F_c = F_{cx} = F_{cz} = 0$ ;  $\alpha = 0$  и  $G_H = G_a \cos \alpha = G_a$ ;  $F_B = F_{wz} = T_{wy} \approx 0$  и  $f \approx 0$ :

$$\sum R_{z1} = \frac{G_a(b - \varphi_x h_g)}{L}; \quad (54)$$

$$\sum R_{z2} = \frac{G_a(a + \varphi_x h_g)}{L}. \quad (55)$$

### Библиографический список

1. Чудаков, Е.А. Избранные труды. Т. 1. Теория автомобиля / Е.А. Чудаков. – М.: Изд-во АН СССР, 1961. – 464 с.
2. Иларионов, В.А. Эксплуатационные свойства автомобиля: теоретический анализ / В.А. Иларионов. – М.: Машиностроение, 1966. – 280 с.
3. Кравец, В.Н. Теория автомобиля / В.Н. Кравец, В.В. Селифонов. – М.: ООО «Гринлайт+», 2011. – 884 с.
4. Кравец, В.Н. Теория автомобиля / В.Н. Кравец; НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2-е изд., переработ. – Н.Новгород, 2013. – 413 с.

Дата поступления  
в редакцию 17.10.2013

V.N. Kravets

### NORMAL REACTIONS OF WHEELS OF TWO-AXLE VEHICLE IN ACCORDANCE WITH SUPPORT SURFACE ADHESION

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

**Purpose:** Development of methodology for calculating normal reactions acting on the front and rear wheel-axles of the towing vehicle when the towing force of the drive wheels is limited by the strength of their adhesion with the supporting surface.

**Design / methodology / approach:** Theoretical studies were carried out on the basis of fundamentals of the classical theoretical mechanics.

**Findings:** There are analytical expressions for the calculation of the normal dynamic reaction forces at the front and rear wheel-axles of towing vehicle with three different layout drawings for the general and special cases of traffic.

Scope of use: the study of indicators of operational properties of general transport vehicles and, above all, off-road and all-terrain vehicles.

**Research limitations / implications:** Not examined the spatial model. The two-dimensional model was analyzed.

**Originality / value:** During the developing the methodology for calculating the normal dynamic reaction forces at the front and rear wheels of the vehicle, it was taken into account not only the external forces applied to vehicles body, but also the longitudinal reactions in contact zones between the driving and driven wheels and supporting surface.

**Conclusion:** The analytical expression of the dynamic responses of normal reactions allows estimate their impact on the value of design parameters of the vehicle, as well as the characteristics of the support surface of the road.

*Key words:* to-axle vehicle-truck, drive wheels, running

УДК 621.113

Л.Н. Орлов, А.В. Герасин, А.В. Тумасов, Ю.П. Трусов

**ИСПЫТАНИЯ НА ПРОЧНОСТЬ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ  
ЛОКАЛЬНЫХ УЧАСТКОВ КУЗОВНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Исследование напряженно-деформированного состояния локальных участков (узлов) кузовов и кабин автотранспортных средств имеет важное значение при выполнении расчетно-экспериментальных оценок прочности и пассивной безопасности полноразмерных конструкций. Исследования проведены на примере консоли основания кузова автобуса в условиях нагружения составляющими усилиями, действующими на консоль при эксплуатации автобуса. Выполнено сравнение результатов компьютерного моделирования и экспериментов, которое показывает их удовлетворительную сходимость. Это подтверждает правомерность применяемых принципов формирования подробных конечно-элементных моделей и дает возможность обоснования достоверности результатов расчетов.

*Ключевые слова:* напряженно-деформированное состояние, силовые элементы, прочность, конечно-элементная модель.

Анализ работоспособности отдельных силовых элементов на основе результатов расчетов, специальных испытаний и их сравнительной оценки позволяет обоснованно выбирать расчетные конечно-элементные модели конструкций [1]. Подробное изучение напряженно-деформированного состояния локальных мест не обязательно проводить в составе всей кузовной конструкции. Достаточно «вырезать» интересующее место из конструкции или расчетной модели и рассматривать его отдельно. При этом необходимо воспроизвести связи с отсутствующими сопряженными элементами и выбрать соответствующие условия нагружения. Последние можно определить по результатам расчета всей конструкции. Рассмотрим этот процесс на примере исследования напряженно-деформированного состояния консоли основания кузова автобуса. Консоль является одним из характерных силовых элементов, воспринимающих как эксплуатационные, так и аварийные нагрузки. Поэтому исследование её прочности и деформируемости представляет определённый практический интерес.

В данной работе испытания консоли основания кузова автобуса ПАЗ-3205 проведены с целью подтверждения результатов выполненного расчетного анализа её прочности, обоснования правомерности выбора конечно-элементных моделей, применяемой методики локального анализа прочности узлов кузовных конструкций, «вырезаемых» из полной модели [2]. Испытания консоли осуществлены на специальном стенде (рис. 1). Его система нагружения, состоящая из винтовых нагружателей, тензометрических динамометров (струбцин) ИИ-ТН5, тросов и блоков, позволяет воспроизводить любую нагрузку на консоль, действующую со стороны примыкающих к ней элементов кузова. На рис. 2 показаны фрагменты испытания на стенде консоли при действии на неё нагрузок со стороны прилегающей стойки боковины в поперечном и вертикальном по отношению к консоли направлениях. Эти нагрузки имитируют составляющие усилий, действующих на консоль в условиях кручения всего кузова автобуса. Нагружение осуществлялось через стойку боковины. К ней ступенчато прикладывалась одна из сосредоточенных сил  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$  или  $F_4$ . Напряжения в консоли измерялись с помощью тензодатчиков FLA-5-11 и тензостанции FLA-150. Для замеров перемещений (деформаций) отдельных участков консоли использовались лазерные триангуляционные датчики LS5-100/200. Полученный массив данных обрабатывался на компьютере.

Для расчетов консоли на прочность разработана её подробная конечно-элементная модель, имеющая внешние граничные условия (опоры) и нагрузку, аналогичные тем, что и при испытаниях. Разработанная модель консоли с прилегающими к ней участками

лонжерона, стойки боковины и кронштейна рессоры состоит из 56826 оболочечных элементов типа QUAD4 и 25650 объёмных элементов типа TET4. Сварные соединения отдельных деталей консоли в модели представлены 1283 жёсткими элементами типа RBE2. Расчёты консоли выполнены в программном комплексе MSC Nastran лицензионного пакета University MD FEA Bundle. На рис. 3 приведена картина напряжённо-деформированного состояния модели консоли по результатам конечно-элементного расчёта. Подобные картины получены для каждого вида нагружения. Наибольшие напряжения при кручении консоли наблюдаются в местах установки датчиков, показанных на рис. 4. На этом рисунке также показаны направления действия рассматриваемых сил.



**Рис. 1. Стенд для испытания локальных участков кузовных конструкций. Фрагмент нагружения силой  $F_1$**

В таблице приведены для сравнения измеренные и расчётные значения относительных деформаций в характерных местах наклейки тензодатчиков (рис. 4).

Расчётные значения приведены для исходной конечно-элементной модели, в которой все составляющие детали консоли в местах сварки соединены жёсткими элементами типа Rigid. В строках эксперимента приведены значения доверительного интервала по результатам пяти испытаний каждой силой. Из таблицы видно, что по указанным датчикам в целом наблюдается удовлетворительная сходимость результатов расчётов и экспериментов. Аналогичная сходимость результатов отмечена и для датчиков 1, 2, 3, 10 и 11. В таблице их значения не приведены, поскольку они соответствуют только какому-то одному из видов нагружения. Следует также отметить, что наибольшие расхождения результатов (экспериментальные меньше расчётных) наблюдаются в местах датчиков 4, 8 и 9, расположенных около сварных швов при нагрузках  $F_2$ ,  $F_3$ ,  $F_4$ .

Поэтому при разработке расчетных моделей особое внимание следует уделять способу представления сварных швов и точек, а также размерности конечных элементов (шагу сетки) на прилегающих участках соответствующих панелей [3, 4, 5, 6].

В заключение следует сказать, что проведение расчётно-экспериментальных исследований напряжённо-деформированного состояния локальных участков является неотъемлемой частью работ при компьютерном моделировании работоспособности кузовных конструкций автотранспортных средств в условиях действия эксплуатационных и аварийных нагрузок. Исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках выполнения проекта по договору № 02.G25.31.0006 от 12.02.2013 г. (постановление Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 года №218).



а)



б)



в)

Рис. 2. Фрагменты испытания консоли при нагружении силой: а – F3; б – F4; в – F2



Таблица

## Значения относительных деформаций

Сила, кН		Датчик						
		4	5	6	7	8	9	12
$F_1=2,5$	Эксперимент	98	36	109	105	76	18	135
	1	2	3	4	5	6	7	8
	Эксперимент	94	39	104	99	73	17	140
	Расчет	125	47	120	99	97	16	126
$F_2=5,1$	Эксперимент	181	13	259	73	38	58	198
	Расчет	175	12	243	85	46	56	213
$F_3=0,6$	Эксперимент	268	18	280	61	166	58	195
	Расчет	327	68	20	585	261	9	92
$F_4=1,4$	Эксперимент	331	69	21	599	271	10	90
	Расчет	430	84	23	604	368	13	88
$F_4=1,4$	Эксперимент	29	70	341	904	330	7	129
	Расчет	36	74	360	966	354	8	136
$F_4=1,4$	Эксперимент	96	94	276	908	425	1	119
	Расчет							

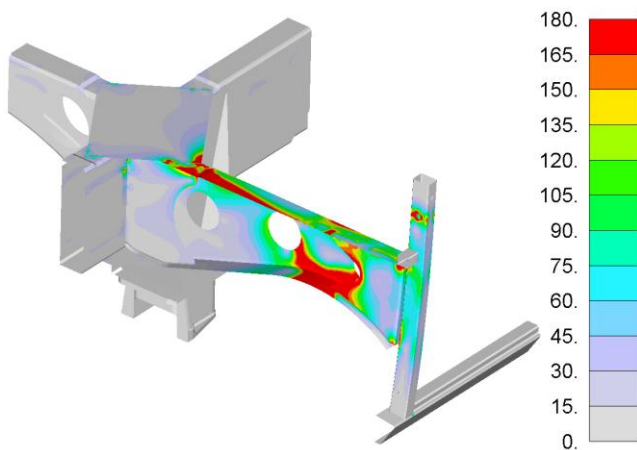


Рис. 3. Напряжённо-деформированное состояние консоли

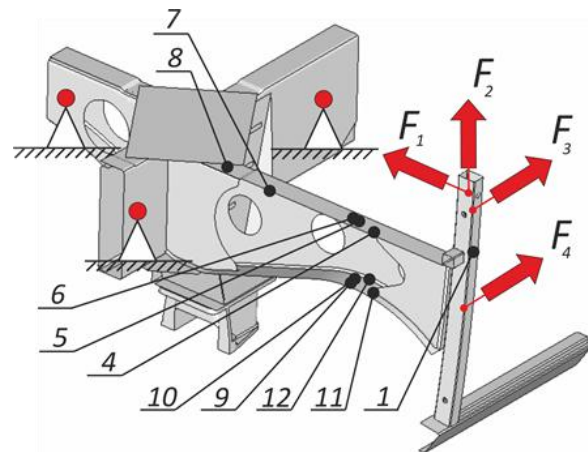


Рис. 4. Схема расположения тензодатчиков и приложения нагрузки

## Библиографический список

1. Орлов, Л.Н. Оценка пассивной безопасности, прочности кузовных конструкций автомобилей и автобусов: монография / Л.Н. Орлов; НГТУ. – Н. Новгород, 2005. – 230 с.
2. Герасин, А.В. Расчетно-экспериментальная оценка несущей способности консоли основания кузова автобуса / А.В. Герасин [и др.] // Проблемы транспортных и технологических комплексов // Сб. науч. статей III Междунар. науч.-техн. конф., посвящённой 40-летию кафедры «Строительные и дорожные машины». – Н. Новгород: НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2012. – С. 114–116.
3. Орлов, Л.Н. Оценка пассивной безопасности автобуса по результатам компьютерного моделирования / Л.Н. Орлов [и др.] // Современные проблемы науки и образования. Электронный журнал. 2013. №3; URL: <http://www.science-education.ru/109-9423>

4. **Зузов, В.Н.** Анализ влияния конструкции автобуса на пассивную безопасность при опрокидывании на основе метода конечных элементов / В.Н. Зузов, Ю.Ю. Карамышев, И.В. Ким // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2008. С. 145–149.
5. **Бассем, Ш.** Методика совершенствования кабин грузовых автомобилей на стадии проектирования для удовлетворения требованиям пассивной безопасности (при ударе спереди): дисс. ... к.т.н. – М., 2013.
6. **Орлов, Л.Н.** Расчетный анализ прочности деформируемости кузова автобуса / Л.Н. Орлов [и др.] // Современные проблемы науки и образования. Электронный журнал. 2013. № 4; URL: [www.science-education.ru/110-9503](http://www.science-education.ru/110-9503).

*Дата поступления  
в редакцию 14.10.2013.*

**L.N. Orlov, A.V. Gerasin, A.V. Tumasov, Y.P. Trusov**

## **TESTS FOR STRENGTH AND COMPUTER SIMULATION OF LOCAL AREAS OF CAR AND BUS BODY CONSTRUCTIONS**

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

**Purpose:** The investigation of the stress-strain state of local areas of vehicle bodies and cabs for assessing the strength and safety of a full-size passive constructions.

**Design/methodology/approach:** The experiments were carried out withing stand conditions by loading the components with the force application on the console when using the bus. The calculations are made on the basis of FEM with the use of modern software systems.

**Results:** In the experiment and calculations, the values of stress and strain were obtained. the carried out comparison of the results of computer simulation and experiments shows their satisfactory agreement. This confirms the appropriateness of the formation principles of detailed finite element models.

**Applications:** Thus, these studies provide an opportunity of reliability justification of the calculation results.

*Key words:* the stress-strain state, power elements, strength, finite element model.

УДК 629.341

В.И. Песков, О.В. Воронков

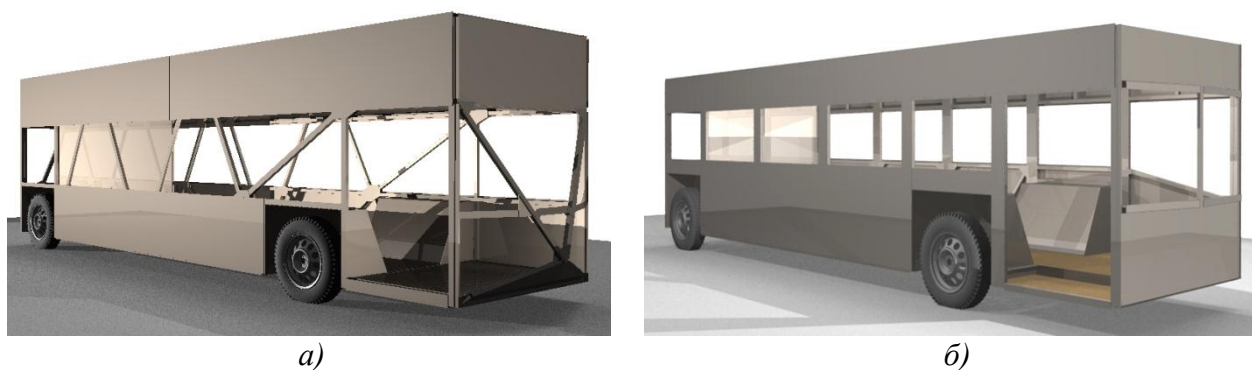
**РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ СРАВНЕНИЕ ЖЕСТКОСТИ  
АВТОБУСНЫХ КУЗОВОВ**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Проводится сравнительный анализ двух прототипов кузовов автобусов I класса в соответствии с Правилами № 107 ЕЭК ООН, один из которых выполнен по традиционной каркасной схеме, а другой – как кузов типа «монокок» с основанием и крышей в виде трехслойных панелей. Сравнительный анализ данных конструкций основывается на результатах расчетов соответствующих подробных конечно-элементных моделей и результатах испытаний масштабных макетов указанных кузовов.

*Ключевые слова:* кузов автобуса, монокок, каркас, масштабная модель, изгиб, кручение.

Сравнительный анализ показателей жесткости двух конструкций автобусных кузов, одна из которых типа «монокок» с основанием и крышей в виде трехслойных панелей, а другая выполнена по каркасной схеме, в данной работе основывается на результатах расчетов соответствующих конечно-элементных моделей (КЭМ) и испытаний масштабных макетов этих кузовов. Внешний вид рассматриваемых конструкций показан на рис. 1. Для облегчения анализа результатов при сравнении характеристик кузовов им была задана максимально схожая компоновка при наличии у каждого всех характерных функциональных элементов автобусного кузова (оконные и дверные проемы, колесные ниши и т.п.).



**Рис.1. Внешний вид автобусных кузовов:**  
а - типа «монокок»; б - выполненный по каркасной схеме

Особенностью данных автобусов является гибридная силовая установка, что во многом объясняет выбранную планировку и развесовку по осям 50:50. Показанная на рис. 1, а инновационная структура боковин и передка кузова типа «монокок» является оригинальной разработкой авторов статьи, причем этот кузов будет немного выше кузова традиционной каркасной конструкции (в рассматриваемом случае на 345 мм). Материал силовых элементов обоих кузовов – сталь 10пс ГОСТ 16523-97 ( $E = 203$  ГПа;  $\mu = 0,29$ ;  $\rho = 7846$  кг/м<sup>3</sup>). Собственные массы рассматриваемых несущих конструкций достаточно близки (2772 кг и 2674 кг), поэтому можно считать, что сравнение производится при одинаковой массе.

Следует отметить, что данные прототипы кузовов проектировались с учетом последующего достаточно легкого изготовления их масштабных макетов из доступного материала. По этой причине для силовых элементов кузовов использовался только один материал – малоуглеродистая сталь толщиной 1 мм и 2,4 мм. В конструкции кузова

каркасного типа обычно применяемый фанерный настил пола был заменен стальным листом, примерно равным ему по своей массе. Несколько большая масса у кузова типа «монокок» получилась за счет его большей габаритной высоты. Этому также способствуют его основание и крыша, выполненные в виде трехслойных панелей, которые переутяжелены из-за ограничений, накладываемых необходимостью макетирования: при изготовлении макетов кузовов (рис. 2 и 3) применена техническая бумага только двух толщин, правомерность использования которой обоснована в одной из предыдущих работ авторов [1]. В этой работе обосновываются и масштабные коэффициенты линейных размеров, нагрузки, упругих свойств и др.



Рис. 2. Масштабный макет автобусного кузова типа «монокок»: а – вид снаружи; б – вид внутри



Рис. 3. Масштабный макет автобусного кузова каркасной конструкции: а – вид снаружи; б – вид внутри

При изготовлении масштабных макетов основным способом соединения кузовных элементов являлось их склеивание, для чего использовался канцелярский клей ПВА-М и твердый клей-карандаш. Также в процессе склеивания могли применяться дополнительные соединительные косынки из того же материала, что и соединяемые детали. Оценить степень соответствия изготовленных масштабных макетов их *CAD*-моделям можно по массе. Так, масса изготовленного макета для кузова типа «монокок» составила 355 г, для каркасного кузова – 343 г. Соответствующие значения для их *CAD*-моделей равны 321 г и 323 г, т.е. отличие не превысило 10,6%. Отличие массы масштабных макетов от значений по *CAD*-моделям зависит от массы клея, использованного при сборке, и массы дополнительных соединительных косынок. В масштабном макете кузова типа «монокок» основная масса клея концентрируется в местах соединения обшивок трехслойных панелей со средним слоем в виде гофрированного листа.

Для расчетов рассматриваемых кузовных конструкций по методу конечных элементов (КЭ) применялись подробные расчетные модели (более миллиона расчетных точек), фрагмент одной из которых показан на рис. 4, а основные параметры использованных КЭМ приведены в табл. 1.

Таблица 1

Основные параметры конечно-элементных моделей

Тип кузова	Тип КЭ	Колич. узлов, млн	Колич. КЭ, млн	КТИТЭ*
монокок	S4	1,566	1,632	5
каркасный	S4	1,350	1,359	5

\*КТИТЭ – количество точек интегрирования по толщине элемента

Для кузова типа «монокок» при моделировании трехслойных панелей параметр «количество КЭ по ширине стенки конструктивного элемента» принимал значение шесть и более, чтобы в процессе расчета можно было зафиксировать возникновение локальной потери устойчивости тонкостенных деталей конструкции. Трубчатые профили каркасов боковин, передка, задка и стенки моторного отделения в кузове типа «монокок» работают в основном на растяжение-сжатие, поэтому для них данный параметр был уменьшен до четырех. В кузове традиционной конструкции большинство труб каркаса работают на изгиб, однако, локальной потери устойчивости стенками прямоугольных труб не ожидается, вследствие чего значение параметра было взято равным пяти. Для листовых обшивок рассматриваемых кузовов данный параметр принимал значение 20 и более, так как для них поперечная релаксация в результате локальной потери устойчивости наиболее характерна и ожидаема. Соединение конструктивных элементов в рассматриваемых конечно-элементных моделях в пределах отдельной структурной единицы (боковина, крыша и т.п.) производилось по принципу «узел в узел». Соединение структурных единиц между собой производилось с использованием «Tied contact».

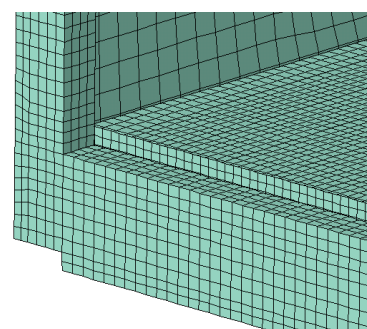


Рис. 4. Фрагмент расчетной конечно-элементной модели

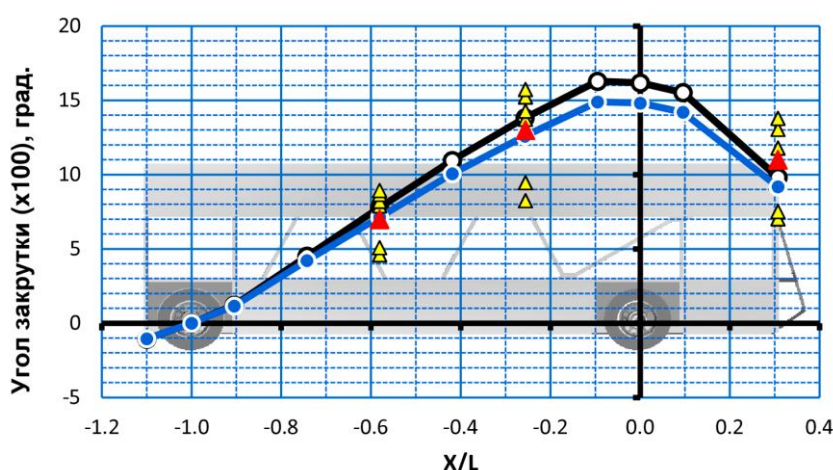


Рис. 5. Деформации кузова «монокок» при его закручивании

Для испытаний масштабных макетов рассматриваемых кузовных конструкций был создан специальный испытательный стенд, который имеет возможность перенастройки, поэтому позволяет производить испытания указанных масштабных макетов и на закручивание, и на изгиб. Предельная нагрузка, прикладываемая при испытании на кручение и при адекватном расчете кузова по методу конечных элементов (закручивающий момент),

соответствует режиму вывешивания одного из колес автобуса. Величина момента, который должен быть приложен к масштабному макету, определяется умножением величины момента для реальной конструкции на соответствующий масштаб [1]. Замеры деформаций масштабных макетов под нагрузкой осуществлялись индикаторами с точностью  $\pm 0,01$  мм. На рис. 5 и рис. 6 приведены результаты расчетов моделей реальных кузовов (сплошные линии) и испытаний (треугольники) масштабных макетов обеих конструкций на кручение

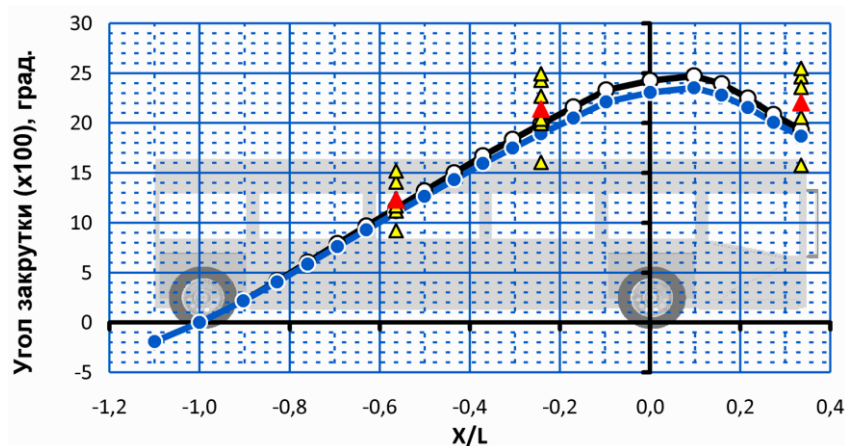


Рис. 6. Деформации каркасного кузова при его закручивании

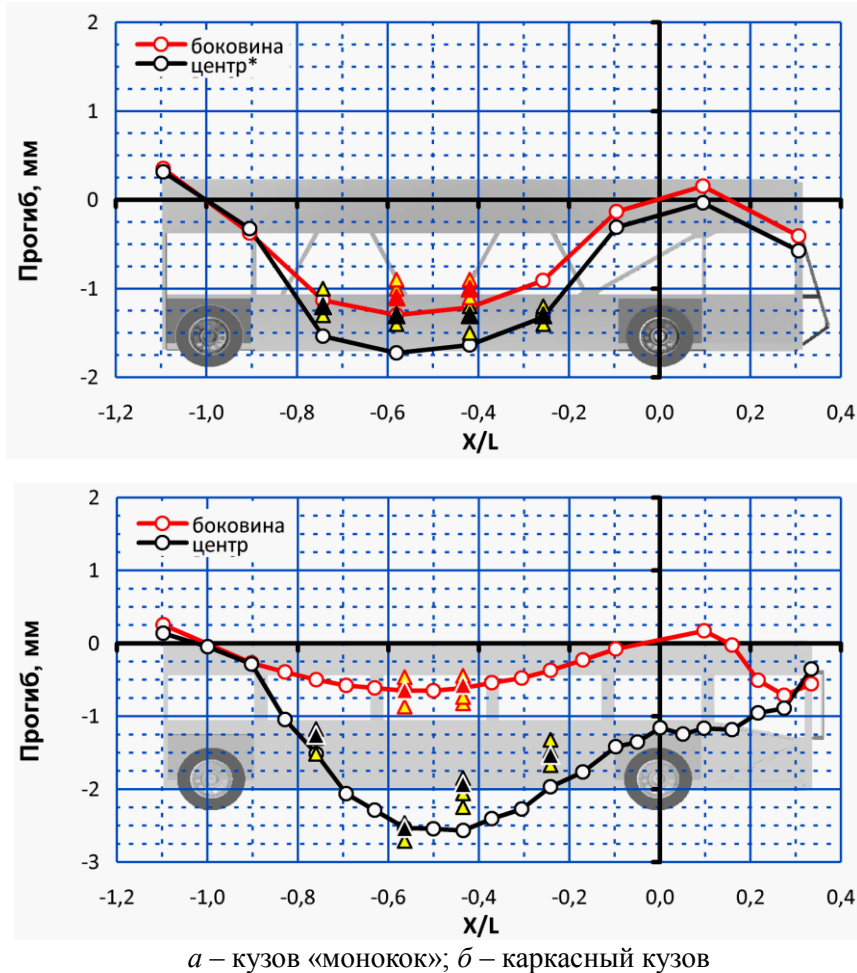
И расчет, и эксперимент показывают, что кузов типа «монокок» имеет почти в полтора раза более высокую жесткость на кручение, чем распространенная каркасная конструкция (для сравниваемых силовых схем это превышение составило 45%). О еще более высоком потенциале монококовых систем говорит сопоставление крутильной жесткости расчетной модели и масштабного макета с реальными конструкциями. Так, если по результатам расчетов и экспериментов жесткость на кручение на длине базы у прототипа кузова типа «монокок» составляет  $475000 \text{ Н}\cdot\text{м}/\text{град}$ , то для кузова очень популярного в нашей стране автобуса ПАЗ-3205 соответствующая величина жесткости – только  $64600 \text{ Н}\cdot\text{м}/\text{град}$  [2,3]. Поскольку база этого реального автобуса приблизительно в 2 раза короче базы рассматриваемого прототипа, удельный показатель крутильной жесткости кузова типа «монокок» получается больше удельного показателя автобуса ПАЗ-3205 в 14,5 раз.

Результаты аналогичных испытаний макетов и расчетов их полноразмерных моделей на действие вертикальной изгибающей нагрузки, приложенной к полу салона, показаны на рис. 7. И при испытаниях, и при расчете нагрузка равномерно распределялась по поверхности пола, имитируя вес пассажиров в соответствии с максимальной вместимостью салона. На рис. 7, а и на рис. 7, б верхняя кривая отображает расчетный прогиб боковины кузова, нижняя – расчетный прогиб пола по линии оси кузова (соответствующие точки эксперимента показаны треугольниками). Сходимость эксперимента и расчета удовлетворительная (отличие не более 25%).

Анализ полученных результатов говорит о том, что кузов типа «монокок» имеет более высокую интегральную жесткость на изгиб, чем кузов каркасного типа. Максимальный прогиб несущей системы при практически одинаковой вертикальной нагрузке в первом случае составил 1,7 мм, во втором – 2,6 мм (больше на 53%). Хорошо видно, что главное преимущество кузова типа «монокок» – более жесткая на изгиб конструкция основания, выполненная в виде трехслойной панели, вертикальная деформация которой составила всего около 0,5 мм, в то время, как соответствующий прогиб основания кузова каркасного типа (листовой настил, подкрепленный лонжеронами и поперечинами) был 1,95-1,98 мм (почти в 4 раза больше). Если учесть тот факт, что боковины прототипа кузова типа «монокок» формировались из наклонных стоек, имеющих в 2,4 раза меньшую толщину стенок (поскольку деформации изгиба в таких конструкциях практически отсутствуют), то у конструкций типа «монокок» еще имеется существенный резерв для повышения жесткости на изгиб этих боковин и доведения суммарного прогиба такого кузова под

статической нагрузкой до величины 1,0-1,2 мм, что будет являться превосходным результатом. Для сравнения: максимальные прогибы под распределенной вертикальной нагрузкой силовых элементов основания реальных автобусных кузовов (например, ПАЗ-3205 [2, 3]) почти на порядок больше.

Рис. 7. Прогибы кузовов под вертикальной нагрузкой:



В плане сравнительной оценки жесткости конструкций определенным интересом представляют также результаты расчета форм и частот собственных колебаний исследуемых кузовов. Известно, что собственные частоты и формы колебаний являются важными показателями, дающими представление о соотношении массовых, инерционных и жесткостных характеристик рассматриваемой конструкции. Анализ собственных форм колебаний является мощным инструментом при рассмотрении механики деформирования конструкции и выявлении ее особенностей и слабых мест.

Для прототипов кузовов, изучаемых в рамках данной работы, расчет собственных частот производился по методу конечных элементов с применением подробных КЭ-моделей. При проведении указанных расчетов полезная нагрузка на основание автобуса со стороны пассажиров преобразовывалась в массу и равномерно распределялась по поверхности верхней обшивки панелей основания. Для кузова традиционной конструкции масса распределялась по поверхностям верхних полок силовых элементов основания. Масса не распределялась по поверхности настила пола кузова этого типа (как могло бы показаться более реалистичным), т.к. множественные низкие частоты колебаний настила пола в данном случае не представляют интереса. Интерес представляют так называемые «фундаментальные» формы колебаний, соответствующие следующим ситуациям: 1) прогиб основания на пролете между боковинами и на длине базы; 2) изгибный прогиб всего кузова; 3) крутильная деформация всего кузова.

Фундаментальная собственная форма изгибных колебаний кузова типа «монокок» (рис. 8) совмещает в себе прогиб основания на пролете между боковинами и изгибную форму кузова в целом. Это обусловлено изгибной деформацией боковин в поперечном направлении, имеющей место при прогибе основания. Указанная особенность может быть названа некоторой слабостью данной конструкции кузова, так как в полной мере не обеспечивается механика оптимальной прочностной работы при изгибе. Влияние данного недостатка может быть снижено путем уменьшения моментной связи между основанием и боковинами, а в идеале – путем перехода к шарнирной связи в этом соединении. Сказанное описывает одно из направлений дальнейшего совершенствования автобусных кузовов типа «монокок», однако в рамках данной работы подробно не рассматривается.

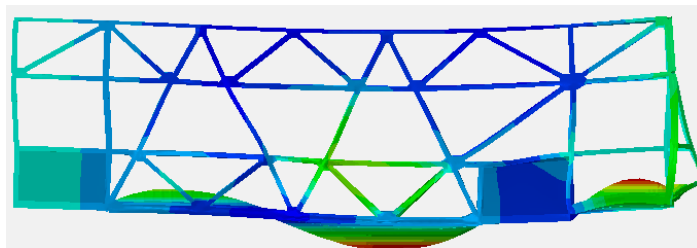


Рис. 8. 1-я гармоника изгибных колебаний кузова

Необходимо отметить, что при проектировании прототипа кузова типа «монокок» закладывалась первая частота колебаний панели основания при изгибе на пролете между боковинами, равная 15 Гц. В результате расчета по методу конечных элементов было получено значение 14,7 Гц. Отличие величин составляет 2%, что подтверждает правильность и высокую точность использованных теоретических зависимостей. Тот факт, что величина, получаемая по аналитической зависимости, несколько выше, объясняется принятой гипотезой о малости деформаций панели основания от сдвиговых внутренних усилий.

Как показали проведенные расчеты, частота 1-й гармоники собственных крутильных колебаний кузова типа «монокок» составляет 32,5 Гц. Для сравнения, частота аналогичных колебаний для кузова традиционной (каркасной) конструкции составила 22,3 Гц. Частоты колебаний некоторых серийных кузовов традиционной конструкции на аналогичном режиме следующие [4]: ПАЗ-3205  $\approx$ 12 Гц; КАМАЗ-5262  $\approx$ 2 Гц. Простое сравнение приведенных величин лишний раз говорит о высоких жесткостных свойствах кузова типа «монокок» на режиме кручения.

Из рассмотрения форм собственных колебаний исследуемых прототипов кузовов в частотном диапазоне до 35 Гц, относящихся к прогибу основания на пролете между боковинами и деформациям кузова в целом, можно заключить, что кузов типа «монокок» по сравнению с кузовом традиционной конструкции не имеет каких-либо частот и форм собственных колебаний, отражающих «слабость» данной конструкции. Напротив, собственные частоты конструкции типа «монокок», как правило, выше частот для аналогичных собственных форм колебаний кузова традиционной конструкции. Особенно явно это проявляется для собственной частоты колебаний, соответствующей режиму закручивания (отличие частоты составляет 46%), что говорит о явном превосходстве по жесткости кузова типа «монокок» на данном режиме.

В ходе расчетов конечно-элементных моделей исследуемых прототипов полноразмерных кузовов на закручивание также было рассмотрено их напряженное состояние (НС). Можно сказать, что в данном случае кузов типа «монокок» на 55-75% (в 1,5-1,75 раз) оказался прочнее кузова традиционной конструкции. На режиме закручивания наиболее нагруженными элементами конструкции кузова типа «монокок» оказались стойки боковин и передка. Распределение напряжений по ним достаточно равномерное, соответствующее нагрузочной ситуации растяжения-сжатия. На стойках боковин, однако, заметно действие поперечного изгиба, возникающего из-за наличия моментных связей



боковина-основание и боковина-крыша. Трехслойные панели основания и крыши на данном режиме являются слабо нагруженными структурными единицами.

Напряженное состояние кузова, выполненного по традиционной схеме, характерно для конструкций данного типа: силовые элементы нагружены изгибом в различных плоскостях. Наиболее нагруженными элементами на рассматриваемом режиме закручивания кузова также являются стойки боковин и передка, причем наблюдается существенная концентрация напряжений в углах проемов. Можно отметить, что у кузова традиционной конструкции сильно вовлечены в процесс восприятия усилий обшивки надоконной секции боковин, крыши, передка и моторной перегородки, а также настил пола. У кузова типа «монокок» нагруженность обшивок боковин и передка значительно ниже. Данная особенность предоставляет дополнительную возможность снижения собственной массы кузова типа «монокок» за счет освобождения указанных обшивок от несущей функции и изготовления их из материалов, имеющих низкую плотность.

Напряженное состояние на режиме изгиба кузова типа «монокок» не выявило каких-либо экстремальных точек у конструкции. Трехслойная панель основания этого кузова на рассматриваемом режиме в основном находится в условиях цилиндрического изгиба. Напряженное состояние кузова, выполненного по традиционной схеме, характерно для конструкций данного типа: силовые элементы нагружены изгибом в различных плоскостях. Наиболее нагруженными элементами на рассматриваемом режиме изгиба кузова являются поперечины и лонжероны основания. Наблюдаются повышенные напряжения в углах проемов, в особенности дверного, как самого большого по размерам. Для кузова типа «монокок» на режиме изгиба заметной концентрации напряжений в углах проемов не наблюдается, что можно причислить к списку его достоинств.

Проведенный комплекс теоретических и экспериментальных исследований подтвердил большую перспективность использования конструкций кузовов автобусов типа «монокок».

#### Библиографический список

1. **Воронков, О.В.** Методика обоснования параметров масштабных макетов для определения деформаций реальных конструкций / О.В. Воронков, В.И. Песков // Будущее технической науки: тез. докл. X Междунар. молодежн. науч.-технич. конф. / НГТУ. – Н.Новгород, 2011. – С. 137.
2. **Кудрявцев, С.М.** Анализ конструктивных групп кузова автобуса ПА3-3205 с точки зрения прочности и жесткости кузова / С.М. Кудрявцев, Л.Н. Орлов, В.М. Исламов // Автомобильный транспорт в XXI веке: сб. науч. ст. Междунар. науч.-технич. конф. / НГТУ. – Н. Новгород, 2003. С. 163-166.
3. **Кудрявцев, С.М.** Исследование несущей системы кузова автобуса ПА3-3205 / С.М. Кудрявцев, Д.В. Соловьев, В.А. Ермаков // Проектирование, испытания, эксплуатация транспортных машин и транспортно-технологических комплексов: сб. науч. ст. Междунар. науч.-технич. конф. / НГТУ. – Н. Новгород, 2005. С. 57–60.
4. **Орлов, Л.Н.** Оценка пассивной безопасности, прочности кузовных конструкций автомобилей и автобусов: монография / Л.Н. Орлов; НГТУ. – Н. Новгород, 2005 – 130 с.

*Дата поступления  
в редакцию 17.10.2013.*

**V.I. Peskov, O.V. Voronkov**

#### COMPUTATIONAL AND EXPERIMENTAL COMPARISON OF STIFFNESS OF BUS BODIES

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

Comparative analysis of body prototypes of two I-class busses according to Regulations No. 107 ECE UN is provided in the article. One of the prototypes has traditional framing structure, another – “monocoque” structure with floor and roof made as sandwich-panels. Comparative analysis of the structures is based on FE-simulations and experimental study of scaled models of the bus bodies.

*Key words:* bus body, monocoque, framing, scaled model, bending, torsion.

УДК 629.113 (0.31):621.85.001.2

**К.Я. Лелиовский, В.С. Макаров****ИССЛЕДОВАНИЕ ВИБРАЦИЙ ТРАНСМИССИИ ПРИ ДВИЖЕНИИ АВТОМОБИЛЯ ПО ДОРОГАМ РАЗЛИЧНОГО МИКРОПРОФИЛЯ**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

В данной статье предлагается рассмотрение вибраций, сопровождающих работу агрегатов трансмиссии, причинами которых являются частично движение автомобиля по дороге, частично работа двигателя. Основное внимание здесь уделяется той части колебаний, которая обусловлена взаимодействием колёс автомобилей с дорожным покрытием. Известно, что одними из основных характеристик профиля дороги является его спектральная плотность. От её величины зависит величина воздействия, передающаяся в трансмиссию от дороги. В статье рассматривается совокупность вопросов изучения силового воздействия дорожного покрытия и вибронегруженности, возникающей по его причине и обусловленной крутильными колебаниями от двигателя.

*Ключевые слова:* динамика трансмиссии, крутильные колебания, вибрация, микропрофиль дороги.

**Введение**

Колесные машины широкого спектра оперативно-функционального назначения требуют обеспечения высокого уровня качества функционирования и надежности. Резервом повышения надежности является тщательные доводочные испытания, направленные на совершенствование конструкции, а также переход от планово-предупредительного обслуживания и ремонта к обслуживанию и ремонту по действительному техническому состоянию. Все эти обстоятельства требуют широкого применения средств и контроля, и диагностирования. В связи с этим возникает необходимость выявления таких характеристик, которые позволили бы с минимальными затратами максимально достоверно определить изменение технического состояния автомобиля. Специфические условия работы исследуемых агрегатов потребуют уточнения и целого ряда методов проектирования, испытаний и доводки, особенно в области обеспечения его оптимальных виброакустических характеристик. В связи с этим рационально применение концепции проектирования агрегатов трансмиссии с заданными виброакустическими параметрами их работы с учётом влияния воздействия микропрофиля дороги [1].

**Влияние микропрофиля дороги на вибронегруженность трансмиссии**

При расчетах нагруженности трансмиссий от воздействия неровностей поверхности (микронеровностей) принимаются следующие допущения:

- профиль дороги симметричен относительно продольной вертикальной плоскости, проходящей через ось симметрии автомобиля;
- контакт колеса с дорогой является точечным;
- влияние длины неровностей на возмущающую силу учитывается корректировкой микропрофиля;
- математическое ожидание скорости движения автомобиля постоянно и равно средней скорости движения;
- эквивалентная динамическая система может быть представлена линеаризованной расчетной схемой;
- наезд переднего не ведущего моста на неровность не вызывает значительных колебаний в трансмиссии.

Расчетная динамическая система применительно к автомобилю 4 X 2 показана

на рис. 1. В этой схеме направляющее устройство подвески обеспечивает относительное смещение моста и трансмиссии при их вертикальных перемещениях по закону:

$$x_1 - x = \eta(\xi - z),$$

где  $\eta$  – коэффициент кинематической связи вертикальных и продольных перемещений агрегатов трансмиссии автомобиля ( $-0,1 \leq \eta \leq 0,1$ ).

Данный коэффициент учитывает колебания длины карданного вала в вертикальном и продольном направлении при переезде автомобилем различных неровностей.

Перемещения карданного вала в вертикальном направлении ограничиваются кинематикой подвески и, следовательно, могут быть учтены соответствующими коэффициентами жесткости и демпфирования её элементов. В продольном направлении наиболее виброопасными являются высокочастотные перемещения, возникающие при движении в неустановившихся режимах с высокими значениями скоростей по микропрофилю с неровностями небольшой амплитуды. В общем случае их можно описать гармонической зависимостью:

$$\eta = A(x)\sin(\omega t + \phi),$$

где  $A(x)$  – амплитуда продольных колебаний карданной передачи.

В перемещении в продольном направлении по координате  $x$  принимает участие поддрессоренная масса автомобиля  $m$  и масса переднего моста, а в вертикальном направлении по координате  $z$  только масса, приходящаяся на ведущий мост  $m_2$ ,

$$m = m_a - m_{2H} + \sum \frac{J_{k1}}{r_{KO}};$$

$$m_2 = \frac{m_a}{L};$$

где  $a$  – расстояние от переднего моста до центра тяжести;  $L$  – база автомобиля;  $\sum J_{k1}$  – суммарный момент инерции колёс переднего моста.

Параметры системы, представленной на рис. 1:

$J_1$  – приведённый момент инерции вращающихся масс двигателя, сцепления, коробки передач, части карданной передачи;

$J_2$  – приведённый момент инерции масс части карданной передачи, вращающихся деталей ведущего моста, колёсных узлов и колёс;

$m_{2H}$  – неподрессоренная масса ведущего моста;

$c_{12}$  – приведённая жесткость карданного вала и валов коробки передач;

$c_{шт}, k_{шт}$  – приведённая тангенциальная жесткость шин ведущего моста;

$c_p, k_p$  – приведённая жесткость и коэффициент демпфирования подвески ведущего моста;

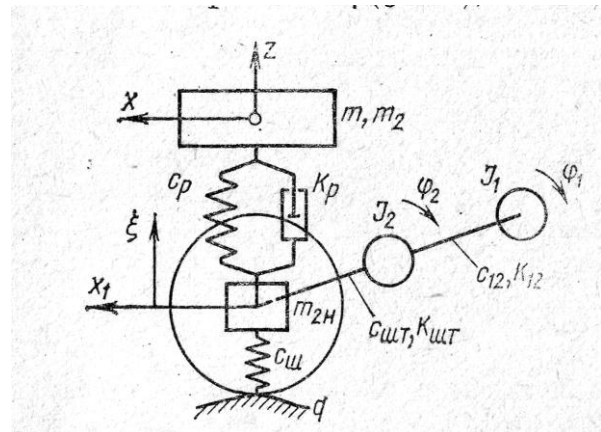


Рис. 1. Расчётная динамическая система автомобиля 4Х2 для определения нагрузок в трансмиссии от воздействия неровностей микропрофиля дороги

$C_{III}$  - радиальная жесткость шин ведущего моста.

Движение масс системы описывается в обобщенных координатах:  $x, z, \xi, \phi_1, \phi_{12} = \phi_1 - \phi_2$ , где  $\phi_1, \phi_2$  - углы поворота вращающихся масс карданной передачи и коробки передач с моментами  $J_1$  и  $J_2$ .

Уравнения движения системы можно описать следующим образом:

$$\begin{cases} \ddot{\phi}_{12} = \frac{r_{K0} T_0}{J_2} - \left( \frac{1}{J_1} + \frac{1}{J_2} \right) M_{12} \\ \ddot{\xi} = -b_1 P_p + b_2 R \\ \ddot{x} = c_1 R - c_2 P_p - b_2 T_0 \\ \ddot{z} = a_1 P_p \\ \ddot{\phi}_1 = \frac{M_{12}}{J_1} \end{cases} \quad (1)$$

Уравнения реакций связей запишутся следующим образом:

$$\begin{aligned} P_p &= c_p (\xi - z) + k_p (\dot{\xi} - \dot{z}); \quad R = c_{III} (q - \xi); \\ T_0 &= T + \bar{R} \dot{q}_s + R_f; \quad \bar{R} = (m_2 + m_{2H})g; \\ T &= \frac{c_{III.T.}}{r_{K0}} \left( \frac{x}{r_{K0}} - \phi_{12} - \phi_1 \right) + \frac{k_{III.T.}}{r_{K0}} \left( \frac{\dot{x}}{r_{K0}} - \dot{\phi}_{12} - \dot{\phi}_1 \right); \\ M_{12} &= c_{12} \phi_{12} + K_{12} \dot{\phi}_{12}. \end{aligned}$$

Коэффициенты в уравнениях реакций связи запишутся:  $a_1 = \frac{(m + m_{2H})}{A}$ ;  $b_1 = \frac{m_2(m + m_{2H})}{m_{2H} A}$ ;

$b_2 = \frac{m_2(\eta_m^2 + m_{2H})}{m_{2H} A}$ ;  $b_3 = \frac{\eta m_2 m}{m_{2H} A}$ ;  $b_4 = \frac{\eta m(m_2 + m_{2H})}{m_{2H} A}$ ;  $A = 2\eta^2 m m_2 + m_{2H} m + m m_2$ . Таким образом, при из-

вестных значениях массо-инерционных характеристик неподрессоренных частей ходовой части, геометрических характеристик автомобиля и упруго-жесткостных свойств его подвески можно вычислить значения коэффициентов в уравнениях реакций связи. Подставив их в уравнения реакций связей, пользуясь системой (1), можно определить характер вертикальных и крутильных колебаний поддрессоренных и неподрессоренных масс, а также элементов трансмиссии. Применив впоследствии к полученным графикам современные программные продукты: MathCAD, Matlab, и другие, проведя их спектральный анализ, можно получить спектральные плотности виброускорений на месте водителя и на элементах конструкции.

### Вибронагруженность элементов трансмиссии

Движение автомобиля по любому опорному основанию осуществляется за счет сил сцепления, реализуемых двигателем исходя из условия движения [2]:

$$\varphi_x G_{cy} \geq F_{T_o} \geq F_f + F_w \quad (2)$$

где  $\varphi_x$  - коэффициент сцепления с поверхностью,  $G_{cy}$  - сцепной вес автомобиля,  $F_{T_o}$  - тяго-

вая сила, реализуемая колесами автомобиля,  $F_f$  - сила сопротивления качению,  $F_w$  - сила сопротивления воздуху.

Если рассматривать случай движения автомобиля со скоростями не более 15 по твердому покрытию при отсутствии проскальзывания в пятне контакта, то силы сопротивления воздуху можно не учитывать ввиду их малости. Силу сопротивления качению в общем виде можно вычислить по формуле:

$$F_f = \sum_{i=1}^n f_o R_{z_i} \quad (3)$$

где  $n$  - число колес,  $f_o$  - обобщенный коэффициент сопротивления качению;  $R_{z_i}$  - нормальная реакция опорной поверхности на  $i$ -м колесе.

Нагружающая сила, действующая в этом случае на зубчатых колесах коробок передач от сил сопротивления, вычисляется по формуле:

$$F_{H_f} = \frac{F_f r_o \dot{i}_0}{r_2 \eta_{TP}} \quad (4),$$

где  $F_f$  - сила сопротивления качению;  $r_o$  - динамический радиус колеса,  $\dot{i}_0$  - передаточное число главной передачи,  $r_2$  - радиус начальной окружности ведомой шестерни,  $\eta_{TP}$  - обратный к.п.д. трансмиссии.

Источником тяговой силы  $F_{T_o}$ , реализуемой колесами, является эффективный крутящий момент, генерируемый двигателем, математическую модель которого можно представить в виде [3]:

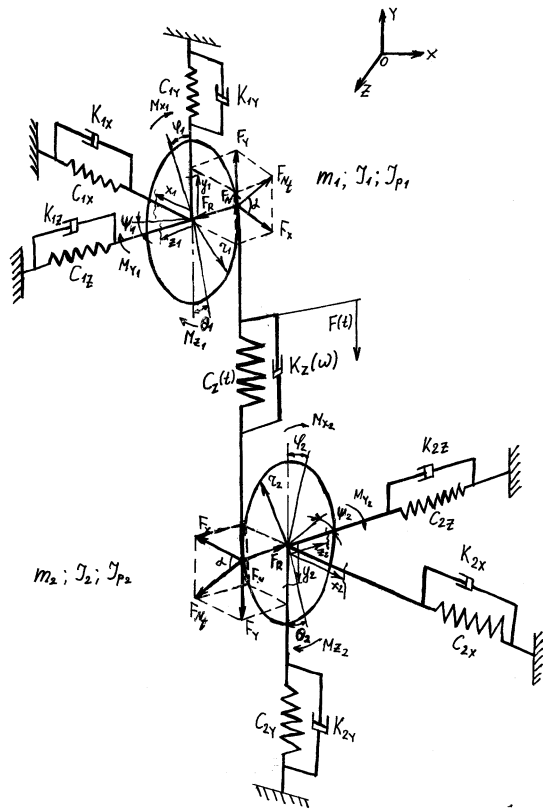
$$T_e(t) = \overline{T_e} + \sum_{k=1}^{k=l} \sum_{v=1}^{v=n} T_v \sin(v \omega_e t + \psi_v - \beta_{kv}) \quad (5)$$

где  $\overline{T_e} = \sum_{k=1}^{k=l} \overline{T_e^0} - T_{c.o.}$  - средний эффективный крутящий момент, развиваемый двигателем;  $\overline{T_e^0}$  - значение среднего эффективного крутящего момента, развиваемого в одном отсеке двигателя;  $T_{c.o.}$  - момент сопротивления вращению вала в отсеке;  $k$  - номер отсека по порядку работы;  $l$  - число отсеков;  $\beta_{kv}$  - угол поворота коленчатого вала за промежуток времени между началом рабочего хода в первом отсеке и началом рабочего хода в  $J$ -м отсеке двигателя.

На зубья взаимодействующих шестерен коробки передач действует возмущающая сила, складывающаяся от возмущающих воздействий двигателя и сил сопротивления качению, нагружающих трансмиссию и двигатель. Суммарную возмущающую силу можно найти по формуле:

$$F(t) = \frac{T_e(t)}{r_1} + \frac{T_{H_f}}{r_2} \quad (6)$$

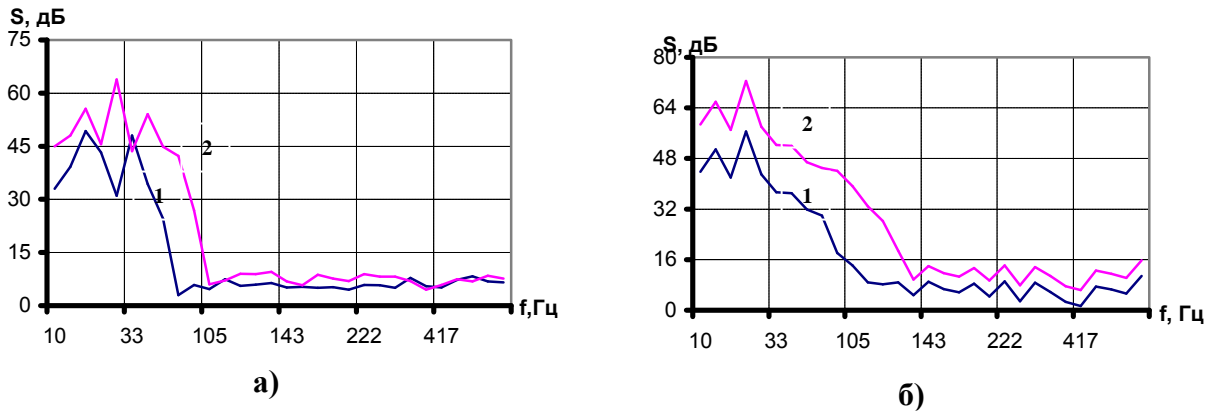
Для решения задач проектирования агрегатов с заданными виброакустическими показателями необходимо составлять динамические модели трансмиссии автомобиля и зубчатой передачи. Это необходимо для исследования вибрационных процессов, протекающих в трансмиссии в целом и в ее отдельных агрегатах. В этом случае схему эквивалентной динамической модели зубчатой передачи см. на рис. 2.



**Рис. 2.** Схема эквивалентной динамической модели косозубой шестеренчатой передачи

Описать динамику движения взаимодействующих косозубых колес на качественном уровне можно посредством уравнения аналитической механики, записанном в форме Лагранжа второго рода. Для рассматриваемой системы, имеющей 12 степеней свободы, при определении кинетической и потенциальной энергии, а также диссипативной функции Рэля эти уравнения запишется в виде дифференциальных уравнений второго порядка, а их канонические решения - представлять собой систему уравнений гармонических колебаний. С физической точки зрения данная система представляет собой суперпозицию колебаний, исходящих от зоны контакта зубьев.

Коэффициенты жесткости, демпфирования, а также массы – инерционные характеристики зубчатых колес, как правило, определяются в ходе специальных экспериментов. В качестве примера результатов расчета приведем график зависимости амплитуд спектра огибающей виброакустического сигнала шестерен 3 – й ступени коробки передач автомобиля «ГАЗель» при сохранении и нарушении смазки в пятне контакта в зависимости от нагружающего момента на рис. 3.



**Рис. 3.** График амплитуд спектра огибающей виброакустического сигнала 3-й ступени коробки передач автомобиля «ГАЗель» при сохранении (1) и нарушении смазки в пятне контакта (2) для значений нагружающего момента в зацеплении:

*a* –  $0,25 T_{max}$  ; *б* –  $T_{max}$

Экспериментальное подтверждение численных расчетов проводится на специальных стендах, состоящих из силового агрегата, а также гидравлического, или любого другого аналогичного, нагружающего устройства, имитирующего сопротивление движению. Измерительные комплексы, применяемые для снятия виброакустических характеристик работы, в широком ассортименте производятся фирмами *RFT*, *Bruel & Kjaer* и др. Датчики устанавливаются в места наибольшей эмиссии. Для коробок передач это места на корпусе вблизи подшипниковых узлов. Исследование влияния количества смазки в пятне контакта при работе

коробки передач «ГАЗель» на 3-й ступени приводилось на подобном стенде при помощи измерительного комплекса, аналогичного по характеристикам *Bruel & Kjaer*, при значении нагружающего момента 25% от максимально-го. График, полученный в результате эксперимента, приведен на (рис. 4).

### Выводы

Виброакустические характеристики работы агрегатов трансмиссии при соответствующей обработке сигнала являются информативными контрольными признаками, расчетные и экспериментальные данные могут быть использованы при отработке конструкторских решений, обеспечивающих проектируемым агрегатам значения виброакустических характеристик в заданных пределах, а всему транспортному средству приемлемые показатели плавности хода.

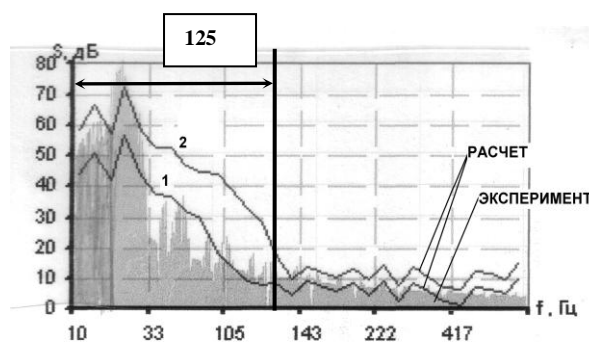


Рис. 4. График спектра виброакустического сигнала 3-й передачи автомобиля «ГАЗель», полученный в ходе эксперимента, при нарушении смазки в пятне контакта для значений нагружающего момента в зацеплении, равного  $T_{\max}$

### Библиографический список

1. Лелиовский, К.Я. Применение виброакустической диагностики при проектировании узлов силовых передач автотранспортных средств / К.Я. Лелиовский, В.В. Беляков, С.М. Огороднов, М.Е. Бушуева [и др.] // Известия АИН РФ. – М. – Н. Новгород, 2006. Т. 16. С. 44–46.
2. Беляков, В.В. Вездеходные транспортно-технологические машины. Основы теории движения / [и др.]; под общ ред. В.В. Белякова и А.П. Куляшова. – Н.Новгород: ТАЛАН, 2004. – 960 с.
3. Вейц, В.Л. Динамика машинных агрегатов с двигателями внутреннего сгорания / В.Л. Вейц [и др.]. – Л.: Машиностроение, 1976. 384 с.
4. Лелиовский, К.Я. Совершенствование конструкции коробок передач автомобилей «ГАЗель» по их виброакустическим характеристикам работы / К.Я. Лелиовский, В.В. Беляков, С.М. Огороднов // Известия вузов. Серия «Машиностроение». 2008. №8. С. 49–56.

**K.Y. Leliowski, V.S. Makarov**

### STUDYING THE TRANSMISSION VIBRATION DURING THE VEHICLE MOTION UP-ON THE ROADS OF VARIOUS MICROPROFILE

Nizhny Novgorod state technical university n. a. R.E. Alekseev

**Subject/topic/purpose:** This article is concerned with studying the vibrations appearing during it functioning.

**Methodology of work:** An overview and analysis of the reason of it is particularly the motion upon the road, and particularly the engine functioning. First part of vibrations is paid the most attention. This aspect is studying in this article.

**Results/application:** Theoretical and practical experimental investigations reveal that the spectral tightness is one of the basic characteristics of the road profile determine the forces acting on moving vehicle. Although it became possible to establish the connections among them.

**Findings:** This article presents some investigations of influence of the road microprofile on the vehicle motion smoothness and its vibration loudness.

*Key words: transmission dynamics, rotational oscillations, vibration, road microprofile.*

## Строительные и дорожные машины

УДК 629.113

У.Ш. Вахидов, В.А. Шапкин, Ю.В. Шапкина

### АНАЛИЗ ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ АВТОМОБИЛЯ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Статья посвящена проблемам комплексного анализа виброакустических характеристик автомобиля на основе компьютерного проектирования с использованием метода конечных элементов. Проведен обзор исследований виброакустических параметров автомобиля, на основании которого определены задачи по оптимизации параметров его конструкции. Решение рассматриваемой задачи возможно только в форме междисциплинарного инженерного анализа и виртуального моделирования.

*Ключевые слова:* уровни шума и вибрации, виброакустические характеристики автомобиля, NVH-анализ, метод конечных элементов (МКЭ).

Основными движущими факторами разработки компонентов современного автомобиля являются неуклонно растущие требования со стороны клиентов и конкурентный характер рынка. CAE (*Computer Aid Engineering*) – системы автоматического проектирования (САПР) играют важную роль в процессе создания автомобиля и его составных частей с развитием компьютерных технологий и систем численного анализа.

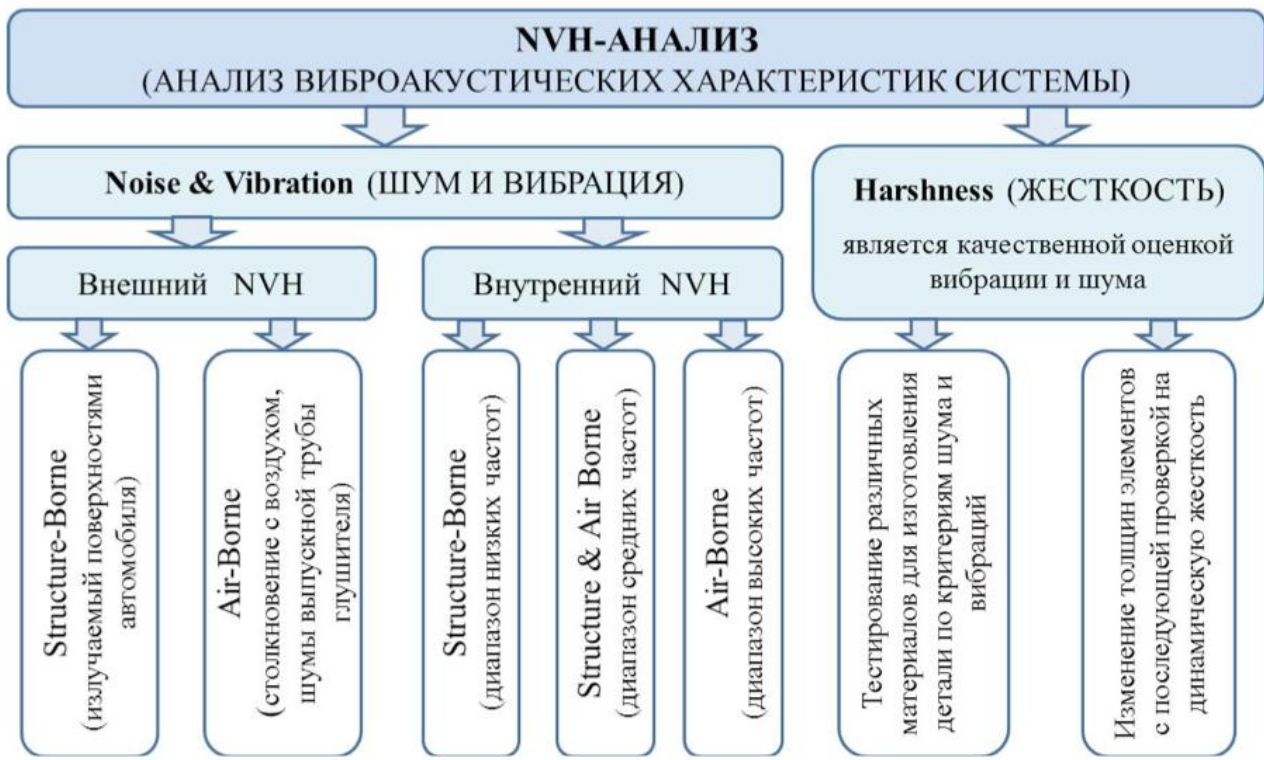


Рис. 1. Схема анализа шума, вибрации и жесткости



*NVH* (*Noise-Vibration-Harshness*, шум-вибрация-жесткость) – комплексный анализ виброакустических характеристик автомобиля является одним из наиболее важных атрибутов для разработок на автомобильном производстве.

Компьютерное проектирование с использованием метода конечных элементов позволило создать и виртуально испытать обобщенные *NVH* модели (рис. 1).

Метод конечных элементов (МКЭ - *FEM*) является наиболее популярным методом детерминированного предсказания, который дискретизирует предметную область в большое, но конечное число мелких элементов. В этих элементах переменные поля (структурные перемещения, акустическое давление и т.д.) описаны в терминах простых, полиномиальных функций формы. Для типичных проблем это приближение, только в определенных академических случаях эти функции формы будут точными решениями дифференциальных уравнений. Поэтому необходимы очень точные сетки дискретизации, чтобы получить достаточную точность прогноза. МКЭ - *FEM* на сегодня является доминирующим методом модального анализа и прогнозов внутренней акустики.

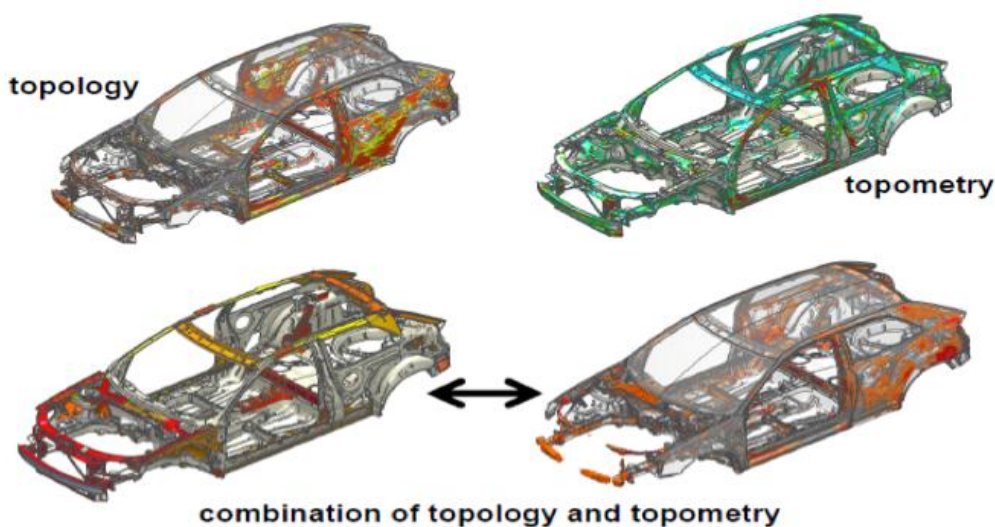


Рис. 2. Концепция *NVH* исследований Audi A3 на этапе разработки конструкции кузова

Метод конечных элементов наиболее оптимален для получения отклика структуры в области низких частот, интересной с точки зрения исследования вибрации автомобилей.

Первый крупный прорыв в компьютерном проектировании произошел с введением полностью цифровой среды разработки. Начиная с 1970-х годов прошлого века автоматизированное проектирование (*CAD*) заменило традиционные чертежные подходы. *CAD* охватывает этапы “*form-and-fit*” процесса проектирования автомобиля в виртуальном пространстве дизайна. *CAD* используется в основном для рабочего проектирования *2D*-чертежей и *3D*-моделей физических компонентов. Это требует полный и подробный набор данных, чтобы все поверхности, кривизны, фланцы и допуски были точно смоделированы (рис. 2).

Вторым крупным прорывом стало появление компьютерного моделирования (*CAE*), которое началось в те же годы с созданием первых программных пакетов методов конечных элементов (МКЭ). В настоящее время *CAE*-методы используются все больше, чтобы предопределить различные функциональные атрибуты и адаптировать дизайн, основываясь на результатах виртуального моделирования. Это было огромным шагом вперед по сравнению с традиционным подходом “*Test, Analyze & Fix*”, при котором для оценки эффективности использовались физические прототипы.

Различают три фазы в процессе проектирования деталей автомобиля:

- концептуальная фаза (до того как становятся доступными подробные *CAD*-данные);
- детальная инженерная фаза (одновременно с *CAD*-дизайном);

- уточняющая инженерная фаза (после завершения CAD-дизайна).

*NVH*-анализ относится к детальной инженерной фазе. *NVH*-анализ представляет собой два глобальных этапа (рис. 1), подразделяющихся на различные этапы: моделирование жесткости и моделирование вибрации и шумов.

Термин *NVH* включает 3 взаимосвязанные понятия: шум, вибрация и жесткость. Для *NVH* инженеров на основании Стандарта *SAEJ670e* Комитета динамики транспортных средств сформулированы следующие определения:

- шум - определяется как любой неприятный или неожиданный звук, создаваемый вибрирующим объектом. Акустические вибрации характеризуются ощущением давления через уши;
- вибрация - определяется как любое нежелательное повторяющиеся движения объекта, вперед-назад или вверх-вниз. Воспринимается тактильно (на точках контакта пассажиров и водителя транспортного средства - рулевая колонка, сидения и т.д.);
- жесткость - определяется как агрессивное ощущение подвески или отсутствие отдачи в ответ на единичное воздействие. Относится к преходящему характеру вибрации и шума, связанной с резким переходом в движение транспортного средства. Это может быть воспринято как тактильно, так и на слух. Термин жесткость (*Harshness*) в *NVH* является спорным моментом и трактуется каждым автопроизводителем по-разному. Он может относиться к субъективному восприятию шума и являться критерием количественной оценки резкости поведения элементов автомобиля в процессе эксплуатации. Другая трактовка - рассматривать жесткость (*Harshness*) как прочность элементов конструкции.

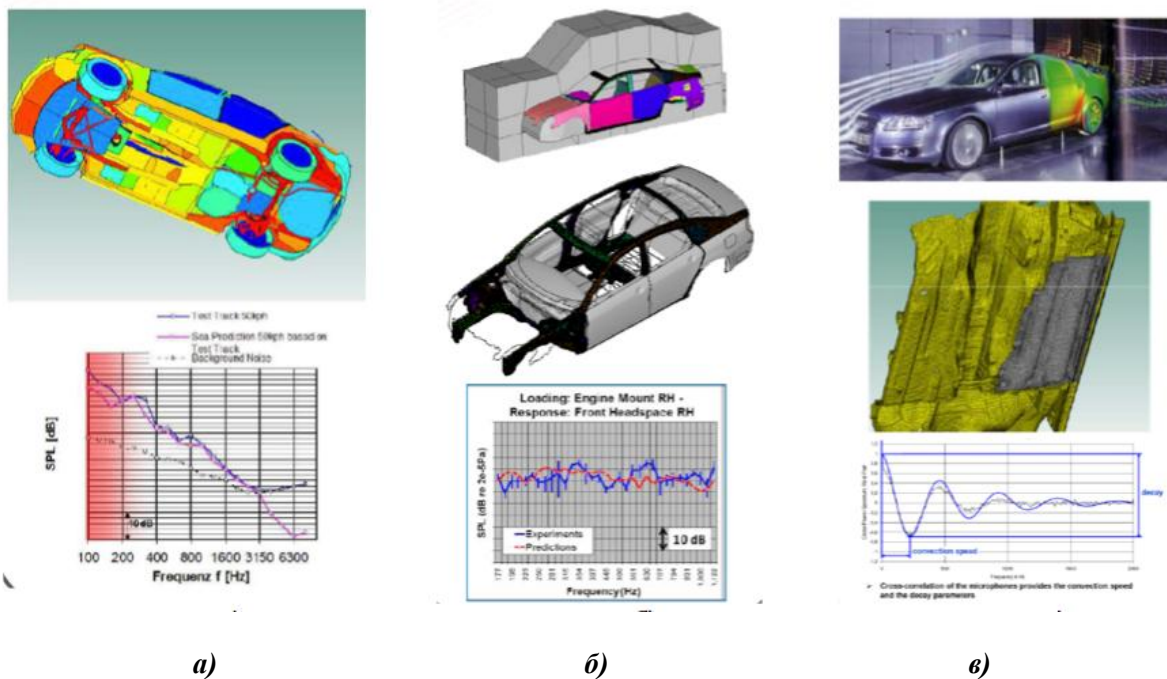


Рис. 3. а) внутренний шум автомобиля, б) пути передачи корпусных шумов, в) расчет воздушно-акустического потока в днище автомобиля [4]

Задача подраздела жесткость (*Harshness*) *NVH*-анализа - добиться оптимального соотношения веса кузова и его прочности. Вес автомобиля прямо влияет на расход топлива, а следовательно и на выбросы в окружающую среду.

Вместе они (шум, вибрация и жесткость) определяют показатель *NVH* качества автомобиля. *NVH*-анализ относится к области инженерной механики, которая направлена на измерение и оптимизацию шумовых и вибрационных характеристик механических конструкций [1].

Современные тенденции NVH-анализа в конструкции автомобиля можно резюмировать следующим образом:

- повышение роли виртуальных прототипов элементов автомобиля для сокращения цикла разработки и сокращения затрат при сохранении качества;
- массовое использование большого числа вариантов автомобилей, разработанных на небольшом количестве «автомобильных платформ».
- NVH приобретает особое значение ввиду следующих требований, предъявляемых к автопроизводителям потребителями и обществом:
- клиенты стали более требовательны в отношении виброакустических характеристик транспортного средства;
- требования по экономии топлива вынуждают разрабатывать более легкие автомобили, что приводит к тому, что проблемы шума и вибраций становятся более очевидными и критическими;
- шумовое загрязнение регламентируется законодательством многих государств (в том числе и России), так как это является нагрузкой на окружающую среду и вызывает проблемы со здоровьем граждан.

Важность вибрационной и акустической безопасности подтверждает наличие большого количества требований по виброакустике. Общая и локальная вибрация нормируется предписаниями 34 международных стандартов ИСО (ISO), шестью европейскими нормами (EN), шум – восемью правилами ЕЭК ООН «О единообразных технических предписаниях для колесных транспортных средств». Основными из них являются требования к общей и локальной вибрации и внешнему шуму [3].

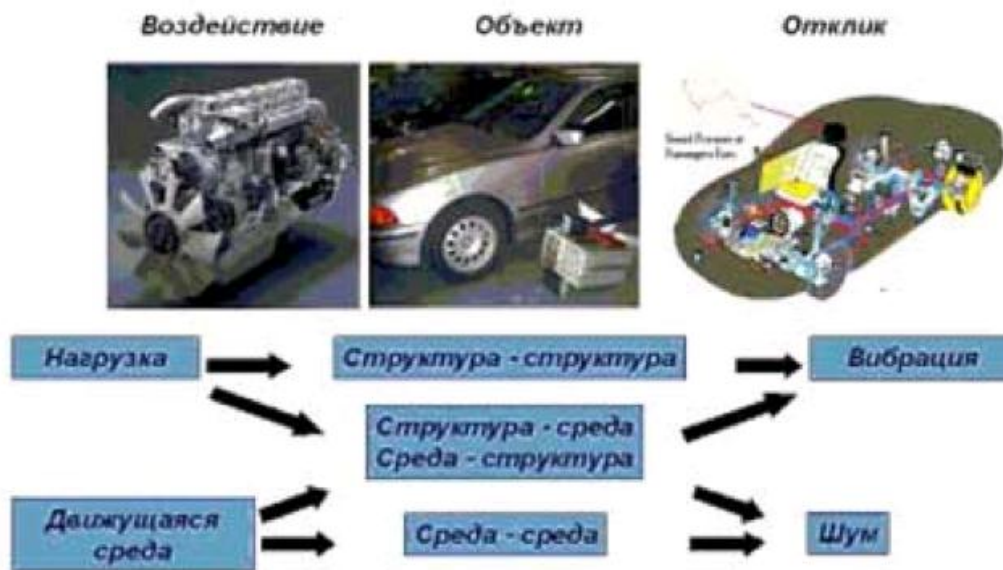


Рис. 4. Возникновение вибрации и шума в автомобиле

Проведение расчётного анализа вибрации и шума [2], а тем более оптимизация параметров конструкции требует решения широкого спектра задач по исследованию разнородных по своей природе физических явлений в различной постановке:

- кинематический и динамический анализ механизмов, входящих в проектируемое – изделие;
- определение упругодемпфирующих характеристик виброизолирующих компонентов конструкции;
- моделирование напряжённо-деформированного состояния сложных пространственных конструкций (кузова, фюзеляжа, корпуса и т.п.);

- моделирование взаимодействия конструктивных элементов изделия с акустическими объемами и распространения в них звука (рис. 3).

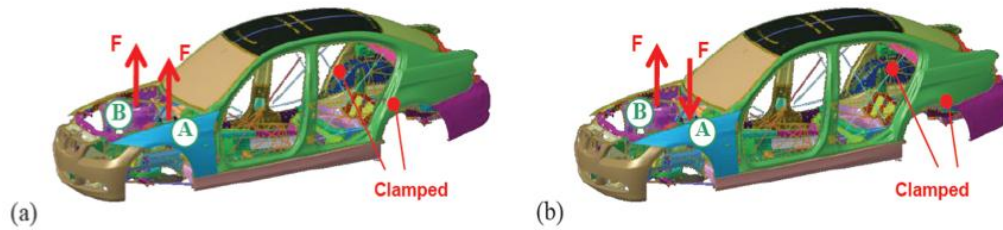


Рис. 5. Примеры статического нагружения, установленные для оценки жесткости черного варианта (а) кручение и (б) изгиб

Комплекс проводимых исследований кузова по уменьшению шума и вибронгруженности автомобилей включает в себя, во-первых, борьбу с шумом и вибрациями в источнике и, во-вторых, на путях их распространения. При этом необходимо учесть, что колебательные процессы имеют различный характер.

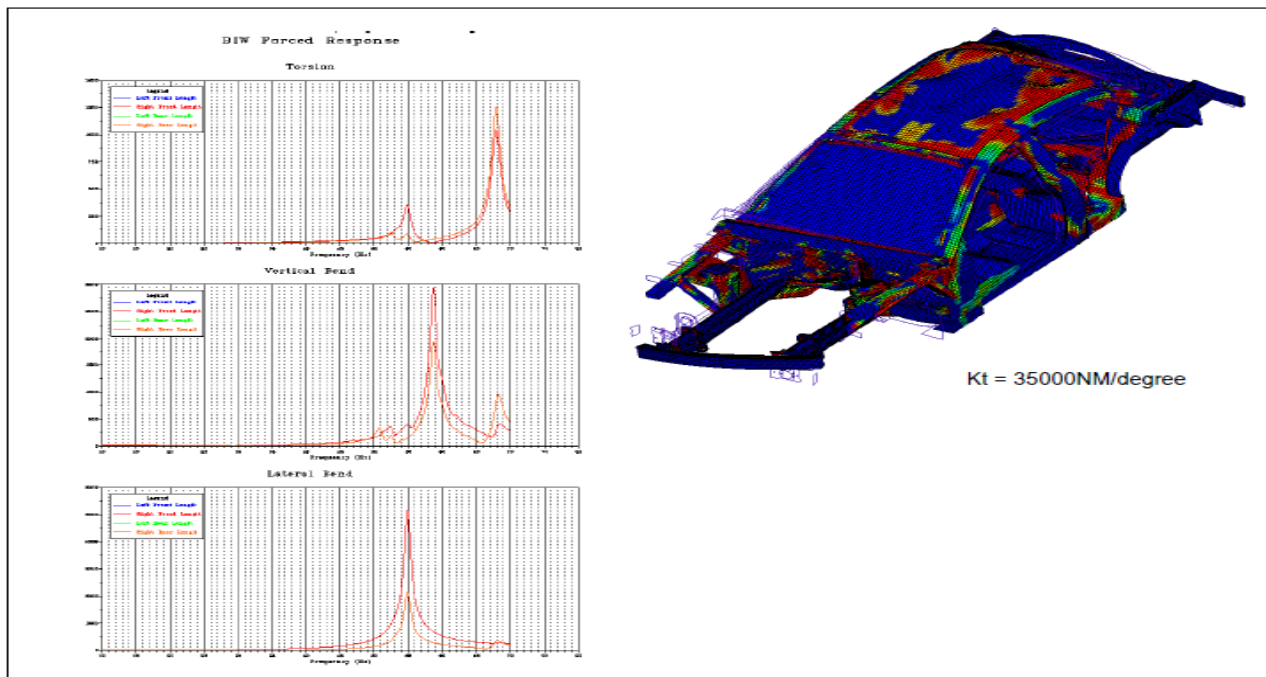


Рис. 6. Динамический анализ кузова автомобиля *Jaguar*

Такие источники, как двигатель и трансмиссия, создают периодические возмущения, зависящие от конструкции и режимов работы, а, например, шины при воздействии с дорожным полотном возбуждают колебания, имеющие случайный характер (рис. 4 и рис. 5). Именно эти колебания и передаются затем силовой установке, трансмиссии, панелям кузова и другим узлам и деталям автомобиля.

Решение рассматриваемой задачи возможно только в форме междисциплинарного инженерного анализа и виртуального моделирования.

На данный момент не существует жесткого стандарта по проведению *NVH*-анализа и методам получения данных [4, 5]. Каждый автопроизводитель пользуется собственными методами *NVH*, которые являются корпоративной информацией и не распространяются компаниями (рис. 6 и рис. 7). Поэтому, актуальным вопросом является разработка методики *NVH*-анализа автомобиля в рамках университетской научной школы.

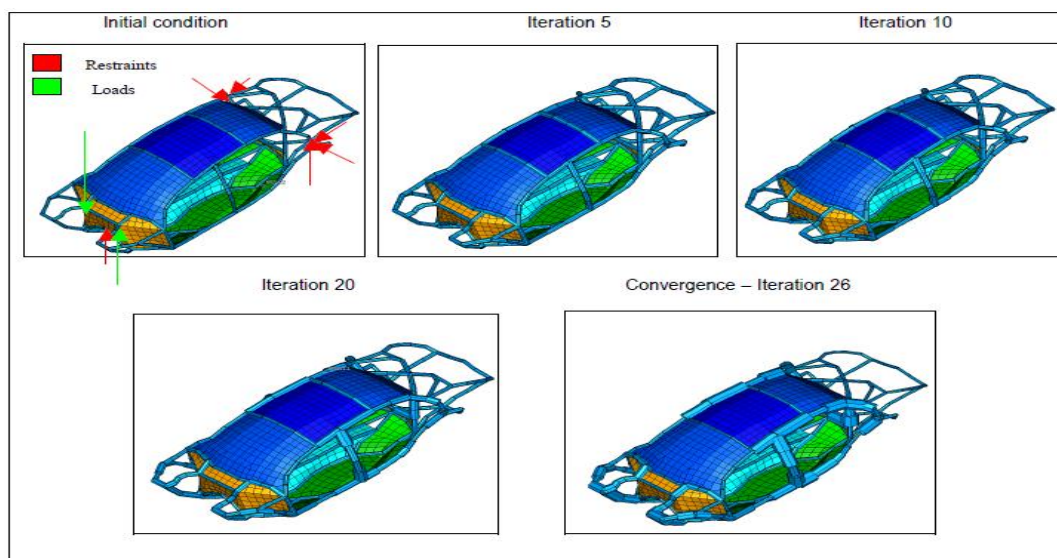


Рис. 7. Оптимизации толщин секций элементов модели кузова автомобиля *Jaguar*

#### Библиографический список

1. **Жилин, П.А.** Прикладная механика. Основы теории оболочек: учеб. пособие / П.А. Жилин, СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2006. – 167 с.
2. **Шапкина, Ю.В.** Применение инновационной системы численного моделирования (FEM) для исследования виброакустических характеристик (NVH) деталей автомобиля / Ю.В. Шапкина, А.Г. Китов, У.Ш. Вахидов, В.А. Шапкин // Сетевое издание «Вестник Мининского университета» / НГПУ. Н. Новгород, 2013. № 1 (4). С. 374–385.
3. Правила ЕЭК ООН «О единообразных технических предписаниях для колесных транспортных средств». №51, №117.
4. **Bianchini, B.** Active Vibration Control of Automotive Steering Wheels. In SAE Noise and Vibration Conference Proceedings, number 2005-01-2546, Traverse City, MI, USA, 2005.
5. **Hering, T.** Strukturintensitätsanalyse als Werkzeug der Maschinenakustik / T. Hering - TU Darmstadt, 2012.

Дата поступления  
в редакцию 30.11.2013

U. Sh. Vachidov, V.A. Shapkin, J. V. Shapkina

#### ANALYSIS OF THE CAR VIBROACOUSTIC PARAMETERS

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

**Purpose:** to study the question of the complex analysis of car vibro-acoustic characteristics, based on the computer aided engineering using the finite element method.

**Design/methodology/approach:** the objectives for design parameters optimization of the car are defined, based on the research review of car vibro-acoustic parameters.

**Findings:** The solution of considered objectives possible only in the form of the multidisciplinary engineering analysis and virtual modeling.

**Research limitations/simplifications:** The present study provides the new powerful tool for vibration and noise control. The application of the Structural Intensity technique together with visualization methods has improved the quality of structure-borne noise diagnostics.

**Originality/value:** for the present moment, it is quite innovative study.

*Key words:* noise levels and vibrations, vibro-acoustic characteristics of the car, NVH analysis, finite element method (FEM).

УДК 629.113

Ю.В. Шапкина, У.Ш. Вахидов, В.А. Шапкин

## ОБОСНОВАНИЕ КОНЦЕПЦИИ «ИСТОЧНИК-ПУТЬ-ПОЛУЧАТЕЛЬ» ДЛЯ АНАЛИЗА СТРУКТУРНОЙ ВИБРАЦИИ АВТОМОБИЛЯ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Статья посвящена разработке подходов к анализу вибраций автомобиля. Проведена классификация вибраций и шумов автомобиля и дана их характеристика. Рассмотрена структурная вибрация (*Structure-Borne Vibration*), относящаяся к разделу внутреннего виброакустического анализа *NVH* (*Noise-Vibration-Harshness*).

*Ключевые слова:* вибрация, виброакустические характеристики автомобиля, внутренний *NVH*-анализ, структурный *NVH*-анализ, модальный метод.

Анализ виброакустических характеристик подразделяется на внешний и внутренний (рис. 1.). Внутренний *NVH*-анализ (*Noise-Vibration-Harshness*) относится к шумовым и вибрационным явлениям, с которыми сталкиваются пассажиры транспортных средств, в то время как внешний *NVH*-анализ предназначен для исследования шумов, излучаемых автомобилем, и его влиянием на человека и окружающую среду снаружи транспортного средства.



Рис. 1. Структура внутреннего *NVH* -анализа автомобиля

Вибрация возникает вследствие несовершенства конструкции, неправильной эксплуатации, внешних условий, например, рельеф дорожного полотна, а также возможна специально генерируемая вибрация. Причиной усиления вибрации может быть резонанс.

Вибрации оказывают влияние на долговечность, прочность и точность работы.

В связи с этим возникает необходимость расчета, измерения и нормирования виброакустических характеристик. Расчет осуществляется в следующих целях:

- 1) оценки вибрации и шума конкретного механизма;
- 2) исследования зависимости вибрации от основных конструктивных и технологических факторов;
- 3) обоснования требований к конструктивным и технологическим параметрам для обеспечения заданного уровня вибрации;
- 4) использования данных расчета вибрации для диагностики технического состояния.

Вибрация как колебательный процесс может быть охарактеризована амплитудой, частотой и фазой вибро смещения, виброскорости или виброускорения. Для оценки вибрации рассчитывают и измеряют амплитудно-частотный спектр и общий уровень вибрации. Амплитудно-частотный спектр представляет собой зависимость амплитуд вибрации от частоты [1].

Таблица 1

## Классификация вибраций и шумов автомобиля

Описание	Способ передачи	Частотный диапазон
Низкочастотные	Производимые структурой ( <i>Structure-Born</i> )	0-150 Гц
Среднечастотные	Порождаемые структурой и воздухом ( <i>Structure and Air born</i> )	150-1000 Гц
Высокочастотные	Порождаемые воздухом ( <i>Air born</i> )	Более 1000 Гц

Вибрации и шумы автомобиля классифицируются на три раздела, базирясь на способе их передачи (восприятия) и частотном диапазоне (табл. 1). Это разделение может быть отнесено к тому факту, что виброакустическое поведение структуры транспортного средства различно на этих трех частотных диапазонах.

Данная статья - это часть исследований, целью которых является разработка новой методики в NVH-анализе компонентов автомобиля для исследования структурной вибрации и вызываемых ей шумов [2, 3].

Рассматриваемая структурная вибрация (*Structure-Borne Vibration*) относится к разделу внутреннего NVH-анализа. Структурный NVH-анализ применяется к механической структуре автомобиля (рис.2).

Вибрации, производимые компонентами автомобиля:

- 1) диапазон частот: до 1000 Гц;
- 2) передается через структурные пути;
- 3) "источник звука" является источником вибраций;
- 4) поверхности излучают звук в салон;
- 5) эффект низкого акустического поведения модальных частот.

В диапазоне низких частот виброакустический отклик системы может быть описан в терминах ограниченного числа мод. Динамические характеристики автомобиля довольно устойчивы к малым возмущениям в геометрии (размерах), характеристиках материала и условий окружающей среды. В этой области основные численные инструменты моделирования основаны на методе конечных элементов, который дискретизирует континуум доменов или их граничные поверхности на мелкие элементы. Эти методы являются детерминированными, следовательно, они предоставляют прогнозы в отдельных местах и на дискретных частотах при традиционном проектировании автомобилей (рис. 3).

Подход модального решения является косвенным подходом, основанным на так называемых модальных параметрах: собственные значения и собственные моды, полученные из

математического моделирования (расчета), и коэффициенты затухания, как правило, полученные из экспериментальных данных. Так называемый модальный метод суперпозиции используется для создания малогабаритной системы представления, которая может быть решена очень эффективно на множестве дискретных частот [3].

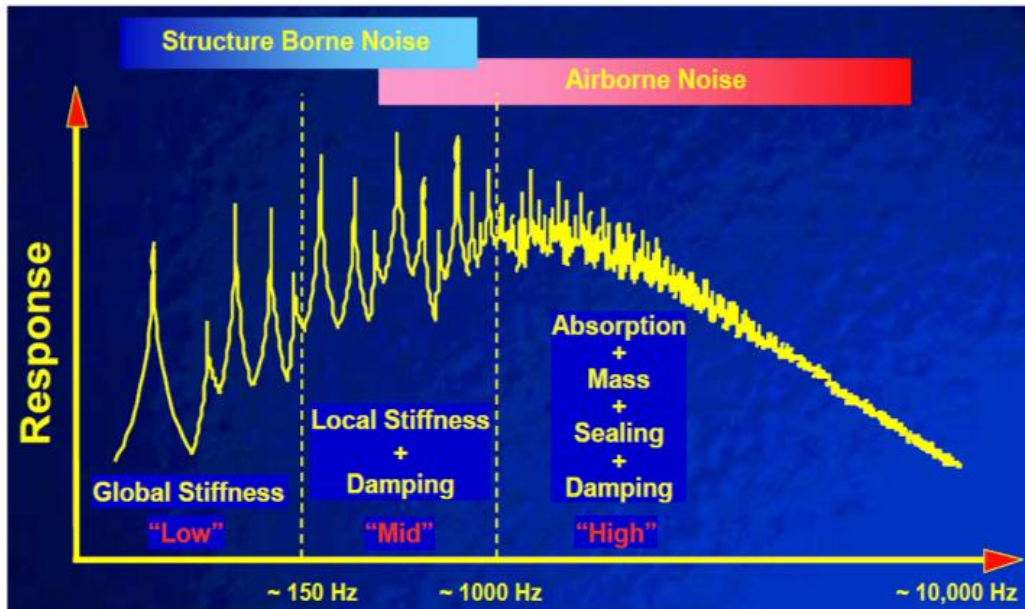


Рис. 2. Автомобильный NVH - анализ. Частотный диапазон. 2011 SAE NVC Structure Borne Noise Workshop

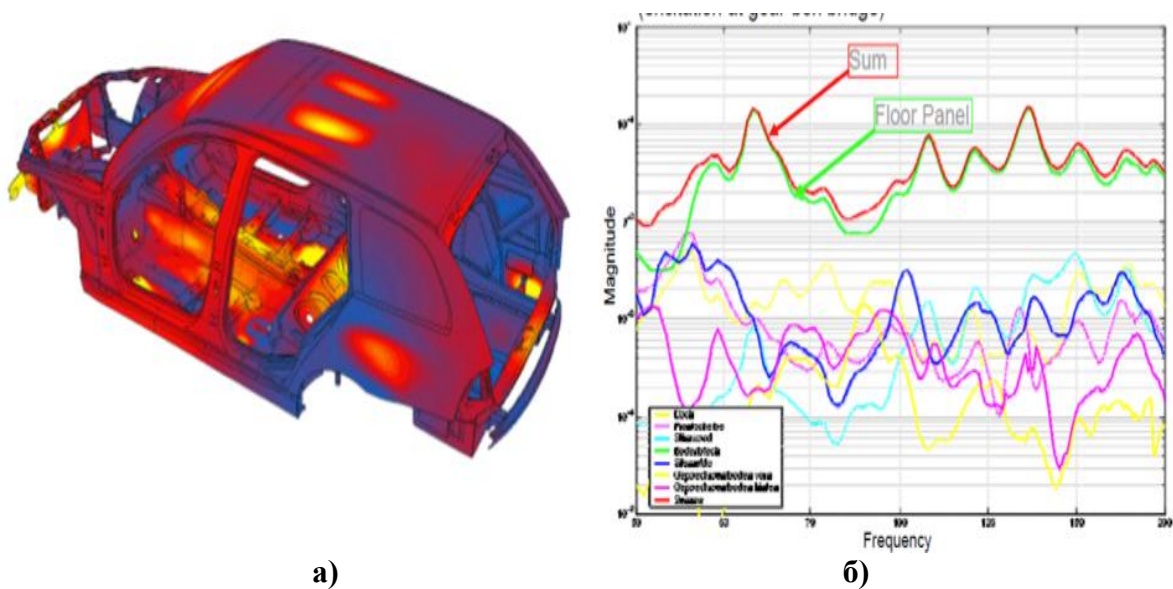


Рис. 3. а) виброперемещения панелей при 60 Гц, б) пример «слабых точек» в панелях пола, при источнике вибрации – коробке передач

Вибрирующий объект обычно производит звук, и звук может быть раздражающим шумом. В случае, когда колеблющееся тело является прямым источником шума - например, при сжигании топлива вибрирующее тело или источник легко найти.

Эта небольшая вибрация может привести к большей вибрации и шумам из-за контакта



вибрирующего тела с другими частями. Когда это произойдет, внимание фокусируется на том, где происходит большая вибрация или шум, в то время как реальный источник часто ускользает от внимания.

Понимание происхождения шума и вибрации помогает в процессе устранения неполадок. Развитие малого шума в большой шум начинается, когда источник вибрации (непреодолимая сила) генерирует вибрацию. Резонанс усиливает вибрацию с другими частями транспортного средства. Колеблющееся тело (тело, производящее звук), получает передачу от усиленной вибрации.

Концепция «источник-путь-получатель» для виброакустического анализа автомобиля приведена на рис. 4.



**Рис. 4. Концепция «источник-путь-приемник» для виброакустического анализа автомобиля**

В первую очередь требуется классифицировать источники вибрации и шума, произвести их характеристику. Вибрация всех деталей и система автомобиля генерируется двумя основными источниками – дорожным полотном и силовым агрегатом (силовыми агрегатами) автомобиля.

Источники вибрации характеризуются свойствами собственных временных и частотных областей.

Различают главным образом периодические и случайные возмущения:

1. Периодические возмущения:

- происходят от силового агрегата, вспомогательных агрегатов или агрегатов трансмиссии,
- простая форма периодических гармонических возмущений.

Во временной области это представлено в виде синусоиды и в частотной области спектром в одну линию.

2. Случайные возмущения:

- воздействие дороги на колесо,
- возможно только статистическое представление,
- обычно представляются спектром мощности.

Структура с легким затуханием может производить высокие уровни вибрации от низ-

ко-уровневых источников, если частотные составляющие возмущения близки к одной из собственных частот системы. Это означает, что хорошо разработанные и изготовленные подсистемы, которые производят низкий уровень возмущающих сил, все еще могут создать проблемы при сборке в транспортном средстве.

Для того, чтобы избежать этих проблем, на стадии проектирования необходимо моделировать системы точно и анализировать их ответ на ожидаемые возмущения. Все массупругие системы имеют собственные частоты, для линейных систем эти частоты являются постоянными, связанными только с распределением массы и жесткости, нелинейные эффекты требуют специальной обработки [4].

На основании изложенного к анализу вибраций автомобиля рационально применить следующий подход:

- разработать математическую модель системы и сформулировать уравнения движения,
- проанализировать характеристики свободной вибрации (собственные частоты и режимы),
- проанализировать ответ на вынужденные колебания для предписанных возмущений,
- рассмотреть распространение вибраций в структуре деталей [3].

#### Библиографический список

1. **Жилин, П.А.** Прикладная механика. Основы теории оболочек: учеб. пособие / П.А. Жилин, СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2006. – 167 с.
2. **Шапкина, Ю.В.** Применение инновационной системы численного моделирования (FEM) для исследования виброакустических характеристик (NVH) деталей автомобиля / Ю.В. Шапкина, А.Г. Китов, У.Ш. Вахидов, В.А. Шапкин // Сетевое издание «Вестник Мининского университета» / НГПУ. Н. Новгород. 2013. № 1 (4). С. 374–385.
3. **Шапкина, Ю.В.** Применение инновационной техники structural intensity analysis для повышения вибрационной надежности и усовершенствования акустического дизайна рулевой колонки автомобиля/ Ю.В.Шапкина, Н.А. Кузьмин, В.А.Шапкин // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород). 2013. № 1. С. 139–149
4. **Bianchini, B.** Active Vibration Control of Automotive Steering Wheels. In SAE Noise and Vibration Conference Proceedings, number 2005-01-2546, Traverse City, MI, USA, 2005.
5. **Hering, T.** Strukturintensitätsanalyse als Werkzeug der Maschinenakustik / T. Hering - TU Darmstadt, 2012.

*Дата поступления  
в редакцию 30.11.2013*

**J. V. Shapkina, U. Sh. Vachidov, V.A. Shapkin ,**

#### **THE CONCEPT "SOURCE-PATH-RECIVER" FOR THE VIBROACOUSTIC ANALYSIS OF THE CAR**

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

**Purpose:** this article is a part of the research, which purpose is to develop the new technique in the NVH-analysis of car components for study of its structural vibration and noise.

**Design/methodology/approach:** Vibration as oscillatory process can be characterized by amplitude, frequency and a phase of vibration displacement, vibration velocity or vibration acceleration. For an assessment of vibration an amplitude-frequency range and the overall vibration are calculated and measured.

**Findings:** Classification of vibration and noise of vehicle and their characteristics. The considered structural vibration (Structure-Borne Vibration) related to the interior NVH.

**Research limitations/simplifications:** The application of the Structural Intensity technique together with visualization methods has improved the quality of structure-borne noise diagnostics. This method enables the investigation in the regions of high concentration of the vibration energy flow which consequently is exposed to the risk of damage or is propagating the sound waves to the environment.

**Originality/value:** On the basis of the above rational approach to the analysis of vibrations of the car is offered.

*Key words:* vibration, vibroacoustic characteristics of the car, interior NVH analysis, structural NVH, modal method.

УДК 629.113

А.В. Согин, В. Н. Худяков, В.А. Шапкин

## ВЛИЯНИЕ РАДИУСА БАЗОВОГО ЦИЛИНДРА ШНЕКОВОГО РЫХЛИТЕЛЯ НА ПРОЦЕСС ЕГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ДОННЫМИ ОТЛОЖЕНИЯМИ

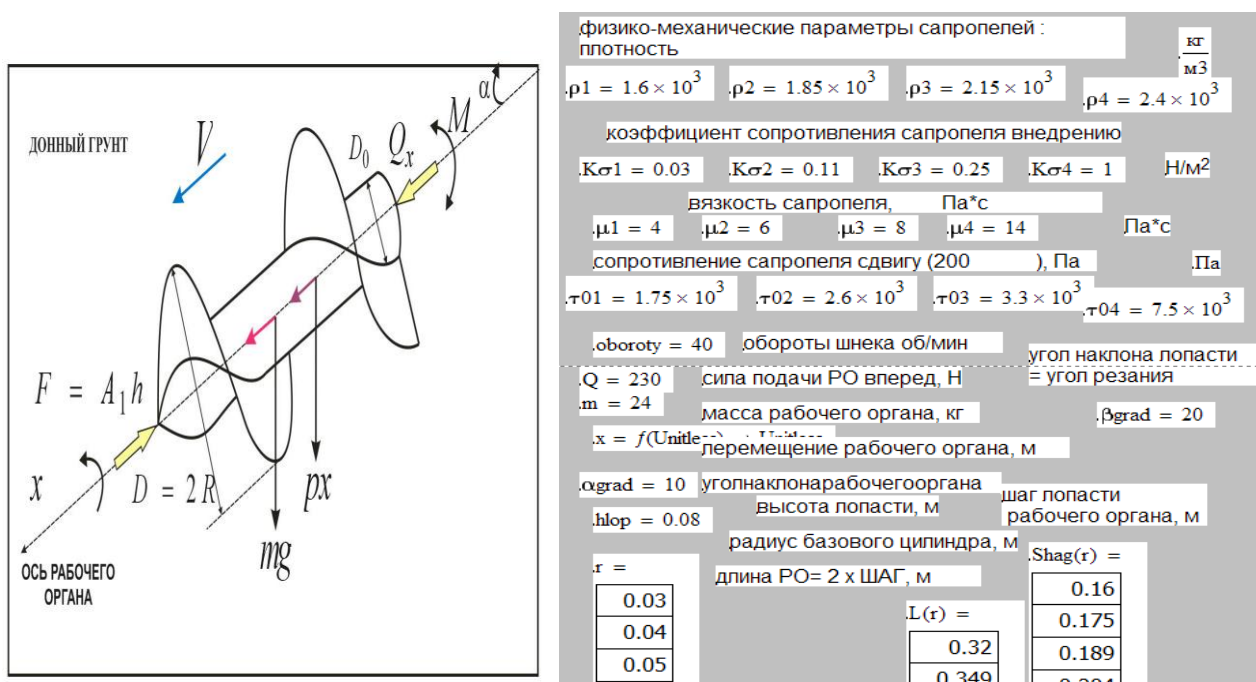
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Приведены зависимости скорости перемещения сапропеля по шнеку, момента сопротивления на шнеке, массовой производительности шнекового рабочего органа, объемной производительности шнекового рабочего органа от радиуса базового цилиндра шнекового рыхлителя, построенные в моделирующей программе *MathCAD*.

Получены результаты моделирования процесса перемещения сапропеля шнековым рабочим органом, подтверждающие адекватность разработанных моделей.

*Ключевые слова:* сапропель, шнековый рабочий орган, момент сопротивления, массовая производительность, объемная производительность, радиус базового цилиндра.

При очистке малых водоемов и для разработки донных отложений важным является выбор рабочего органа с рациональными конструктивными параметрами [1]. Для определения параметров применяемого при добыче сапропелей шнекового рабочего органа была построена его математическая модель [3].



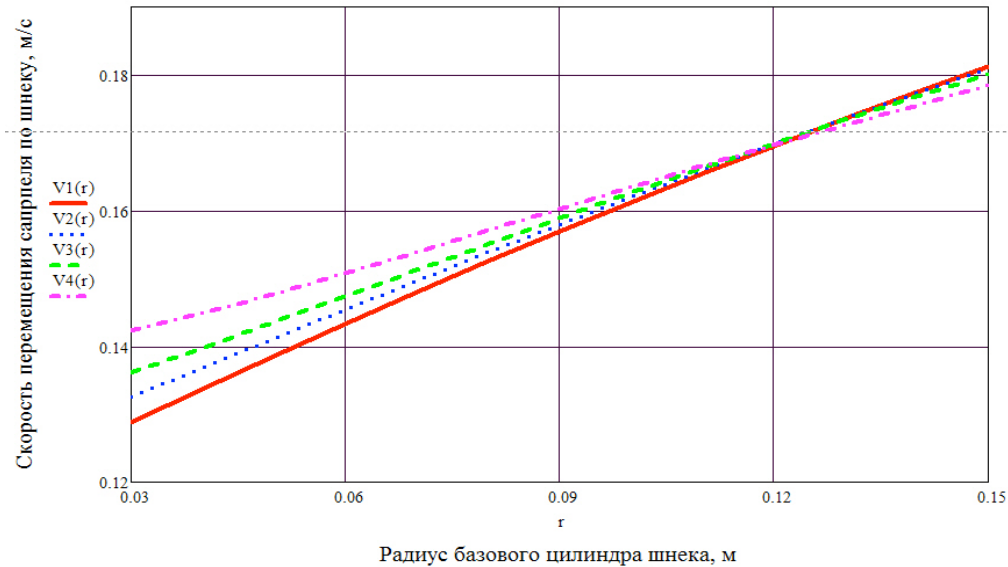
**Рис. 1** Схема сил, действующих на шнековый рабочий орган при взаимодействии с донными отложениями, и исходные данные для математического моделирования

Зависимости скорости перемещения сапропеля по шнеку и момента сопротивления на шнеке от радиуса базового цилиндра шнекового рыхлителя установлены ранее и изложены в работе [2]. На базе программного пакета *MathCAD* построены математические модели взаимодействия шнека со средой - сапропелевыми отложениями (приведены на рис. 2 и рис. 3). Схема действующих на шнековый рабочий орган сил и исходные данные для математического моделирования (параметры шнека и среды) показаны на рис. 1.

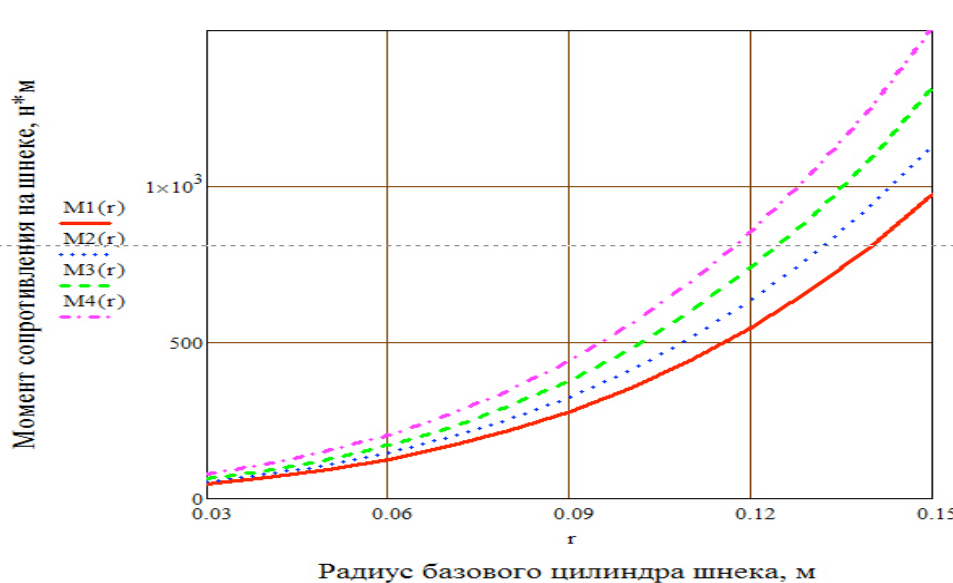
При больших диаметрах происходит интенсивный рост момента сопротивления на шнеке.

При увеличении радиуса шнека на 50% - от 6 до 9 см момент сопротивления возрастает тоже на 50%, а при увеличении на 25% от 12 до 15 см момент возрастает уже на 83%.

Поэтому при больших диаметрах потребуется значительное увеличение мощности на привод.



**Рис. 2. Зависимость скорости перемещения сапропеля по шнеку от радиуса базового цилиндра шнека**

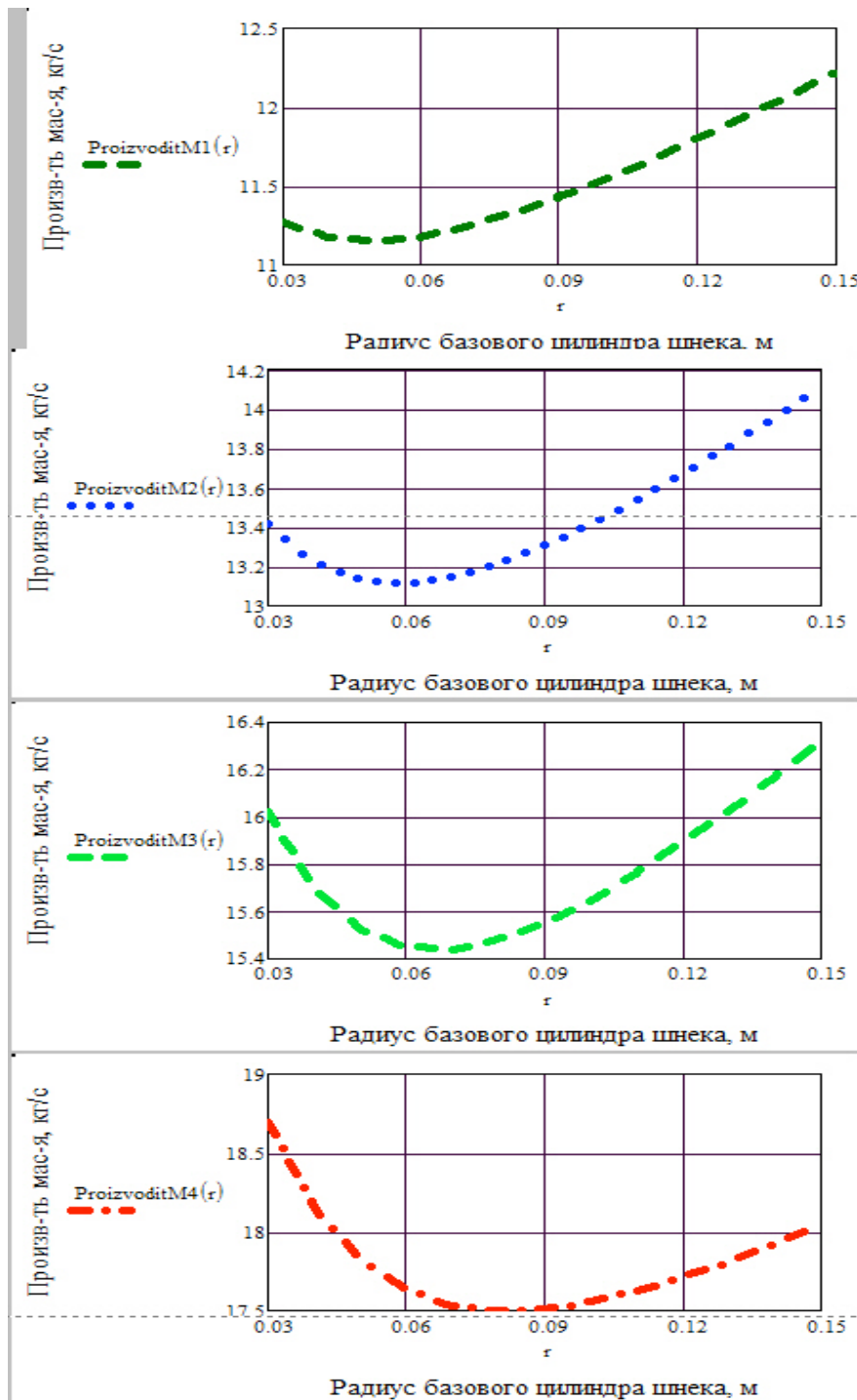


**Рис. 3 Зависимость момента сопротивления на шнеке от радиуса базового цилиндра шнека**

На рис. 4 и 5 приведены зависимости массовой производительности шнекового рабочего органа и объемной производительности шнекового рабочего органа от радиуса базового цилиндра шнекового рыхлителя, построенные в моделирующей программе *MathCAD*.

На разных типах донных отложений зависимость массовой производительности шнекового рабочего органа от радиуса базового цилиндра имеет четко выраженный минимум.

По мере увеличения плотности сапропелевых отложений минимум массовой производительности шнекового рабочего органа приходится на больший диаметр шнека.

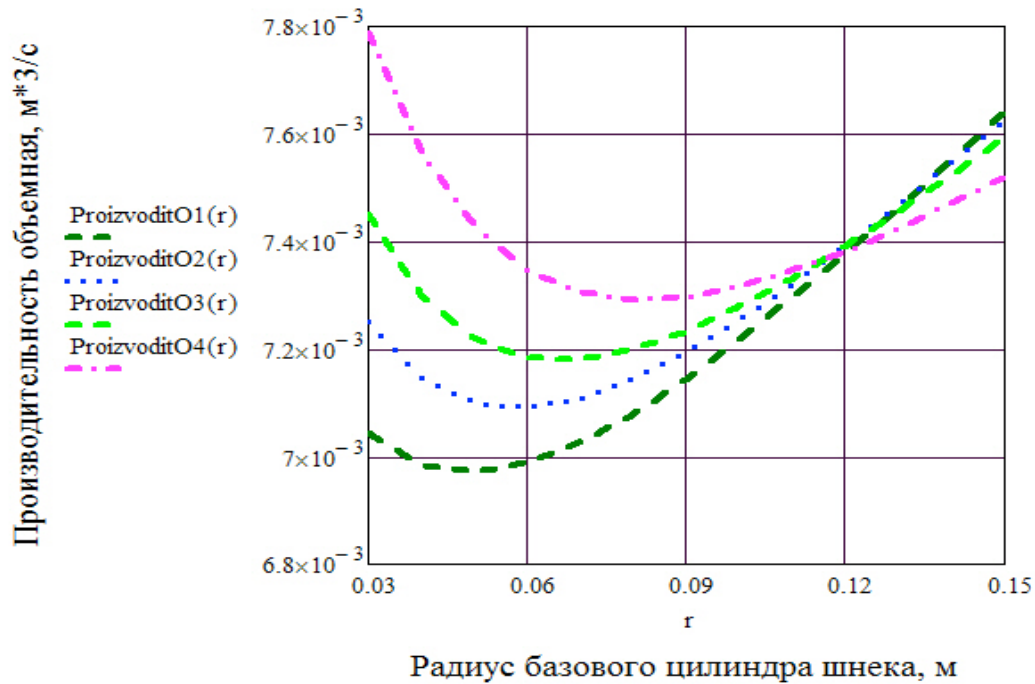


**Рис. 4. Зависимость массовой производительности шнекового рабочего органа от радиуса базового цилиндра для 4х типов сапропелей**

Поэтому для жидких сапропелей можно рекомендовать диаметр шнека больше 12 см, в то время как для самых плотных сапропелей диаметр шнека необходимо выбирать больше 24 см.

При диаметре шнека 24 см массовая производительность шнекового рабочего органа (с выбранными геометрическими и кинематическими параметрами) совпадает для всех четырех типов сапропелевых отложений.

При увеличении диаметра более 24 см интенсивнее всего растет массовая производительность шнекового рабочего органа на самых жидких сапропелях (с наименьшей плотностью).



**Рис. 5** Зависимость объемной производительности шнекового рабочего органа от радиуса базового цилиндра для 4-х типов сапропелей

Поэтому массовая производительность шнекового рабочего органа на самых жидких сапропелях сильнее всего зависит от диаметра.

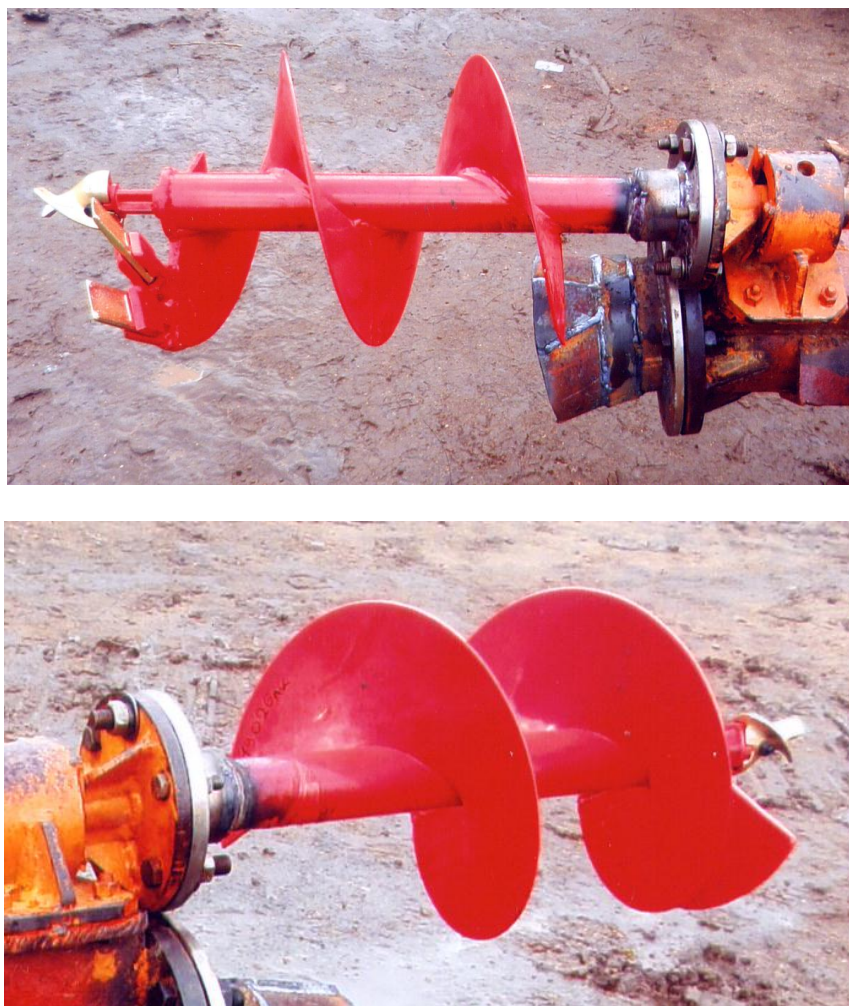
Результаты моделирования процесса перемещения сапропеля шнековым рабочим органом, приведенные на рис. 2–5, подтверждают адекватность разработанных моделей и принятых допущений.

В 2012–2013 годах были проведены экспериментальные исследования с шнековым рабочим органом оригинальной конструкции А.В. Согина (рис. 6) [4]. Экспериментальные исследования проводились на трех типах донных отложений (сапропелей) в водоемах Нижегородской области (в Выксунском, Арзамасском и Дзержинском районах). Предварительный анализ результатов показал удовлетворительную сходимость данных математического и натурального моделирования.

Так же решалась задача исследований – установить аналитические зависимости между прочностными характеристиками вязкопластичного донного сапропелевого отложения и динамикой торможения в нем гравитационного зонда. Свойства сапропелей определяют непосредственно по ускорению (торможению) внедрения сферического зонда в условиях естественного состояния окружающей среды – действительного гидродинамического сопротивления и гидростатического давления. При этом нет необходимости в предварительном исследовании сапропелевого отложения, сравнении ударных импульсов перегрузок деформатора или использования установленных заранее расчетных коэффициентов.

В ходе испытаний определены физико-механические характеристики различных типов донных осадков и отработана методика гравитационного зондирования грунтов.

Натурные испытания донных отложений проводили с понтона, на котором устанавливали регистрирующую аппаратуру, подключенную кабелем к береговой однофазной сети переменного тока напряжением 220 В. Понтон буксировали к месту исследования и после его установки сбрасывали гравитационный зонд с заданной высоты на дно. При этом непрерывно регистрировали ускорение движения зонда до его полной остановки в донном сапропелевом массиве.



**Рис. 6. Шнековый рабочий орган для разработки донных грунтов**

Проведено 127 опробований донных сапропелевых отложений мелководного полигона. Для контроля характеристик донных сапропелевых отложений, полученных гравитационным зондом в условиях естественного залегания, отобраны пробы условно ненарушенной структуры, которые затем исследовали стандартными методами в лабораторных условиях. Вязкость донных сапропелевых отложений определяли ротационным вискозиметром *Pheotest* – 2, сцепление - устройством вращательного среза при помощи цилиндрической крыльчатки. Эти же образцы донных сапропелевых отложений использовали для экспериментального определения сопротивления их разработке на экспериментальном геотехническом модуле.

#### **Библиографический список**

1. **Согин, И.А.** Очистка водоемов и русел малых рек с помощью отечественных технических средств. / И.А. Согин, В.И. Сметанин, А.В. Согин // Академический бизнес-журнал «Экономические стратегии». 2010. №7-8. С. 88–91.
2. **Согин, И.А.** Результаты численного анализа математической модели взаимодействия шнекового рабочего органа с донными отложениями // Проблемы транспортных и технологических комплексов: сб. статей III Международной научно-практической конференции; НГТУ. – Н.Новгород, 2012. С. 102–103.
3. **Согин, И.А.** Система сил, действующих на шнековый рабочий орган / И.А. Согин, В.А. Шапкин // Проблемы транспортных и технологических комплексов: сб. статей III Международной научно-практической конференции; НГТУ. – Н.Новгород, 2012. С. 101–102.

4. **Согин, И.А.** Поисковое проектирование машин и технологий для разработки подводных сапропелевых отложений для очистки водоемов / И.А. Согин, А.В. Согин // Проблемы транспортных и технологических комплексов: сб. статей III Международной научно-практической конференции; НГТУ. – Н.Новгород, 2012. С. 77–86.

*Дата поступления  
в редакцию 30.11.2013*

**I.A. Sogin, V.N. Khudyakov, V.A. Shapkin**

## **INFLUENCE OF RADIUS OF THE SCREW BASIC CYLINDER OF THE RIPPER ON PROCESS OF ITS INTERACTION WITH GROUND DEPOSITS**

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

**Purpose:** to receive the results of modeling the process of sapropel movement by screw working body.

**Design/methodology/approach:** the choice of working body with rational design data is very important for cleaning small reservoirs and developing ground sediments. For determination of the parameters of the screw working body, using at sapropel's spoil, the mathematical model was developed.

**Findings:** dependences between movement velocity of sapropel on the screw, resistance moment on the screw and the mass productivity of the screw working body, volume productivity of the screw working body from the radius of the basic cylinder of the screw ripper, constructed in the modeling MathCAD program are received.

**Research limitations/simplifications:** 127 approbations of ground sapropelic sediments of the shallow range are carried out. Viscosity of ground sapropelic deposits determined by the rotational Rheotest viscometer, coupling - the device of a rotary cut by means of a cylindrical krylchatka. The same models of ground sapropelic deposits used for experimental determination of resistance to their development on the experimental geotechnical module.

**Originality/value:** Results of modeling of process of movement of sapropel confirm with screw working body adequacy of the developed models and the accepted assumptions.

*Key words:* sapropel, screw rotor, resistance moment, mass productivity, volume productivity, radius of the basic cylinder.



УДК 629.3

А.В. Артюшкин, И.А. Ерасов, А.В. Янкович

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРИЖИМНОГО ДВИЖИТЕЛЯ  
СО СФЕРИЧЕСКОЙ ОПОРНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Статья посвящена вопросам взаимодействия колёсных движителей со специфической поверхностью движения – поверхностью трубопроводов. Проведён анализ параметров взаимодействия, на основании которого определены задачи по оптимизации конструкции движителя.

*Ключевые слова:* движитель радиус кривизны поверхности, удельная нагрузка, сила смятия.

В настоящее время в качестве движителей, применяемых для ремонта и содержания трубопроводов, применяются колёсные и шагающие движители [3,5], причём для большинства машин выбор останавливается на колёсном движителе и только для подкопной машины, работа которой связана с развитием значительного тягового усилия, применяется шаговый движитель с гидравлическим приводом. Применение иных типов движителей, например, гусеничных, дальше опытных образцов не пошло.

Вместе с тем анализ выполненных работ позволяет сделать вывод о том, что выбор типов движителей основывается не на разработанных теориях взаимодействия движителей с поверхностью трубопроводов, а исключительно на основании практического применения машин различных типов, поэтому научно-обоснованных работ, которые бы обосновывали рациональные границы применения тех или иных движителей, в настоящее время не имеется.

Анализ работы движителей позволил в качестве критерия выбрать экономическую эффективность работы движителя, а именно мощность, затрачиваемую на перемещение машины. Следует отметить, что достоверные данные по сравнению качества работы движителя может быть получены только при сопоставимых скоростях движения машин. Таким образом, в связи с тем, что если разделить мощность на скорость движения будет получена величина силы сопротивления движению, то есть наиболее адекватным показателем эффективности работы движителя будет соотношение силы тяги, развиваемой движителем, к силе сопротивления движению, которое соответствует данным условиям работы.

Из условия не повреждения трубопровода минимально-возможная ширина колеса с поверхностью трубопровода может быть найдена из уравнения:

$$\sigma_{CM} = \frac{Q}{S = \frac{\pi}{4} b 2l},$$

где  $Q$  – нагрузка на колесо,  $S$  – площадь контакта колеса с поверхностью трубопровода, равная произведению максимальной ширины контакта  $b$  на максимальную длину контакта  $2l$  и умноженное на число  $\pi/4$ , которое учитывает, что площадь контакта представляет собой не прямоугольник, а эллипс.

На рис. 1 приведена расчётная схема к определению нагрузок, действующих на колёсный движитель с эластичной оболочкой, где  $h_{MAX}$  – максимальная деформация оболочки колеса;  $h$  – деформация оболочки колеса в произвольной точке;  $q$  – удельная нагрузка на длине контакта, размерностью Н/м,  $U$  – модуль Юнга оболочки колеса, находящийся в пределах от 0,007 до  $4 \cdot 10^4$  МПа (70 – 40000 кг/см<sup>2</sup>[7]).

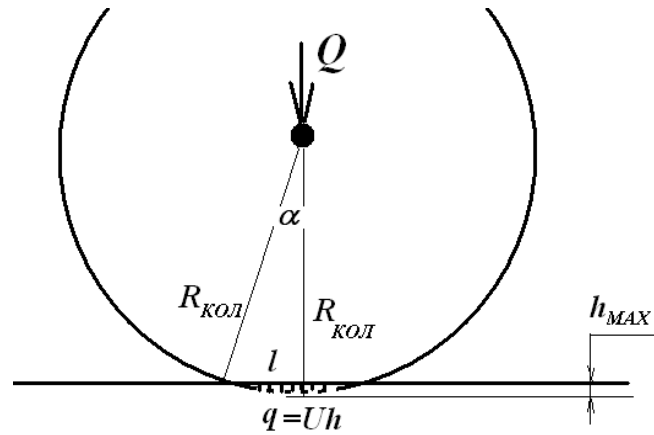


Рис. 1. Расчётная схема к определению нагрузок, действующих на колёсный движитель с эластичной оболочкой

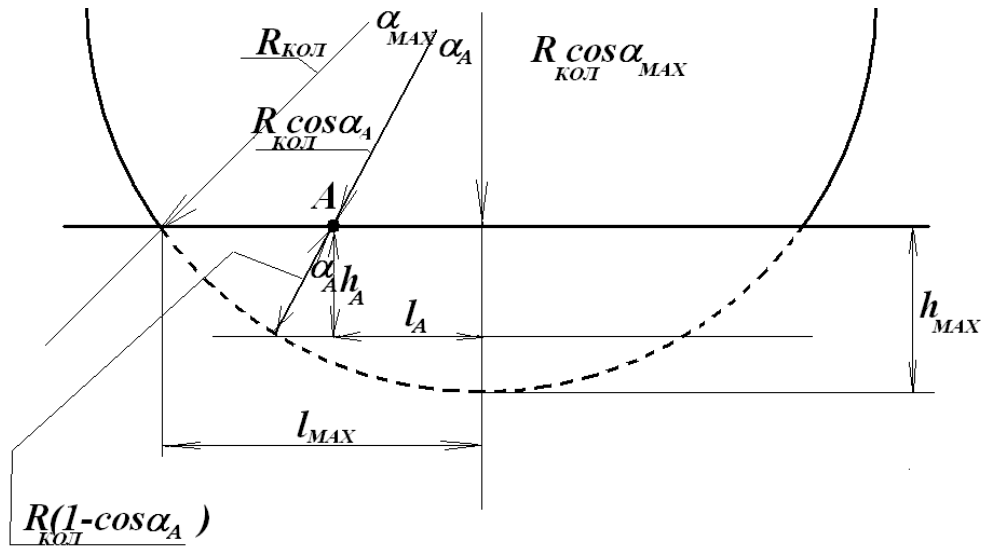


Рис. 2. Схема к определению величины вертикальной деформации в произвольной точке контакта колеса

Тогда глубина деформации колеса может быть определена из выражения:

$$Q = Uh2l = 2U \int_0^l h(l)dl = 2U \int_0^{l_{MAX}} R_{КОЛ} (1 - \cos \alpha) \cos \alpha dl .$$

Для малых углов справедливо замечание, что  $\alpha = \sin \alpha$ , то есть для рассматриваемого случая:  $\alpha = \frac{l}{R_{КОЛ}}$ , тогда:

$$\begin{aligned} Q &= 2UR_{КОЛ} \left( \int_0^{l_{MAX}} \cos \frac{l}{R_{КОЛ}} dl - \int_0^{l_{MAX}} \cos^2 \left( \frac{l}{R_{КОЛ}} \right) dl \right) = \\ &= 2UR_{КОЛ}^2 \left( \int_0^{l_{MAX}/R_{КОЛ}} \cos \frac{l}{R_{КОЛ}} dl - \int_0^{l_{MAX}/R_{КОЛ}} \cos^2 \left( \frac{l}{R_{КОЛ}} \right) dl \right) = 2UR_{КОЛ}^2 \left( \sin \frac{l_{MAX}}{R_{КОЛ}} - \frac{1}{2} \left( \frac{l_{MAX}}{R_{КОЛ}} + \sin 2 \frac{l_{MAX}}{R_{КОЛ}} \right) \right). \end{aligned}$$

Опять же учитывая, что для малых углов справедливо:  $\frac{l_{MAX}}{R_{КОЛ}} = \sin \frac{l_{MAX}}{R_{КОЛ}}$  получаем:

$$Q = 2UR_{КОЛ}^2 \left( \frac{l_{MAX}}{R_{КОЛ}} - \frac{1}{2} \left( \frac{l_{MAX}}{R_{КОЛ}} + \frac{2l_{MAX}}{R_{КОЛ}} \right) \right) = 2U \left( -\frac{l_{MAX}}{2} \right) = -UR_{КОЛ}l_{MAX},$$

знак «-» в данном выражении указывает на то, что направления действия силы  $Q$  и реакции со стороны оболочки колеса имеют противоположное направление. Тогда необходимая ширина колеса может быть определена из условия, приведённого ранее:

$$\sigma_{CM} = \frac{Q}{S} = \frac{Ul_{MAX}R_{КОЛ}}{\frac{\pi}{4} 2bl_{MAX}} \rightarrow b = \frac{2UR_{КОЛ}}{\pi\sigma_{CM}}.$$

Особенностью взаимодействия движителя с поверхностью трубопровода является то, что поверхность контакта зависит не только от ширины движителя, но и от диаметра трубопровода, а также максимальной величины деформации оболочки колеса. Соотношение данных параметров можно определить из схемы, показанной на рис. 3.

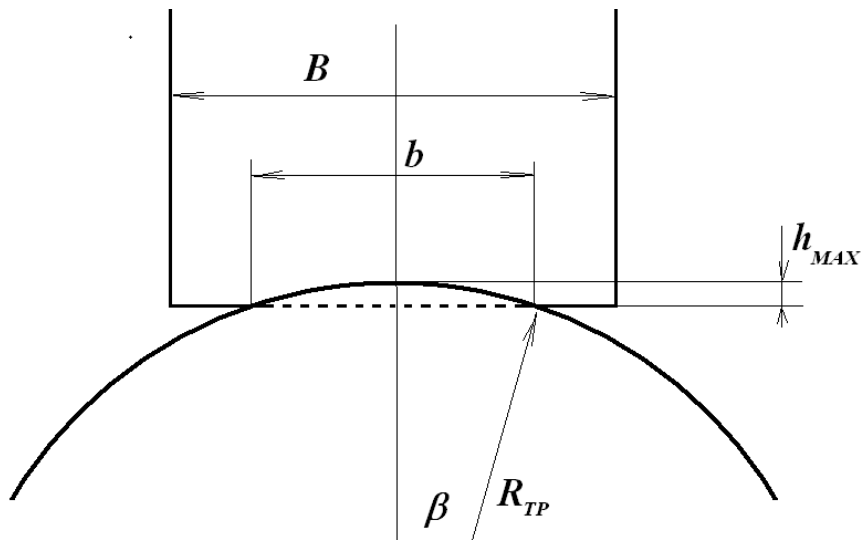


Рис.3. Схема к определению зависимости между эффективной шириной контакта колеса с трубопроводом и диаметром трубопровода

Из приведённой схемы видно, что зависимость между эффективной шириной контакта колеса с трубопроводом  $b$  и диаметром трубопровода  $R_{TP}$  будет иметь вид:

$$R_{TP}^2 = \left( \frac{b}{2} \right)^2 - (R_{TP} - h_{MAX})^2,$$

то есть:

$$\begin{aligned} R_{TP}^2 &= \left( \frac{b^2}{4} \right) - R_{TP}^2 + 2R_{TP}h_{MAX} - h_{MAX}^2, \\ &= \left( \frac{b^2}{4} \right) + 2R_{TP}h_{MAX} - h_{MAX}^2, \end{aligned}$$

откуда:

$$b = 2\sqrt{2R_{TP}^2 + h_{MAX}^2 - 2R_{TP}h_{MAX}}.$$

Приравнивая полученную зависимость к величине ширины движителя, полученной при расчёте на смятие, получим:

$$b = \frac{2UR_{КОЛ}}{\pi\sigma_{СМ}} = 2\sqrt{2R_{TP}^2 + h_{MAX}^2 - 2R_{TP}h_{MAX}},$$

$$\frac{UR_{КОЛ}}{\pi\sigma_{СМ}} = \sqrt{2R_{TP}^2 + h_{MAX}^2 - 2R_{TP}h_{MAX}}.$$

С учётом наличия взаимосвязи между величиной максимальной деформации  $h_{MAX}$  и величиной нагрузки на колесо  $Q$ , описываемой при помощи уравнения:

$$Q = UR_{КОЛ}l_{MAX} \rightarrow l_{MAX} = \frac{Q}{UR_{КОЛ}}; \quad h_{MAX} = R_{КОЛ}(1 - \cos \alpha) = R_{КОЛ}\left(1 - \cos \frac{l_{MAX}}{R_{КОЛ}}\right).$$

Откуда:

$$h_{MAX} = R_{КОЛ}\left(1 - \cos \frac{Q}{UR_{КОЛ}}\right).$$

Подставляя данную зависимость в уравнение, связывающее модуль Юнга и максимальную величину деформации, получим:

$$\frac{UR_{КОЛ}}{\pi\sigma_{СМ}} = \sqrt{2R_{TP}^2 + \left(R_{КОЛ}\left(1 - \cos \frac{Q}{UR_{КОЛ}}\right)\right)^2 - 2R_{TP}\left(R_{КОЛ}\left(1 - \cos \frac{Q}{UR_{КОЛ}}\right)\right)},$$

$$\left(\frac{UR_{КОЛ}}{\pi\sigma_{СМ}}\right)^2 = 2R_{TP}^2 + \left(R_{КОЛ}\left(1 - \cos \frac{Q}{UR_{КОЛ}}\right)\right)^2 - 2R_{TP}\left(R_{КОЛ}\left(1 - \cos \frac{Q}{UR_{КОЛ}}\right)\right),$$

или:

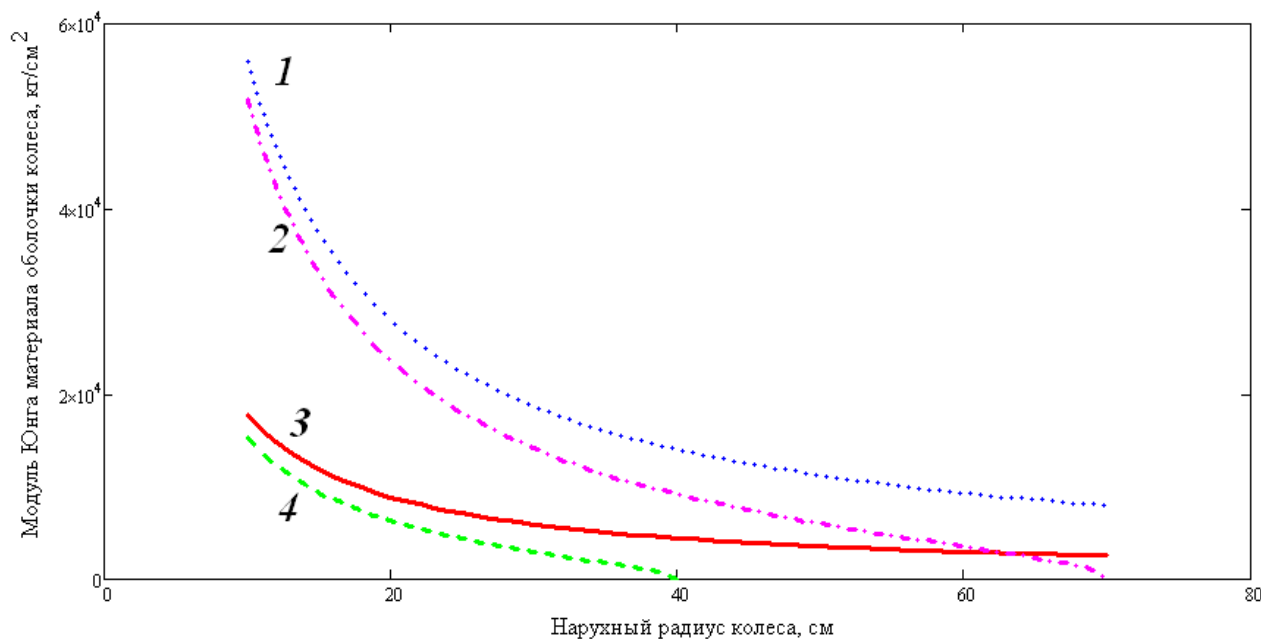
$$\left(\frac{U}{\pi\sigma_{СМ}}\right)^2 = 2\left(\frac{R_{TP}}{R_{КОЛ}}\right)^2 + \left(1 - \cos \frac{Q}{UR_{КОЛ}}\right)^2 - 2\left(\frac{R_{TP}}{R_{КОЛ}}\right)\left(1 - \cos \frac{Q}{UR_{КОЛ}}\right).$$

Так как величина значения параметра  $\left(1 - \cos \frac{Q}{UR_{КОЛ}}\right)$  исходя из правил геометрии будет из-

меняться в пределах от 0 до 1, то полученное уравнение можно записать исходя из максимальной и минимальной величины модуля Юнга:

$$\begin{cases} U_{MAX} = \sqrt{2} \frac{\pi\sigma_{СМ}}{R_{КОЛ}} R_{TP} \\ U_{MIN} = \sqrt{2} \frac{\pi\sigma_{СМ}}{R_{КОЛ}} \sqrt{R_{TP}^2 - R_{TP}R_{КОЛ}} \end{cases}$$

Решения данного уравнения показаны на рис. 4.



**Рис. 4. Зависимость требуемой величины модуля Юнга материала оболочки колеса от его радиуса:**

- 1 – максимальное значение для труборвода, диаметром 1400 мм (радиус 70 см);
- 2 – минимальное значение для труборвода, диаметром 1400 мм (радиус 70 см);
- 3 – максимальное значение для труборвода, диаметром 800 мм (радиус 40 см);
- 4 – минимальное значение для труборвода, диаметром 800 мм (радиус 40 см)

### Вывод

Полученные данные свидетельствуют о том, что для колёс малого диаметра на больших труборводах допустима установка оболочки из монолитной резины, полистирола и других подобных материалов. Применение больших колёс требует применение конструкций оболочек шинного типа, обладающих низкими значениями модуля Юнга. Для расчёта взаимодействия таких колёс с поверхностью труборвода наиболее правильной будет применение математической модели Я.С. Агейкина, учитывающей величину деформации шины при движении по жёсткой поверхности труборвода.

### Библиографический список

1. Агейкин, Я.С. Проходимость автомобилей / Я.С. Агейкин. – М.: Машиностроение, 1981. – 227 с.
2. Бархтанов, Л.В. Проходимость автомобилей: учеб. пособие / Л.В. Бархтанов, В.В. Беляков, В.Н. Кравец; НГТУ. – Н. Новгород, 1996. – 200 с.
3. Движители специальных строительных и дорожных машин: учеб. пособие / В.Е. Колотилин [и др.]; НГТУ. – Н.Новгород, 1995. – 208 с.
4. Кудин, В.О. Обеспечение долговечности труборводов в условиях длительного нагружения: автореферат дисс. ... кандидата технических наук: 25.00.19 – Тюмень: Тюмен. гос. нефтегаз. ун-т, 2006. – 161 с.
5. МДС 12-20.2004 Механизация строительства. Организация диагностирования строительных и дорожных машин. Диагностирование гидроприводов. – М.: Транспорт, 2004. – 154 с.
6. Мыльников, Н.А. Разработка методики расчета рациональных параметров специального каткового движителя ледорезной установки: дисс. ... на соиск. ученой степ. канд. техн.

наук:05.05.04/НГТУ; Науч. рук. А.П.Куляшов. - Защищена 30.06.04. – Н.Новгород, 2004. – 192 с.:ил. - Библиогр.: с. 154-160.-Прил.: с.161-192.

7. Новый политехнический словарь / под ред. А.Ю. Ишлинского. – М.: «Большая Российская энциклопедия», 2000. – 650 с.

*Дата поступления  
в редакцию 30.11.2013*

**A.V. Artyushkin, I.A.Erasov, A.V.Jankovic**

## **MODELLING OF INTERACTION OF THE CLAMPING PROPELLER WITH THE SPHERICAL BASIC SURFACE**

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

**Purpose:** to study the problem of interaction between wheel and the specific surface of movement – a surface of pipelines.

**Design/methodology/approach:** the most adequate indicator of overall performance of the propeller this ratio of force of the draft developed by the propeller, to force of resistance to movement which meets the case works.

**Findings:** Based on the analysis of interaction parameters between the wheel and the specific surface of movement – a surface of pipelines, the tasks for design optimization of the wheel to its working conditions are defined.

**Research limitations/simplifications:**The implementation of big wheel require the use of the tire type covers, which have low values of the Young's module. The most correct mathematical model for calculation of the interaction between described wheels and the surface of the pipeline is Ageykin's model, which consider the size of the tire deformation, during its movement on a rigid surface of the pipeline.

**Originality/value:**The obtained data shows that for wheels with small diameter on big pipelines it is possible to mount the cover of monolithic rubber, polystyrene or other similar materials.

*Key words:* wheel, the curvature radius of a surface, specific loading, crushing force.

УДК 629.3

Ю.В. Кошелев, Л.С. Левшунов, Ю.И. Молев

**УСИЛИЕ НА РАБОЧЕМ ОРГАНЕ СНЕГОУБОРОЧНОЙ МАШИНЫ  
И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА КАЧЕСТВО УДАЛЕНИЯ СНЕГА  
С ОЧИЩАЕМОЙ ПОВЕРХНОСТИ**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Статья посвящена вопросам моделирования движения кромки отвала по очищаемой поверхности дороги под действием силы тяги, развиваемой базовой машиной, массы отвала и силы сопротивления со стороны снега.

*Ключевые слова:* дорога, снег, плужный отвал, усилия, качество очистки.

Величина аварийности на дорогах Российской Федерации не может быть признана удовлетворительной. Несмотря на то, что в нашей стране действует то одна, то другая государственная программа по снижению количества пострадавших на дорогах, кардинального изменения ситуации добиться не удалось. Поэтому разработка комплекса мероприятий, позволяющего на определённом этапе снизить риск попадания в ДТП, является актуальной научно-практической задачей. Анализ причин возникновения аварий показывает, что важнейшее место в развитии дорожно-транспортной ситуации занимает состояние дорожного покрытия. Уменьшение сцепления колеса с дорогой вследствие наличия на ней уплотнённого снега или льда приводит к увеличению тормозного пути и безопасного радиуса поворота в 3-9 раз. Снежные заносы вдоль дороги снижают видимость и могут уменьшать используемую ширину проезжей части дороги. Кроме того, наличие колеи, выбоин, ямочности и других неровностей на дорогах, покрытых снежным или ледяным накатом, может привести к потере водителем контроля над траекторией движения и управляемостью автомобиля.

По данным ГИБДД РФ около 20% аварий происходит по причине неблагоприятных дорожных условий и из них более 70% (15% от общего числа ДТП) приходится на заснеженные дорожные покрытия, 5% на дорожные покрытия, частично покрытые снегом или льдом и 1% на покрытия, которые по другим причинам были скользкими.

Одним из основных путей повышения безопасности дорожного движения на таких дорогах является удаление снега плужными рабочими органами.

Удаление снега, находящегося на поверхности автомобильных дорог, плужным рабочим органом имеет ряд особенностей, обусловленных физико-механическими свойствами льда, снега и дорожной одежды, кинематическими параметрами рабочего процесса и расположения рабочего органа относительно снежно-ледяного покрова в процессе его удаления. Весь процесс удаления снега можно разделить на два относительно независимых процесса: взаимодействие рабочего органа со снегом и льдом и взаимодействие рабочего органа с асфальтобетонной поверхностью. Причём параметры рабочего органа и режимы его эксплуатации в обоих случаях взаимодействия будут идентичны. Целью исследований, описываемых в данной работе, является определение таких параметров подвески плужного рабочего органа и его режимов работы, при которых достигается максимально эффективное удаление снежно-ледовых образований с поверхностей дорог при безусловном соблюдении целостности дорожной одежды.

Результаты многочисленных исследований однозначно указывают на то, что наиболее сложным с точки зрения разрушения является уплотнённый снег, имеющий прочность при температуре 0°С до 0,86 МПа и величину адгезии к бетонной поверхности до 1 МПа. Все остальные образования рыхлого снега (свежевывающего, экскавационно-разрушенного, ме-

телевого и др.) обладают значительно меньшей стойкостью к механическому разрушению. Наиболее вероятно образование уплотнённого снега высотой 0,01-0,03 метра, а в некоторых случаях и до 0,1 м. Образование более значительных отложений возможно только при значительных перерывах в обслуживании очищаемой поверхности. В общем виде схема сил, действующих на рабочий орган в процессе удаления снега, показана на рис. 1.

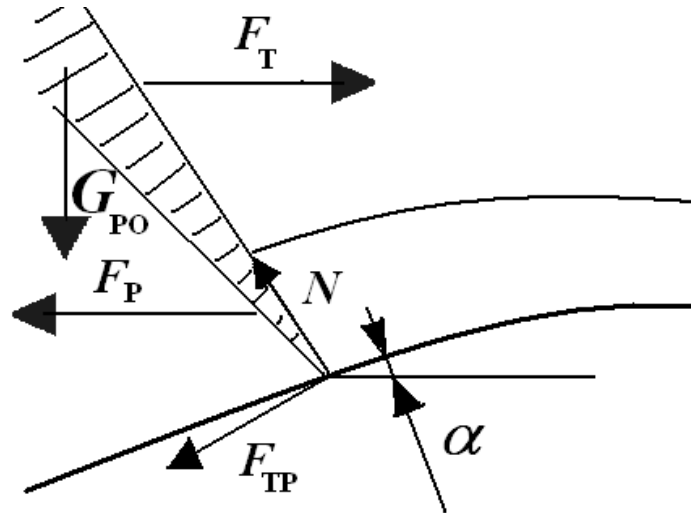


Рис. 1. Схема сил, действующих на рабочий орган при удалении снежного покрова

При равномерном движении автомобиля проекция всех сил на горизонтальную ось должна равняться 0, тогда проекция суммы сил на вертикальную ось примет вид:

$$G_{PO}g + F_{TP} \sin \alpha - N \cos \alpha = F_{\Sigma}^V; \quad \text{или:} \quad G_{PO}g + N(f \sin \alpha - \cos \alpha) = F_{\Sigma}^V. \quad (1)$$

Следует отметить, что на процесс взаимодействия отвала с очищаемой поверхностью будет оказывать влияние и такой параметр, как способ установки отвала, а именно расстояние от шарнира до режущей кромки (см. рис. 2). В дополнение к использованным обозначениям на рисунке обозначены:  $z_{III}$  - вертикальное перемещение упряжного шарнира;  $z_{PO}$  - искомое перемещение режущей кромки рабочего органа;  $N_y$  - вертикальная составляющая реакции режущей кромки на очищаемую поверхность;  $l_4$  - расстояние от горизонтальной оси упряжного шарнира до горизонтальной оси режущей кромки.

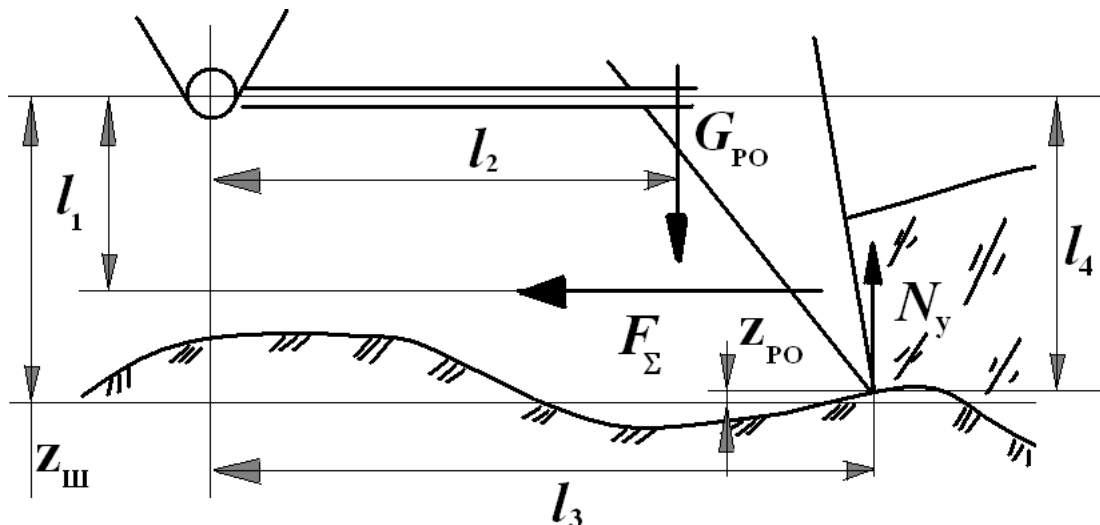


Рис. 2. Схема сил, действующих на отвал, шарнирно закреплённый на снегоуборочной машине



Из представленной схемы видно, что не вся масса рабочего органа участвует в прижатии рабочего органа к очищаемой поверхности. Действительную величину прижатия можно определить, составив уравнение моментов вокруг упяжного шарнира:

$$G_{PO}l_2 \cos \alpha_1 \pm F_{\Sigma}^X l_1 - N_Y l_3 \cos \alpha_1 = 0, \quad (2)$$

где  $\alpha_1$  – угол наклона отвала относительно упяжного шарнира, равный  $\arccos \frac{z_{III} - z_{PO}}{l_4}$ .

Знак  $\pm$  показывает разницу в характере движения отвала при расположении упяжного шарнира до и после режущей кромки. Изменение усилия прижатия  $\Delta N/N_Y$  можно определить, спроектировав все силы на вертикальную ось:  $\Delta N + N_Y = G_{PO}$ , тогда уравнение 2 может быть записано в виде:

$$G_{PO} = \frac{N_Y l_3 \cos \alpha_1 \pm F_{\Sigma}^X l_1}{l_2 \cos \alpha_1}. \quad (3)$$

С учётом того, что  $N_Y = G_{PO}(g + z''/l)$ , дифференциальное уравнение движения рабочего органа примет вид:

$$G_{PO}l_2 = G_{PO}l_3 + G_{PO}l_3 \frac{z''_{PO}}{g} \pm F_{\Sigma}^X \frac{l_1}{l_4} (z_{III} - z_{PO}) \quad (4)$$

или:

$$z''_{PO} = g \left( \frac{l_2}{l_3} \pm \frac{F_{\Sigma}^X}{G_{PO}} \frac{l_1}{l_3} \frac{z_{III} - z_{PO}}{l_4} - 1 \right). \quad (5)$$

Суммарная горизонтальная сила состоит из силы тяги, развиваемой машиной, усилия резания снега и силы трения отвала по очищаемой поверхности (см. рис. 2). Величина этой силы может быть найдена из уравнения:

$$F_{\Sigma}^X = \varphi \frac{G_{CM}}{G_{PO}} - F_P - ftg \left( -A \left( \frac{v_{PO}}{l} \right) \sin \left( \frac{v_{PO}}{l} t \right) \right) - f \frac{F_P}{G_{PO}} \sin \left( \frac{v_{PO}}{l} t \right), \quad (6)$$

где  $\varphi$  – коэффициент сцепления колёс автомобиля с дорогой,  $f$  – коэффициент трения между отвалом и очищаемой поверхностью,  $G_{CM}$  – вес снегоуборочной машины,  $v_{PO}$  – скорость движения рабочего органа,  $A$  – половина амплитуды колебаний очищаемой поверхности,  $l$  – длина волны колебания очищаемой поверхности.

Разрушение льда и снега плужным рабочим органом осуществляется при помощи двух относительно независимых движений плуга – вертикального и горизонтального.

Приведённые формулы справедливы для условий взаимодействия рабочего органа со снежным покровом постоянной толщины. При этом во многих работах установлено, что форма и размер снега на дорогах определяются формой и размером препятствий и их ориентацией по отношению к направлению ветра. Рихтер [6], классифицируя заносы, выделил две общие группы: снежные барханы (заносы, имеющие в плане форму полумесяца), образующиеся под действием сильных порывистых ветров, и снежные волны, формирующиеся под действием умеренных ветров, способных, однако, переносить огромные массы рыхлого снега. Форма и размер не попадающих в эти две группы заносов могут сильно меняться. Типичные формы заносов, образующихся при наличии нескольких основных типов препятствий. У основания вертикальной стенки, перпендикулярной ветровому потоку, образуется выемка. В результате завихрений снег выдувается из выемки и откладывается на участках по направлению движения ветрового потока. С подветренной стороны вертикальной стенки обычно об-

разуется снежный карниз и снежный надув. Сходная форма отложений образуется при наличии узкой гряды с крутым подветренным склоном; противоположный эффект наблюдается при наличии крутого наветренного склона.

Горизонтальные размеры заносов, образующихся с подветренной стороны низких препятствий, могут более чем в 10 раз превышать высоту этих препятствий. Вблизи препятствий высотой до 2 м высота заносов возрастает прямо пропорционально их высоте. При наличии более высоких препятствий, возвышающихся над насыщенным снегом ветровым потоком, эта связь нарушается, и увеличение размеров заносов с ростом высоты препятствий становится менее выраженным. Если высота препятствия достаточна для того, чтобы оно не было погребено под формирующимися во время метелей заносами, то заносы растут до определенной высоты.

При отсутствии на дорогах и поверхностях аэродромов значительных препятствий характер распределения снега принято описывать выражением[5]:

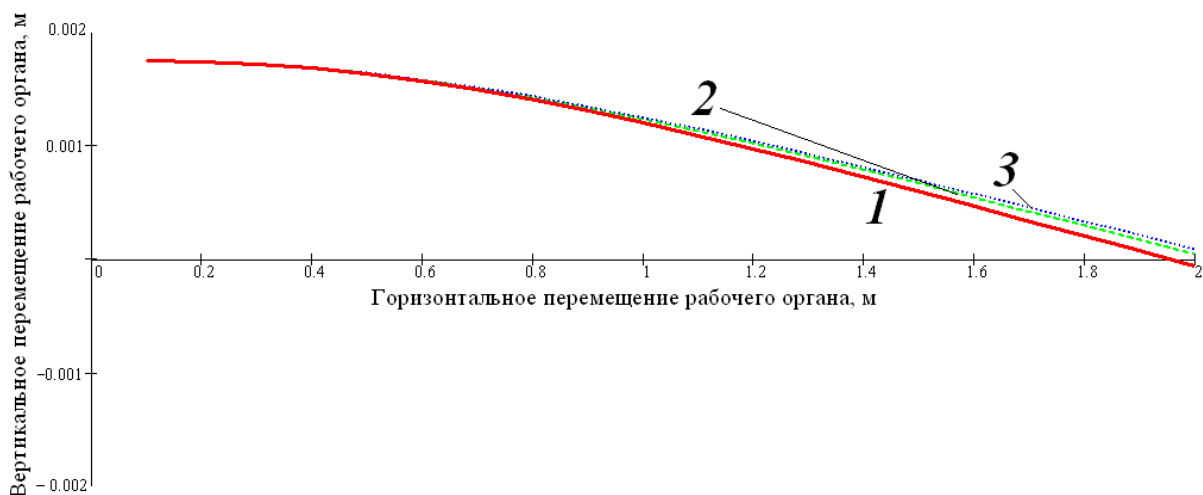
$$\Delta_i(l) = 0,25 \sin(20vl). \quad (7)$$

Тогда уравнение 5 с учётом уравнения 7, а также уравнений, применявшихся в работах В.Ф. Кулепова, А.Р. Пуртова, С.Ю. Маленкова, А.М. Соколова [1,2,5], позволяющих оценить усилие разрушения снежного покрова приобретёт вид:

$$z_{PO}'' = \left( \frac{l_2}{l_3} \cos\left(\sin\left(\frac{v_{PO}}{l} t\right)\right) - 1 \right) g \pm \frac{F_{\Sigma} \left( h_c + A_1 \cos\left(\frac{v_{PO}}{l'} t\right) - z_{PO} + A \cos\left(\frac{v_{PO}}{l} t\right) \right)^{0,47} + G_{CM} \frac{dv}{dt}}{G_{PO}} \times \quad (8)$$

$$\times \operatorname{tg}\left(-A \left(\frac{v_{PO}}{l}\right) \sin\left(\frac{v_{PO}}{l} t\right)\right) \frac{l_1}{l_3 \cos \alpha_1},$$

где  $F_{\Sigma}$  – эквивалентное усилие резания уплотнённого снега равное его жёсткости,  $h_c$  – высота снежного покрова, а  $A_1$  – амплитуда его колебаний по высоте, а  $l'$  – длина одного периода колебаний. Решение данного уравнения в зависимости от толщины удаляемого экскавационно-разрушенного снежного покрова показано на рис. 3. Полученные данные свидетельствуют, что наличие или отсутствие слоя свежеснежавшего или экскавационно-разрушенного снега практически не оказывает влияния на качество снегоочистки.



**Рис. 3. Влияние толщины рыхлого снежного покрова на качество очистки дороги:**

1 – при отсутствии снега на дороге; 2 – при толщине слоя снега, равной 0,1 м;

3 – при толщине снежного покрова, равной 0,2 м

Следует отметить, что при расположении упряжного шарнира позади режущей кромки, все силы будут стремиться придать ускорение режущей кромки рабочего органа вниз. При этом высота действия суммарной силы сопротивления останется прежней (или даже сместится вниз за счёт возрастания силы трения отвала об очищаемую поверхность), расстояния между упряжным шарниром и центром масс отвала и его режущей кромкой уменьшатся пропорционально друг другу. Тем самым, в результате заглубления отвала силы, стремящиеся к его заглублению, только увеличатся (см. уравнение 5), что только ускорит его заглубление, которое будет продолжаться до того момента, пока сила сопротивления движению не превысит силу тяги снегоуборочной машины, что вынудит её остановиться. Следует признать, что применение упряжного шарнира позади режущей кромки рабочего органа можно допустить, если перемещение отвала вниз ограничено подстилающей поверхностью, внедрение в которую рабочему органу невозможно и максимальная величина силы сопротивления перемещения рабочего органа меньше силы тяги, развиваемой транспортным средством. Максимальная величина силы сопротивления перемещению отвала в данном случае может быть получена из уравнения, частично полученного с использованием результатов работы [5]:

$$F_{\Sigma MAX}^X = K_{Ж}((h_c + A)^{0,47})B(1 + 0,1v_{PO}) \left[ \sqrt{\alpha_P} \left( \frac{0,35}{\sin^2 \alpha_P} + \frac{0,35}{\cos \alpha_P} \right) + fG_{PO} \frac{l_2}{l_3} \frac{z_{ПОМАХ}''}{g} \right], \quad (9)$$

где  $B$  – ширина отвала, а  $\alpha_P$  – действительный угол резания, равный сумме конструктивного угла резания  $\alpha_K$  и угла наклона отвала  $\alpha_1$ . Исходя из того, что минимальное усилие резания достигается при угле резания, равно  $45^\circ$  (0,8 рад) [5], то уравнение 9 может быть переписано в виде:

$$F_{\Sigma MAX}^X = K_{Ж}((h_c + A)^{0,47})B(1 + 0,1v_{PO}) \left[ \sqrt{0,8 + \alpha_1} \left( \frac{0,35}{\sin^2(0,8 + \alpha_1)} + \frac{0,35}{\cos(0,8 + \alpha_1)} \right) + fG_{PO} \frac{l_2}{l_3} \frac{z_{ПОМАХ}''}{g} \right]. \quad (10)$$

Тогда минимально возможное усилие на рабочем органе может быть найдено из уравнения:

$$F_{\Sigma MIN}^X = K_{Ж}((h_c - A - Z_{PO})^{0,47})B(1 + 0,1v_{PO}). \quad (11)$$

Уравнение изменения усилия на рабочем органе тогда может быть аппроксимировано выражением:

$$F = F_{\Sigma C}^X + A_F \cos\left(\frac{v_{PO}}{l} t\right), \quad (12)$$

где  $A_F$  – амплитуда колебания усилия на рабочем органе, а  $F_{\Sigma C}^X$  – среднее значение усилия на рабочем органе, которые могут быть найдены из следующих уравнений:

$$F_{\Sigma C}^X = 0,5(F_{\Sigma MAX}^X + F_{\Sigma MIN}^X); \quad \text{и} \quad A_F = 0,5(F_{\Sigma MAX}^X - F_{\Sigma MIN}^X). \quad (13)$$

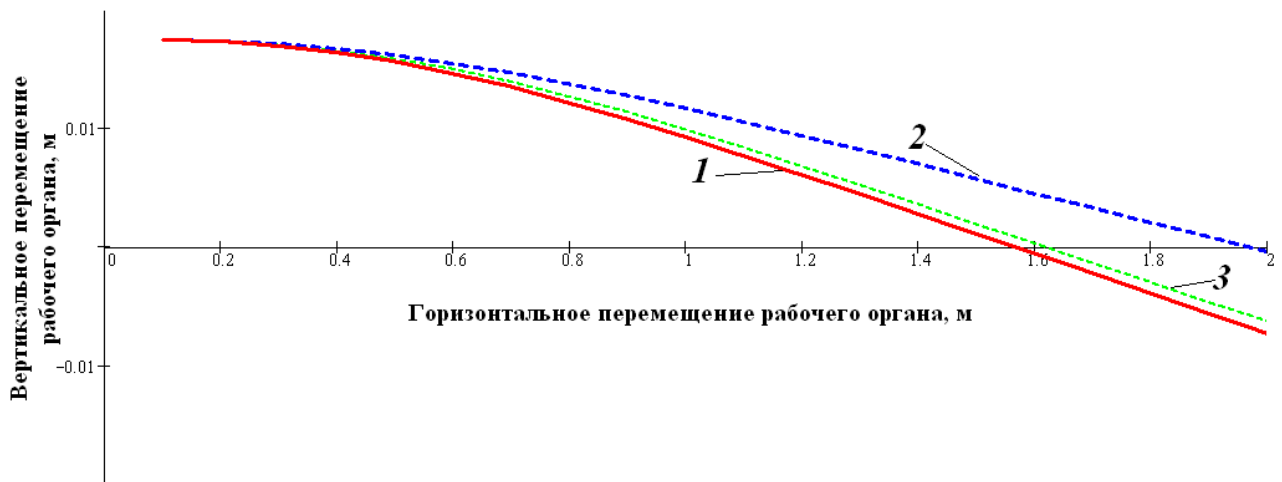
В случае, если усилие прижатия рабочего органа происходит не под действием его массы, а прижимается к очищаемой поверхности гидравлически (отличительной особенностью тако-

го прижатия является наличие сопротивления перемещению от скорости изменения положения), то уравнение 8 примет вид:

$$z''_{PO} = \left( \frac{l_2}{l_3} \cos\left(\sin\left(\frac{v_{PO}}{l} t\right)\right) - 1 \right) g \pm \frac{F_D(h_c + A_1 \cos\left(\frac{v_{PO}}{l} t\right) - z_{PO} + A \cos\left(\frac{v_{PO}}{l} t\right))^{0,47} + G_{CM} \frac{dv}{dt}}{G_{PO} + \left( \left( \frac{G_{PO}}{g} \operatorname{tg}(\beta_0 + 2 \operatorname{arctg} \frac{z_{PO}}{l_2}) \frac{l_5}{l_2} \frac{d^2 z_{PO}}{dt^2} + G_{PO} \left( \frac{\pi}{8} \frac{d}{2} \frac{\vartheta v_{ш}}{p_K} + 0,44 \sqrt{R_a} \sqrt{\frac{p_K}{HB}} + \frac{\tau_0}{p_K} + \Omega \right) + 0,25 P_1 D^2 \pi \right) \cos(\beta_0 + 2 \operatorname{arctg} \frac{z_{PO}}{l_2}) \right) \frac{l_5 \sin(\beta_0 + 2 \operatorname{arctg} \frac{z_{PO}}{l_2})}{l_2}}{\times \operatorname{tg}\left(-A \left(\frac{v_{PO}}{l}\right) \sin\left(\frac{v_{PO}}{l} t\right)\right) \frac{l_1}{l_3 \cos \alpha_1}}. \quad (14)$$

Решение данного уравнения и сравнение полученных результатов показано на рис. 4.

Анализ полученных зависимостей позволил установить, что максимально возможный уровень колебаний усилий между максимальным и минимальным усилием возможно получить при удалении слоя снега, толщина которого не превышает высоту максимального перемещения рабочего органа от очищаемой поверхности  $Z_{PO}$ , определяемую из выражения 5. С ростом высоты снежного покрова уровень колебаний рабочего органа снижается. Рабочий орган с гидравлическим прижатием, отличительной особенностью которого является наличие сопротивления перемещению от скорости изменения положения, обеспечивает значительно более качественную очистку поверхности дороги, чем рабочий орган, использующий в качестве прижатия только свой вес.



**Рис. 4. Влияние усилия прижатия рабочего органа гидравлической системой на качество очистки дороги;**

1 – очищаемая поверхность; 2 – траектория движения рабочего органа без гидравлического прижатия; 3 – траектория движения рабочего органа с гидравлическим прижатием

#### Библиографический список

1. **Молев, Ю.И.** Обеспечение дорожной безопасности автомобильного транспорта в зимний период: дисс. ... д-ра тех. наук: 05.22.10. – Владимир, 2007. – 402 с.
2. **Маленков, С.Ю.** Выбор рациональных параметров рабочего органа интенсификационного действия для удаления свежесвыпавшего снега: дисс. ... канд. тех. наук: 05.05.03. – Н. Новгород, 2003. – 238 с.
3. **Беляков, В.В.** Обобщающая математическая модель разрушения слоистой среды / В.В. Беляков

- [и др.] // Известия академии инженерных наук им. А.М. Прохорова. «Транспортно-технологические машины и комплексы» – Москва – Нижний Новгород: 2006. Т. 16. С. 33–39.
4. **Куклина, И.Г.** Повышение точности расчёта движения плужного отвала по очищаемой поверхности / И.Г. Куклина, Ю.В. Кошелев, И.А. Тютнев // Строительные и дорожные машины. – М., 2011. № 9.
  5. **Пуртов, А.Р.** Выбор конструктивных параметров рабочего органа для удаления снежных накатов и льда с бетонных покрытий: дисс. ... канд. тех. наук 05.05.04. – Н. Новгород, 2002. – 191 с.
  6. **Рихтер, Г.Д.** Снег и его использование / Г.Д. Рихтер. – М.: Знание, 1960. – 754 с.

*Дата поступления  
в редакцию 30.11.2013*

**Yu.V. Koshelev, L.S. Levshunov, Yu.I. Molev**

### **EFFORT ON WORKING BODY AND THE SNOWPLOW AND ITS INFLUENCE ON QUALITY OF REMOVAL OF SNOW FROM THE CLEARED SURFACE**

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

**Purpose:** to develop to questions of modeling of movement of an edge of a dump on a cleared surface of the road under the influence of force of the draft developed by basic car, the weight of a dump and resistance force from snow.

**Design/methodology/approach:** All process of removal of snow can be divided into two rather independent processes. Interaction of working body with snow and ice and interaction of working body with an asphalt concrete surface.

**Findings:** such parameters of a suspension bracket of the plow worker of body and its operating modes at which the most effective removal of snow and ice educations from surfaces of roads is reached at unconditional observance of integrity of road clothes are determined.

**Research limitations/simplifications:** results of numerous researches unambiguously specify that the most difficult from the point of view of destruction are the condensed snow, having durability at a temperature of 0<sup>0</sup> C to 0,86 MPa and adhesion size to a concrete surface to 1 MPa. All other formations of friable snow (svezhevypavshy, ekskavatsionno - destroyed, metelevy) possess considerably smaller resistance to mechanical destruction.

**Originality/value:** The working body with the hydraulic pressing, which distinctive feature is existence of resistance to movement from the speed of change of situation provides considerably better cleaning of a surface of the road, than the working body using as pressing only weight.

*Key words:* road, snow, plow dump, efforts, quality of cleaning.

# РАДИОТЕХНИКА, СИСТЕМЫ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ, АНТЕННЫ И УСТРОЙСТВА СВЧ

УДК 621.396.96

А.Н. Ковалев, Ф.Н. Ковалев

## ИЗМЕРЕНИЕ УГЛОВЫХ КООРДИНАТ ДВИЖУЩЕЙСЯ ЦЕЛИ В ПРОСВЕТНЫХ РАДИОЛОКАТОРАХ С РАЗНЕСЕННЫМ ПРИЕМОМ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

**Цель:** Разработка методов и средств радиопеленгации в системах радиолокации на просвет.

**Методология / подход:** Проводится теоретический анализ возможности использования доплеровской частоты для определения угловых координат цели. Основные выводы подтверждены численными экспериментами.

**Результаты:** Предложен способ определения угловых координат цели по измерениям доплеровских частот в двух разнесенных приемниках просветной радиолокационной системы. В основу способа положено интегрирование измерений доплеровских частот. Точность определения угловых координат оценена на численной модели и с помощью приближенных теоретических соотношений.

**Применение:** Многопозиционная и просветная радиолокация.

**Оригинальность / значение:** Предложенный способ облегчает поиск местоположения лоцируемых объектов в просветных радиолокационных системах с несколькими приемниками и (или) передатчиками.

*Ключевые слова:* способ радиопеленгации, просветная радиолокация, многопозиционная радиолокационная система, доплеровская частота.

В просветных радиолокационных системах (РЛС) используется явление увеличения интенсивности рассеянного излучения при нахождении цели между передатчиком и приемником. Такие системы способны успешно обнаруживать Stealth-объекты и малоразмерные низколетающие цели [1, 2].

Относительно легко решается задача построения просветных РЛС с монохроматическим излучением и измерениями доплеровской частоты рассеянного сигнала [3,4]. В них используются приемники с амплитудным детектированием суммарного колебания, образуемого в результате интерференции радиоволны, рассеянной на лоцируемом объекте, и более мощной радиоволны, излученной передатчиком.

В настоящей работе предложен способ определения угловых координат цели по измерениям доплеровских частот в синхронизованных по времени разнесенных приемниках просветной РЛС и рассмотрено его применение для оценки местоположения.

На рис. 1 показана схема простейшей просветной многопозиционной РЛС на плоскости. Система состоит из передатчика (П), расположенного на оси  $Ox$  в точке  $(a, 0)$ , и двух приемников  $Пр_1$  и  $Пр_2$ , удаленных друг от друга на расстояние  $b$ ,  $a \gg b$ . Центр отрезка между приемниками помещен в начало прямоугольной системы координат  $xOy$ ;  $\varepsilon$  – угол между нормалью  $\vec{n}$  к отрезку и осью  $Ox$ .  $a_1, a_2$  – расстояния между передатчиком и приемниками  $Пр_1$  и  $Пр_2$  соответственно;  $r_n$  – расстояние от передатчика до цели;  $r_{пр1}, r_{пр2}$  – расстояния от цели до приемников. Цель движется в плоскости  $xOy$  со скоростью  $\vec{v}$ ;  $x_T$  – абсцисса точки пересечения траектории цели с осью  $Ox$ ,  $0 < x_T < a$ ;  $\psi$  – угол наклона траектории к оси  $Ox$ ;  $\varphi$  – направление на цель из начала координат относительно нормали  $\vec{n}$ .

Доплеровские частоты рассеянного на лоцируемом объекте сигнала в приемных пунктах  $\text{Пр}_1$ ,  $\text{Пр}_2$  выражаются в виде [4,5]

$$f_1(t) = -\frac{1}{\lambda} \frac{dl_1(t)}{dt}, \quad (1)$$

$$f_2(t) = -\frac{1}{\lambda} \frac{dl_2(t)}{dt}, \quad (2)$$

где  $l_1(t) = r_n(t) + r_{\text{пр}1}(t)$ ,  $l_2(t) = r_n(t) + r_{\text{пр}2}(t)$ ,  $t$  – время,  $\lambda$  – длина волны излучения передатчика.

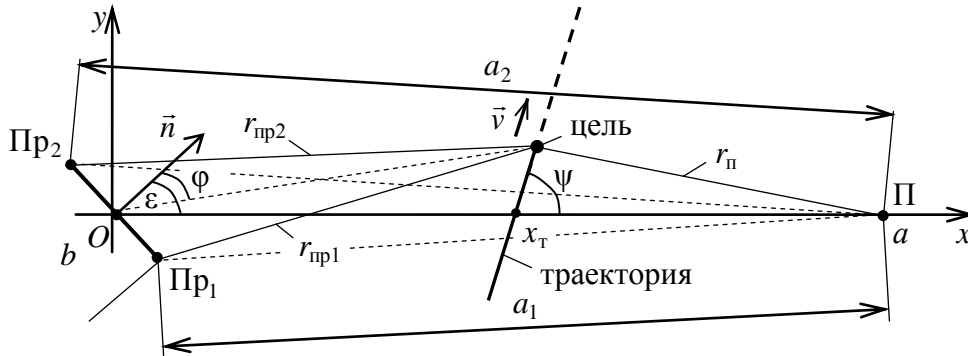


Рис. 1. Схема прозветной трехпозиционной РЛС

Интегрирование  $f_1(t)$ ,  $f_2(t)$  позволяет определять суммарные дальности  $l_1$ ,  $l_2$  в произвольный момент времени  $t$ . Так, из (1) следует:

$$l_1(t) = l_1(t_n) - \lambda \int_{t_n}^t f_1(t) dt, \quad (3)$$

где  $l_1(t_n)$  – значение дальности  $l_1$  в момент  $t_n$  начала интегрирования.

Поскольку в момент  $t_{\text{п}1}$  пересечения целью отрезка, соединяющего передатчик с приемником  $\text{Пр}_1$ , доплеровская частота  $f_1(t)$  переходит нулевой уровень

$$f_1(t_{\text{п}1}) = 0, \quad (4)$$

то в качестве начального значения суммарной дальности  $l_1$  можно взять длину  $a_1$ , а соответствующий ему момент времени  $t_{\text{п}1}$  находить из условия (4) [3,4,5]. С учетом этого формула (3) принимает вид

$$l_1(t) = a_1 - \lambda \int_{t_{\text{п}1}}^t f_1(t) dt. \quad (5)$$

Аналогичным образом из (2) можно найти суммарную дальность  $l_2(t)$ :

$$l_2(t) = a_2 - \lambda \int_{t_{\text{п}2}}^t f_2(t) dt, \quad (6)$$

где момент  $t_{\text{п}2}$  пересечения целью отрезка между передатчиком и приемником  $\text{Пр}_2$  находится из условия  $f_2(t_{\text{п}2}) = 0$ .

Если расстояния  $r_{\text{пр}1}$ ,  $r_{\text{пр}2}$  в несколько раз превышают длину отрезка  $b$  между приемниками (рис. 1), то разность (5) и (6) позволяет определить направление на цель  $\varphi(t)$  по значениям доплеровских частот  $f_1(t)$  и  $f_2(t)$ :

$$\sin \varphi(t) = \frac{\Delta r(t)}{b}, \quad \Delta r(t) = r_{\text{пп1}}(t) - r_{\text{пп2}}(t) = l_1(t) - l_2(t),$$

$$\sin \varphi(t) = \frac{\Delta r(t)}{b} = \frac{1}{b} \left\{ a_1 - a_2 - \lambda \int_{t_{\text{п1}}}^t f_1(t) dt + \lambda \int_{t_{\text{п2}}}^t f_2(t) dt \right\}. \quad (7)$$

Точность определения угла  $\varphi$  по (7) исследовалась методом математического моделирования. Рассмотрена модель одновременных измерений доплеровских частот в приемниках, выполняемых с интервалом времени  $T$ . Ошибки измерений – независимые, дисперсия ошибок – одинаковая и не меняется со временем,  $\sigma_f^2 = \text{const}$ ; смещение оценок частот отсутствует.

На рис. 2, 3 представлены вычисленные по результатам 1000 экспериментов оценки математического ожидания  $m_\varphi$  (штриховые линии) и среднеквадратичного отклонения  $\sigma_\varphi$  (сплошные линии) ошибок определения угла  $\varphi$  по (7) в зависимости от его фактической величины для системы с параметрами  $a=40\text{км}$ ,  $b=300\text{ м}$ ,  $\varepsilon=0^\circ$ ,  $\lambda=1\text{ м}$ ,  $\sigma_f=0,25\text{ Гц}$ ,  $T=1\text{ с}$ . Цель двигалась равномерно со скоростью  $v=200\text{ м/с}$  по прямолинейной траектории под углом  $\psi=90^\circ$  и пересекала ось  $Ox$  в точке с абсциссой  $x_\tau=10\text{ км}$  (рис. 2),  $x_\tau=30\text{ км}$  (рис. 3). Обе траектории показаны на рис. 4 пунктиром. Зона действия РЛС условно ограничивалась значениями ординаты  $|y|<3\text{ км}$ ; наблюдение цели в обоих случаях начиналось в момент  $t=t_0=0$ , когда цель имела координату  $y_0=-3\text{ км}$ .

На начальных участках траектории – до моментов времени  $t_{\text{п1}}$  и  $t_{\text{п2}}$  – непосредственное использование (7) затруднительно, поскольку не известны ни моменты  $t_{\text{п1}}$  и  $t_{\text{п2}}$ , ни зависимости  $f_1(t)$  и  $f_2(t)$  на интервалах от текущего времени  $t$  до моментов  $t_{\text{п1}}$  и  $t_{\text{п2}}$ . Оценка угла  $\varphi(t)$  здесь осуществлялась интегрированием экстраполирующих измерения частоты полиномов первой степени:

$$f_1^{\text{э}}(t) = c_{01} + c_{11}t, \quad f_2^{\text{э}}(t) = c_{02} + c_{12}t. \quad (8)$$

Такой подход обусловлен квазилинейным изменением доплеровской частоты в случае равномерного движения цели поперек отрезка, соединяющего передатчик с приемником [4].

Коэффициенты полиномов  $c_{0j}$  и  $c_{1j}$ ,  $j=1,2$ , вычислялись по  $N=10$  измерениям доплеровских частот методом наименьших квадратов:

$$\vec{c}_j = (\mathbf{P}^T \mathbf{P})^{-1} \mathbf{P}^T \hat{f}_j,$$

где  $\vec{c}_j$  – вектор коэффициентов  $j$ -го полинома;  $\hat{f}_j$  –  $N$ -мерный вектор измерений доплеровской частоты в  $j$ -м приемнике;  $\mathbf{P}$  – матрица временных отсчетов;

$$\vec{c}_j = \begin{bmatrix} c_{0j} \\ c_{1j} \end{bmatrix}, \quad \hat{f}_j = \begin{bmatrix} \hat{f}_j(t_{n-N+1}) \\ \hat{f}_j(t_{n-N+2}) \\ \vdots \\ \hat{f}_j(t_n) \end{bmatrix}, \quad \mathbf{P} = \begin{bmatrix} 1 & t_{n-N+1} \\ 1 & t_{n-N+2} \\ \vdots & \vdots \\ 1 & t_n \end{bmatrix}, \quad (9)$$

$t_n = t = (n-1)T$  – текущий момент наблюдения,  $n$  – количество измерений. Знак  $\hat{\phantom{x}}$  означает оценку величины;  $^T$  – знак транспонирования.

В начале наблюдения, когда  $n < N$ , в экспериментах использовались все имеющиеся измерения, и в (9) принималось  $N = n$ . Моменты  $t_{\text{п1}}$  и  $t_{\text{п2}}$  вычислялись, исходя из условий  $f_1^{\text{э}}(t) = 0$  и  $f_2^{\text{э}}(t) = 0$ , по формулам:

$$\hat{t}_{\text{п1}} = -\frac{c_{01}}{c_{11}} \quad \text{и} \quad \hat{t}_{\text{п2}} = -\frac{c_{02}}{c_{12}}. \quad (10)$$



Величину погрешности за счет экстраполяции для рассмотренных случаев отражают графики  $m_\varphi$  на рис. 2, 3 (область углов  $\varphi < 0$ ).

После моментов  $t_{п1}, t_{п2}$  – когда цель пересекала отрезки между передатчиком и приемниками – угол  $\varphi$  определялся по (7) путем дискретного интегрирования измеренных доплеровских частот. Моменты  $t_{п1}, t_{п2}$  находились по нескольким измерениям частот в окрестности их нулевых значений как момент времени, в который зависимости, аппроксимирующие измерения частоты, обращались в нуль. Для аппроксимации также использовались полиномы первой степени (см. (8) ÷ (10)).

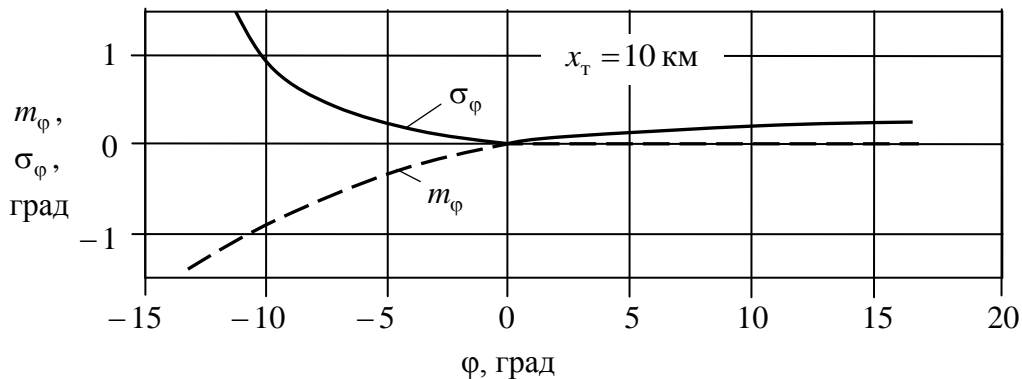
Из приведенных графиков видно, что точность оценки угла ухудшается по мере удаления цели от оси  $Ox$  (область углов  $\varphi > 0$ ), что обусловлено увеличением числа суммируемых случайных слагаемых в (7).

В этой области для рассмотренных траекторий в системе с  $\varepsilon = 0^\circ$  и малыми значениями  $\varphi$ , точность оценки угла  $\varphi$  совпала с теоретической точностью, получаемой из (7) для дискретной модели измерений при малых  $\sigma_f$ :

$$\sigma_{\varphi, \text{теор}}^2(\tau) = \frac{2M\lambda^2 T^2 \sigma_f^2}{b^2}, \tag{11}$$

где  $M$  – число пар измерений частоты в системе после пересечения целью отрезков, соединяющих передатчик с приемниками; предполагается  $M \gg 1, t_{п1} \approx t_{п2}, \tau = t - t_{п2} = MT$ . Значению дисперсии по (11) соответствует направление на цель  $\varphi(\tau) = \arctg(y(\tau)/x(\tau))$ .

Из сравнения рис. 2 и 3 легко видеть заметную разницу в относительной точности измерения угла для рассмотренных случаев: при одном и том же значении  $\varphi$  ошибка измерения угла для траектории с  $x_T = 10$  км намного меньше, чем для траектории с  $x_T = 30$  км. Это связано с величиной изменения угла при одинаковом числе измерений доплеровской частоты. У траекторий, более удаленных от приемников, угол меняется меньше, и относительная точность его измерения будет хуже.

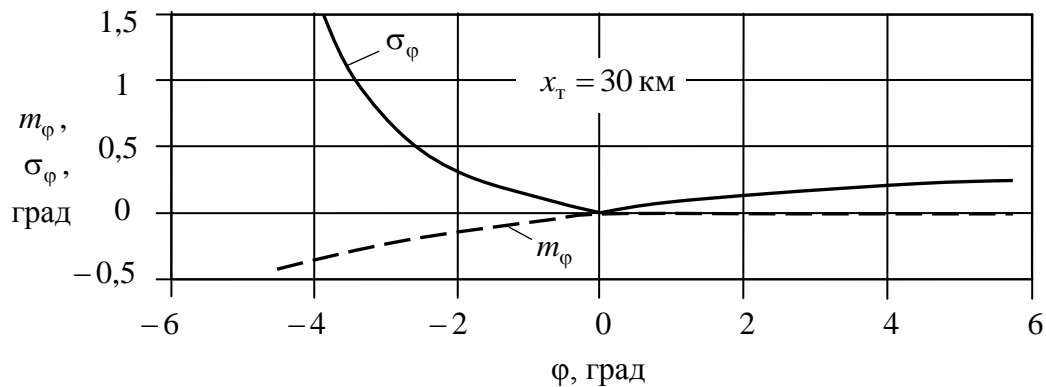


**Рис. 2. Математическое ожидание и среднеквадратичное отклонение ошибок определения угла  $\varphi$  в зависимости от его фактического значения, построенные по результатам математического моделирования для траектории с параметрами  $\Psi = 90^\circ, x_T = 10$  км**

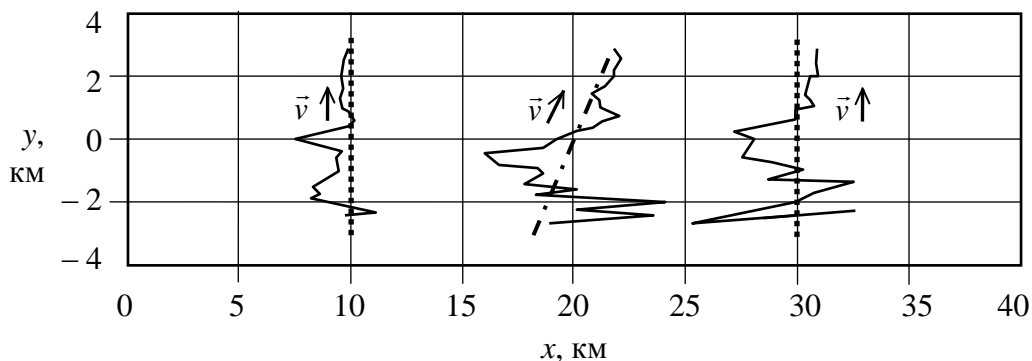
Полученные по (7) оценки направления на цель удобно далее использовать для определения текущих координат цели. Так, в рассматриваемой на рис. 1 системе с передатчиком и двумя приемниками местоположение цели находится по пересечению луча, задаваемого углом  $\varphi$ , и эллипса  $l_1 = \text{const}$  с фокусами в пунктах  $Pr_1$  и  $П$ . Дальность  $l_1(t)$  оценивается по (5). Как альтернативу обозначенному эллипсу можно взять эллипс  $l_2 = \text{const}$  с фокусами в

пунктах Пр<sub>2</sub> и П. Таким образом, удается свести задачу местоопределения к угломерно-дальномерному методу, используемому в бистатических радиолокаторах [6].

На рис. 4 сплошными линиями показаны результаты независимых экспериментов по определению местоположения цели по оценкам  $\varphi$  и суммарной дальности  $l_1$ . Использование оценок суммарной дальности  $l_2$  вместо  $l_1$  не приводило к значимому изменению результатов. Параметры системы и траекторий (пунктирные линии) заданы ранее. На начальных участках траектории ( $t < t_{п1}, t_{п2}$ ) оценки  $\varphi$  и  $l_1$  определялись по экстраполированным значениям доплеровских частот в приемниках.



**Рис. 3.** Математическое ожидание и среднеквадратичное отклонение ошибок определения угла  $\varphi$  в зависимости от его фактического значения, построенные по результатам математического моделирования для траектории с параметрами  $\psi = 90^\circ$ ,  $x_T = 30$  км



**Рис. 4.** Результаты определения местоположения цели в просветной трехпозиционной системе, изображенной на рис. 1

Кроме исследования траекторий, ортогональных оси  $Ox$ , проводились численные эксперименты и для цели, двигающейся под углом  $\psi$ , отличным от  $90^\circ$ . Так, на рис. 4 также сплошной линией отражен результат эксперимента для цели, двигающейся со скоростью  $v = 200$  м/с по траектории с  $x_T = 20$  км,  $\psi = 60^\circ$  (штрих-пунктир). Как видно, система определяет координаты и в этом случае. К недостаткам использованного алгоритма следует однако отнести невысокую точность на начальных участках траектории. Это связано с увеличивающимся отличием законов изменения  $f_1(t)$ ,  $f_2(t)$  от линейного при отклонении  $\psi$  от  $90^\circ$  и увеличении расстояния между целью и осью  $Ox$ , что, в свою очередь, приводит к повышенным ошибкам из-за экстраполяции, особенно при малом числе измерений доплеровских частот.

Для исследованных траекторий точность оценки координаты  $x$  к моменту выхода цели

из зоны действия РЛС составляла  $\sigma_x < 2$  км. Среднеквадратичное отклонение ошибки определения координаты  $y$  было значительно меньше  $\sigma_y \ll \sigma_x$ .

### Заключение

Таким образом, по измерениям доплеровских частот в двух разнесенных приемниках просветной РЛС оценку направления на цель нетрудно найти по (7). Предложенный способ может использоваться и в системах с большим числом приемников, позволяя вычислять направление на цель относительно каждой пары близкорасположенных приемников. Совместно с [7] он расширяет возможности для оценки местоположения в многопозиционных радиолокаторах.

Интегрированием доплеровских частот можно определять угловое положение цели и относительно пары передатчиков. Построение систем с несколькими передатчиками должно предусматривать частотную или временную селекцию сигналов [8].

### Библиографический список

1. Уфимцев, П.Я. Основы физической теории дифракции / П.Я. Уфимцев. – М.: БИНОМ, 2011. – 351 с.
2. Чапурский, В.В. Синтезированная теневая радиоголография в бистатической радиолокации // Радиотехника. 2009. № 3. С. 52–69.
3. Bistatic Radar. Principles and Practice / Ed. M. Cherniakov. – England: Wiley, 2007. – 504 p.
4. Ковалев, Ф.Н. Определение координат движущихся целей по измерениям доплеровской частоты в радиолокационных системах с обнаружением “на просвет” // Радиотехника и электроника. 2007. Т. 52. № 3. С. 331–339.
5. Ковалев, Ф.Н. Просветные многопозиционные радиолокационные системы на основе измерений доплеровской частоты // Труды НГТУ. 2011. Т. 78. № 3. С. 30–37.
6. Теоретические основы радиолокации: учеб. пособие для вузов / под ред. Я. Д. Ширмана. – М.: Сов. Радио, 1970. – 560 с.
7. Ковалев, Ф.Н. Интегральный доплеровский метод измерения угловых координат в просветных радиолокаторах // Труды 1-ой рос.-белорус. науч.-техн. конференции “Элементная база отечественной радиоэлектроники”, Нижний Новгород, 11-14 сентября 2013 г. – Н.Новгород: НГТУ, 2013. Т. 1. – С. 244–47.
8. Ковалев, Ф.Н. Организация когерентно-импульсного режима работы РЛС с обнаружением “на просвет” // Труды НГТУ. 2012. Т. 94. № 1. С. 20–25.

*Дата поступления  
в редакцию 21.10.2013*

**A.N. Kovalev, F.N. Kovalev**

### ESTIMATING THE ANGULAR COORDINATES OF MOVING TARGET IN FORWARD-SCATTERING MULTISTATIC RADARS

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

**Purpose:** The research of methods and means for measuring angle in forward-scattering radars.

**Methodology / approach:** Theoretical analysis of the possibility of measuring the target angular coordinates from Doppler frequency is given. The main results are confirmed by a simulations experiment.

**Findings:** Method for estimating the target angular coordinates by measuring the Doppler frequencies in the two spaced apart receivers of forward-scattering radar system is proposed. The method is based on integrating the Doppler frequency measurements. Accuracy of angular coordinates estimated on a simulations model and by approximate theoretical relations.

**Research limitations/implications:** Multistatic and forward-scattering radar.

**Originality/value:** The proposed method simplifies finding a location of targets in forward-scattering radar systems with several transmitters and (or) receivers.

*Key words:* methods for measuring angle, forward-scattering radar, multistatic radar systems, Doppler frequency.

УДК 621.396.6

Ю.И. Лужавин<sup>1</sup>, В.П. Хранилов<sup>2</sup>

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ БОРТОВОЙ АВИАЦИОННОЙ РЭА СРЕДСТВАМИ ИНТЕРАКТИВНОГО МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

ОАО «НПП «Поле»<sup>1</sup>,  
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева<sup>2</sup>

**Цель:** Разработка технологии интерактивного проектного моделирования систем воздушного охлаждения авиационной бортовой РЭА средствами интегрированного пакета SolidWorksFloSimulation.

**Методология / подход:** Применение интегрированного пакета SolidWorksFloSimulation для проектирования систем воздушного охлаждения авиационной бортовой РЭА.

**Результаты:** Решены задачи локального перегрева двухтактных ячеек в оконечном каскаде усилителя мощности. Приведена блок-схема теплового расчета бортовой РЭА с централизованной воздушной системой охлаждения.

**Применение:** Для проектирования систем воздушного охлаждения авиационной бортовой РЭА средствами интегрированного пакета SolidWorksFloSimulation.

**Оригинальность / значение:** Технология позволяет значительно улучшить качество и эффективность систем воздушного охлаждения авиационной бортовой РЭА.

*Ключевые слова:* SolidWorksFloSimulation, моделирование, распределение потока, аэродинамический анализ, система охлаждения, авиационная бортовая радиоэлектронная аппаратура, теплоотвод.

### Введение

Условия работы РЭА на борту летательных аппаратов (ЛА) определяются внешними дестабилизирующими факторами. Температура – основной фактор, влияющий на надежность РЭА [1]. Энергетический коэффициент полезного действия радиоэлементов, как правило, невелик, и значительная доля энергии питания превращается в тепловую, вызывая перегрев элементов и аппаратуры. В широких пределах могут меняться условия эксплуатации, в том числе и температура окружающей аппаратуру среды. Оговоренный в технических условиях на большинство радиоэлементов диапазон рабочих температур сравнительно мал, а работа элементов вне этого диапазона обычно приводит к значительному снижению их надежности и соответственно к снижению надежности аппаратуры в целом. Необходимого (нормального) температурного режима работы элементов РЭА можно добиться применением эффективных методов охлаждения. Дестабилизирующее действие тепловых режимов относится к одному из наиболее критичных факторов, требующих тщательной проработки при проектировании конструкций современной бортовой РЭА (БРЭА). Современная методология проектирования БРЭА предусматривает всемерное привлечение методов и средств непрерывной информационной поддержки жизненного цикла изделий (CALS), в том числе применение средств математического моделирования, и внедрения их в процессы проектирования на всех этапах и уровнях.

### Предпосылки применения комбинированных методов расчета и моделирования при проектировании теплонагруженной БРЭА

Тепловые расчеты РЭА традиционно выполнялись в основном на основе упрощенных моделей, построенных с использованием электротепловых аналогий и полуэмпирических соотношений, приближенно описывающих механизмы теплопередачи. Данный подход, несмотря на некоторые достоинства, тем не менее, вытесняется моделированием тепловых

процессов с использованием пакетов численного анализа. Это объясняется рядом причин, к которым относятся возможность непосредственной передачи трехмерной геометрической модели исследуемого объекта в расчетную программу, а также возможность детального учета аэродинамических процессов, определяющих конвективное охлаждение. Вместе с тем, современные системы автоматизированного проектирования (САПР), ориентированные на разработку РЭА, активно оснащаются средствами теплофизического проектирования [2].

Несмотря на то, что воздушное принудительное охлаждение в РЭА ЛА получило наибольшее распространение, так как при невысокой стоимости и относительной простоте обеспечивает нормальный тепловой режим при более высоких удельных мощностях рассеивания (от 200 до 2000 Вт/м<sup>2</sup>), конструкции и методики моделирования систем воздушного охлаждения с использованием современных программ аэродинамического анализа требуют тщательного анализа в плане их систематизации, определения эффективности их применения на различных стадиях и этапах комплексного проектирования БРЭА с применением средств CALS-технологий.

В самолетах передача тепла от теплонагруженной аппаратуры к окружающей среде осуществляется, как правило, с помощью централизованной воздушной системы охлаждения (ЦВСО) (рис. 1).

Конструкция современной БРЭА, предназначенная для эксплуатации на ЛА, состоит из базовых несущих конструкций (БНК) разных уровней [1]. Подача охлаждающего воздуха происходит от ЦВСО через патрубки в поддон рамы, а далее поступает в зону блока. Основой системы воздушного охлаждения блока является рама с поддоном, которая посредством дополнительных направляющих и определяет распределение воздушного потока.

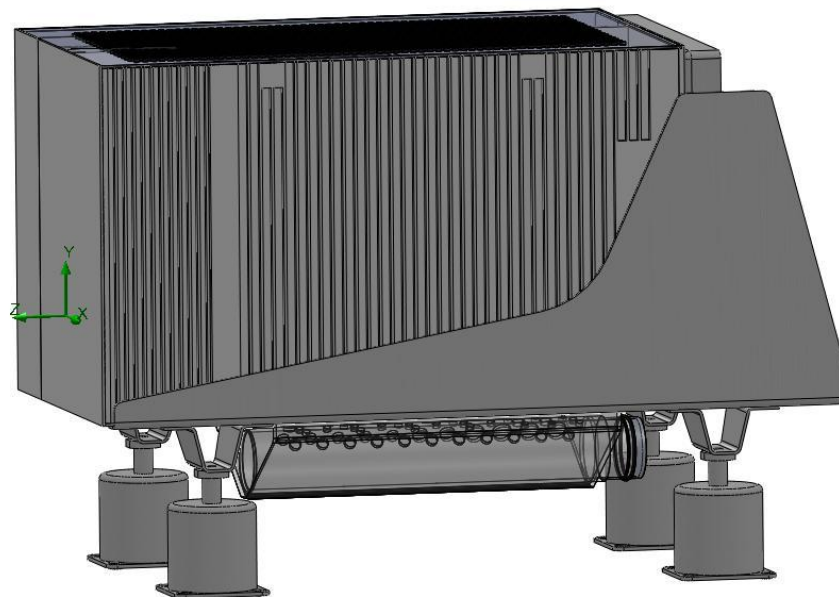


Рис. 1. Блок БРЭА на раме с системой охлаждения “ЦВСО→рама→блок”

Наддув оборудования и РЭА является функциональной частью системы кондиционирования воздуха (СКВ) и предназначен для автоматического поддержания заданного абсолютного давления в блоках. При высоте полета до 8 тыс. метров системой кондиционирования самолетов поддерживается номинальная температура подаваемого воздуха от ЦВСО  $5 \pm 5$  °С. При увеличении высоты полета ЛА СКВ решается проблема отделения влаги за счет понижения температуры подаваемого воздуха до  $-40 \pm 5$  °С, при этом объем подаваемого воздуха уменьшается на 40% от номинального. Также, при планировании самолета, возможны и другие режимы охлаждения БРЭА. Поэтому при

анализе теплового режима РЭА, необходимо учитывать изменение объема подаваемого воздуха в зависимости от её температуры, в соответствии с ОСТ 104057-88 “Оборудование бортовое. Параметры охлаждающего воздуха” [3]. Величина необходимого расхода воздуха для специальных самолетов для снятия 1 кВт рассеиваемой мощности определяется специальной кривой [3], выведенной из уравнения теплового баланса, и составляет 120 кг/ч при температуре подаваемого воздуха 40 °С и 60 кг/ч при температуре подаваемого воздуха 10 °С. Расчёт теплового режима блока при максимальной температуре охлаждающего воздуха не всегда является наиболее тяжёлым случаем, поскольку при меньшей температуре охлаждающего воздуха уменьшается объём воздушного потока, а это может изменить его распределение в блоке (раме). Это вызвано в некоторых случаях конструктивными особенностями блока (рамы), а также возможной сменой режима течения охлаждающего воздуха (ламинарный, турбулентный).

Целью аэродинамического расчета ЦВСО, в конечном итоге, является либо поиск оптимальной геометрии системы охлаждения при заданных ее свойствах, либо определение ее свойств целенаправленно распределять воздушный поток с необходимыми напорными характеристиками при заданной системе охлаждения.

### Выбор средств моделирования

Моделирование систем воздушного охлаждения стало возможным с появлением программ аэрогидродинамического анализа. Наиболее популярной программой является интегрированная в один из наиболее распространенных CAD-пакетов SolidWorks программа SolidWorksFlowSimulation [4]. SolidWorks обеспечивает возможность создания актуальных для дальнейшей конструкторско-технологической проработки геометрической модели конструкции электронных устройств и целых радиоэлектронных систем непосредственно в этом пакете, включающем встроенные средства численного анализа для проверки принятых решений без выполнения конвертации геометрических моделей. В отличие от известных программ конечно-элементного анализа ANSYS, NASTRAN, пакет SolidWorks имеет интерфейс и инструментарий, ориентированный на решение прикладных инженерных задач.

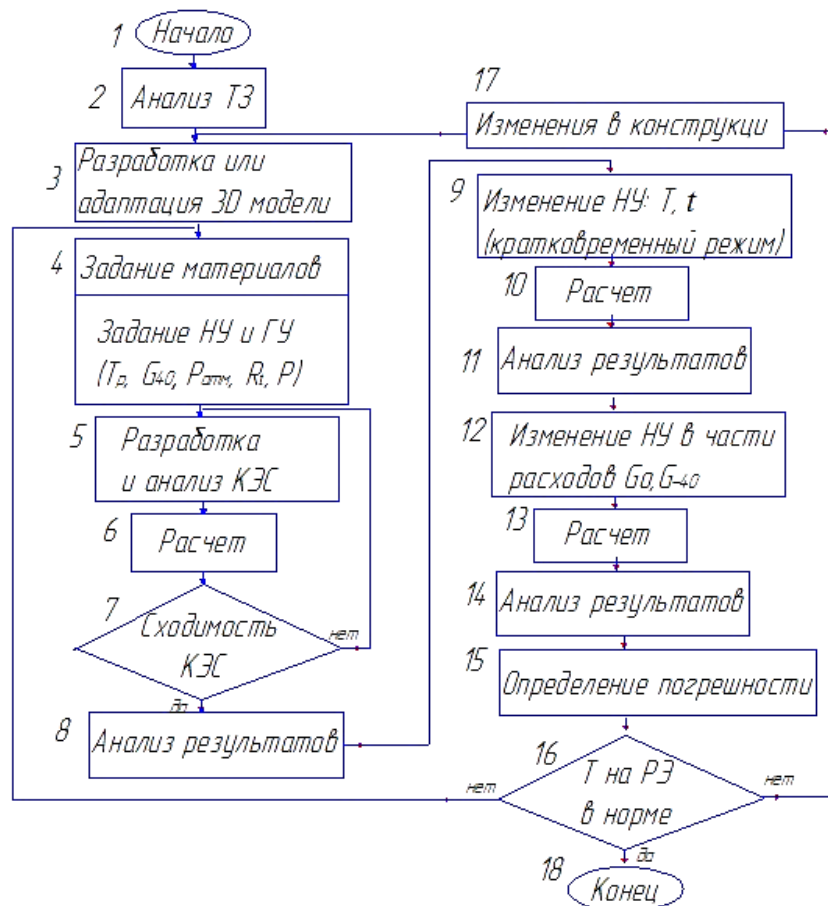
Современный процесс разработки конструкторской документации предусматривает разработку 3D модели. На начальном этапе аэродинамического и теплового расчета необходимо упростить геометрическую модель или создать эквивалентную для уменьшения временных затрат на создание сетки конечных элементов и непосредственно самого расчета. Следует учитывать, что построение сетки происходит гораздо быстрее и она имеет более регулярную структуру на ровных поверхностях, без каких либо выступов или отверстий. Возможно убрать из рассмотрения те детали, которые не оказывают заметного влияния на результаты расчета, путем задания на них свойств – insulator (при выборе материала) или командой – “погасить детали”. Иногда рациональнее создать новую физически эквивалентную деталь, нежели изменять деталь сложной формы. Так, для определения замкнутой области при решении внутренней задачи в SolidWorksFloSimulation зачастую необходимо минимизировать количество внешних стенок. Создавать деталь, эквивалентную внешним стенкам, можно посредством создания эскиза в сборке, путем обвода контура сборки блока и копируя эскиз в новую деталь. Также необходимо дополнить модель необходимыми деталями, для задания на них физических свойств, создания в локальном объеме настроек сетки или для получения значений параметров в локальной области.

Тепловая или аэродинамическая модель в SolidWorksFloSimulation представляет совокупность контактирующих параллелепипедов. Полученное на сформированной некоторой расчетной сетке дискретное решение поставленной непрерывной (дифференциальной) математической задачи в общем случае зависит от размера ячеек расчетной сетки, покрывающей расчетную область. Поэтому, чтобы решить поставленную математическую задачу достаточно точно, а также для оценки достигнутой точности необходимо проведение нескольких расчетов на разных, более редких и более частых расчетных сетках с целью определить такую частоту расчетной сетки, начиная с которой решение задачи перестает значимо зависеть от

частоты сетки, что указывает на достижение необходимой точности решения математической задачи (так называемой сеточной сходимости решения математической задачи) [4, 5].

### Алгоритм расчета и моделирования

Исследование движения воздушного потока в конструкции, при изменении объема подаваемого воздуха и его температуры, должно быть неотъемлемой частью качественного теплового расчета блоков БРЭА и применяемых ЦВСО [6]. Примерная блок-схема теплового расчета БРЭА с ЦВСО в программе SolidWorksFloSimulation изображена на рис. 2.



**Рис. 2. Блок-схема теплового расчета БРЭА с ЦВСО:**

$TЗ$  – техническое задание;  $T_p$  – повышенная рабочая температура среды;  $T$  – кратковременная повышенная температура среды;  $t$  – время;  $G_{40}$  – расход воздуха с температурой охлаждающего воздуха  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $G_0$  – расход воздуха с температурой охлаждающего воздуха  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $G_{-40}$  – расход воздуха с температурой охлаждающего воздуха минус  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $P_{атм}$  – атмосферное давление среды;  $R$  – контактное тепловое сопротивление;  $P$  – тепловая мощность;  $КЭС$  – конечно-элементная сетка;  $НУ$  – начальные условия;  $ГУ$  – граничные условия

Данная блок-схема анализа теплового режима РЭА обеспечивает устойчивую работоспособность и адекватность моделируемых теплофизических процессов в диапазоне возможных температур охлаждающего воздуха  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$

Система воздушного охлаждения РЭА, разработанная под ЦВСО самолета, может не изменять свои свойства в части распределения воздушного потока при изменении режима полета или же наоборот, может изменить свои свойства, что приведет к изменению области продува и, как следствие, это может привести к выходу из строя РЭА по перегреву. Во избежание возможных отказов самолетной аппаратуры, система воздушного охлаждения должна поддерживать равномерно распределенный поток при возможном изменении объема возду-

ха. Воздушный поток в общем случае должен быть эквивалентно распределен по областям продува теплонагруженных элементов. При наличии значительного локального участка теплового перегрева в конструкции БРЭА предпочтительнее использование системы с неравномерным распределением воздушного потока, целенаправленного в наиболее теплонагруженные области аппаратуры.

Далее приводятся примеры проектирования систем воздушного охлаждения БРЭА с использованием математического моделирования теплофизических и аэродинамических процессов, сопровождающих её функционирование и определяющих надежность, а также тепловых расчетов, проводимых инженером-конструктором при отработке средств обеспечения нормальных тепловых режимов проектируемой БРЭА.

### Оценка и выбор варианта схмотехнической реализации усилителя мощности с учетом теплофизических характеристик конструкции охлаждающего радиатора БНК

Основные трудности при реализации схемы усилителей мощности (УМ) с двумя и более ячеек в оконечном каскаде возникают при проектировании радиатора, способного снять локальный перегрев с теплонагруженных транзисторов. Неудачное схмотехническое решение может привести к существенному ухудшению массо-габаритных параметров БРЭА, приведение которых в приемлемые пределы значительно увеличит цикл разработки. В таком случае весьма актуальной будет задача оценки конструктивных показателей будущего изделия уже на этапе разработки электрических схем.

Моделирование тепловых режимов и необходимые расчеты проводятся с использованием программы SolidWorksSimulation. Исследуются три варианта конструктивной реализации УМ: вариант с двумя транзисторами; вариант с шестью транзисторами; вариант с двумя транзисторами на ступенчатом радиаторе без изменения рассеиваемой площади радиатора. Для каждого случая предполагается выборочное использование трех вариантов используемого для изготовления радиатора материала: алюминий, медь, и алюминий с дополнительной пластиной из меди, установленной между радиатором и транзисторами. На рис. 3 приведены пояснения к типовой конструкции охлаждающего радиатора БНК, а на рис. 4–6 результаты моделирования тепловых полей для различных случаев. Критерий выбора того или иного варианта схмотехнического решения на основе его теплофизических характеристик определяется минимальным перегревом транзисторов УМ, а также равномерностью распределения поля температур по поверхности радиатора.

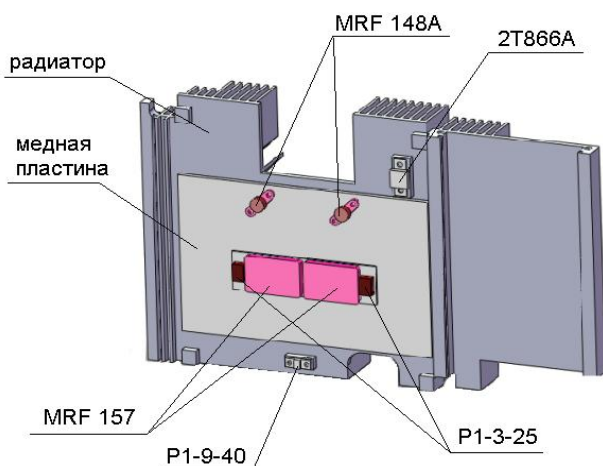


Рис. 3. Расположение теплонагруженных элементов на радиаторе БНК

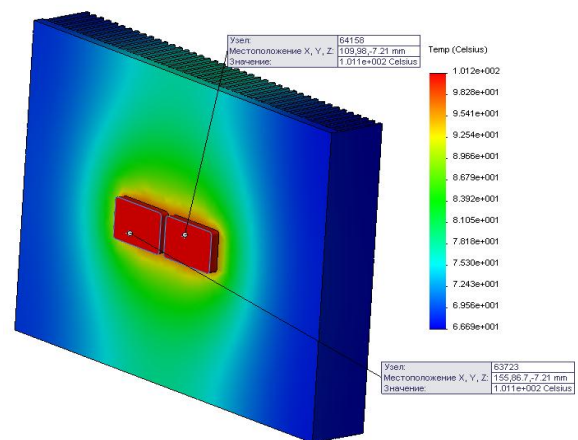


Рис.4. Тепловая модель радиатора из алюминия с 2-мя транзисторами



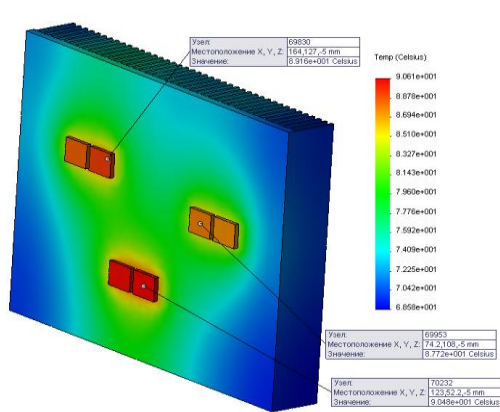


Рис. 5. Тепловая модель радиатора из алюминия с 6-ю транзисторами

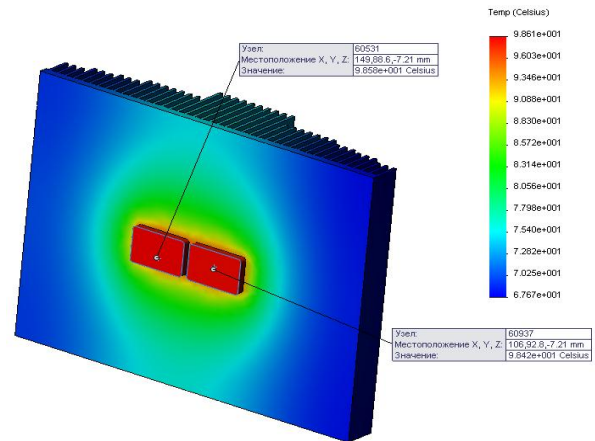


Рис. 6. Тепловая модель ступенчатого радиатора из алюминия с 6-ю транзисторами

В табл.1 приведены результаты расчета перегревов транзисторов УМ для разных вариантов конструктивной реализации радиатора БНК.

Таблица 1

Результаты расчетов перегревов транзисторов УМ

№ п/п	Вариант исполнения конструкции УМ	Перегрев, С°
1	Радиатор из алюминия, 2 транзистора	41
2	Радиатор из алюминия, 6 транзисторов	31
3	Радиатор из алюминия с медной пластиной, 2 транзистора	35
4	Радиатор из алюминия с медной пластиной, 6 транзисторов	27
5	Ступенчатый радиатор из алюминия, 2 транзистора	39
6	Ступенчатый радиатор из алюминия с медной пластиной, 2 транзистора	33

Из визуального анализа равномерности и однородности распределения теплового потока на моделях (рис.4–6) и из результатов расчета перегревов (табл.1) следует, что уменьшение количества теплонагруженных элементов ведет к большему перегреву. Медная пластина снижает перегрев с теплонагруженных элементов на 15-20%. Несмотря на больший перегрев при реализации схемы усиления с двумя двухтактными ячейками в оконечном каскаде УМ, в отличие от варианта с шестью, проблема локального перегрева в большей части может быть снята за счет применения ступенчатого радиатора, медной пластины или системы ЦВСО. Таким образом, принятие решения по выбору того или иного варианта схемотехнического решения УМ происходит на основе анализа тепловых режимов выходных ячеек, определяемого, в конечном счете, конструкцией охлаждающего радиатора.

### Выбор конструкции поддона рамы блока БНК с ЦВСО

Одним из первых этапов проектирования конструкций БРЭА является отработка конструкции элементов, обеспечивающих сопряжение БНК с ЦВСО, а именно поддона рамы БНК и трубы, подводящей воздух. Уже на этом этапе проектирования необходимо создавать благоприятные условия для обеспечения тепловых режимов всего блока и отдельных теплонагруженных элементов. В результате аэродинамического расчета и моделирования необходимо выяснить, для какого из заданных вариантов конструкции поддона воздух будет охватывать теплонагруженные элементы, а значит, являться наиболее пригодным для обеспечения теплового режима блока. Таким образом, критерий эффективности этапа

теплофизического и аэродинамического проектирования – максимально полный охват теплонагруженных элементов блока охлаждающей воздушной массой.

Рассмотрим стандартный прямоугольный поддон и проанализируем движение воздушного потока. В результате аэродинамического анализа можно сделать вывод о непригодности данного поддона для обеспечения нормального функционирования системы охлаждения блока, так как воздух не охватывает теплонагруженные зоны, а выходит в большей степени в конце поддона. На рис. 7 показана траектория движения воздушного потока со значениями скоростей, а на рис. 8 распределение поля скоростей на верхней грани (плоскости выхода воздушного потока) прямоугольного поддона.

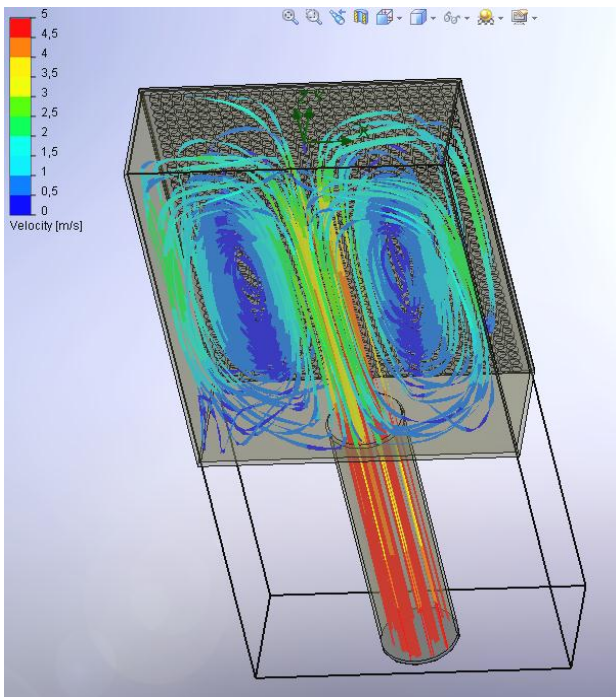


Рис. 7. Траектория движения воздушного потока в прямоугольном поддоне

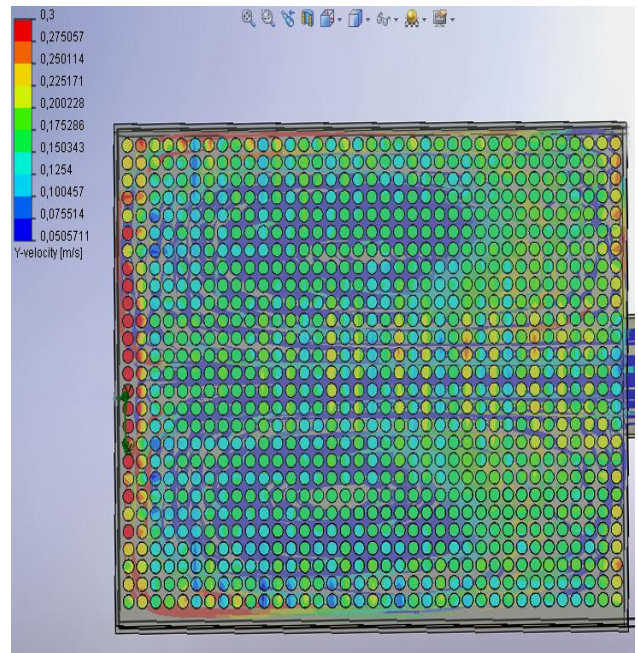


Рис. 8. Поле скоростей на выходе из прямоугольного поддона

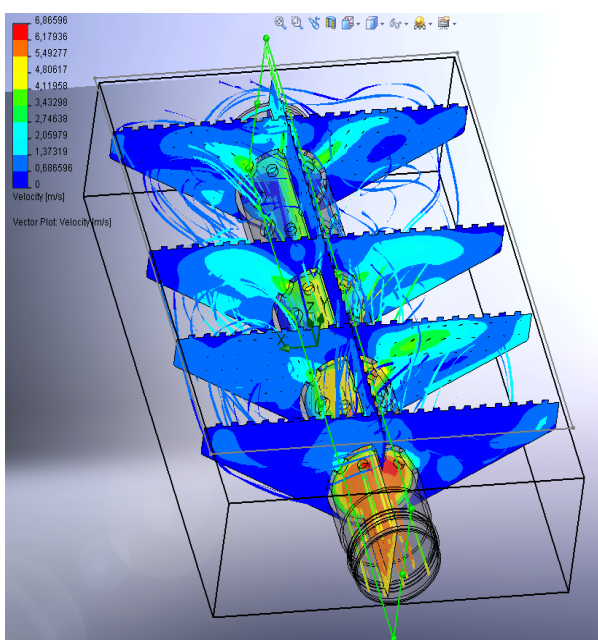


Рис. 9. Траектория движения воздушного потока в поддоне с перфорированной трубой

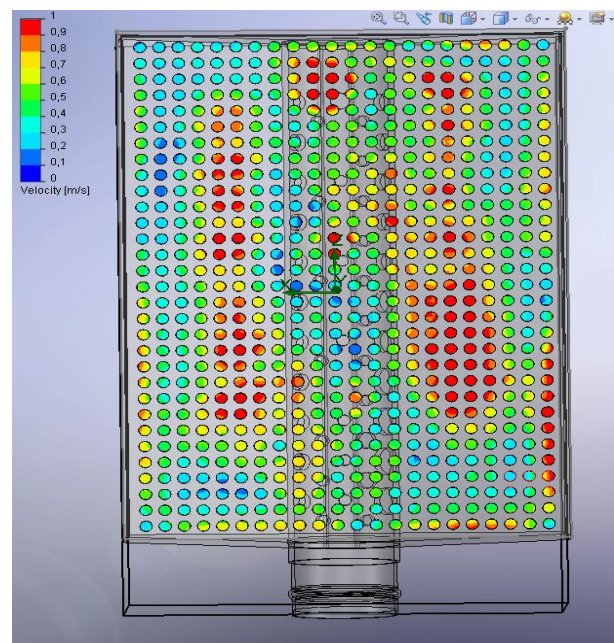


Рис. 10. Поле скоростей на выходе из поддона с перфорированной трубой

Рассмотрим альтернативный вариант конструкции поддона с перфорированной трубой и проанализируем движение воздушного потока. Визуальный анализ траекторий движения воздушного потока в зоне перфораций (рис. 9), а также полученные расчетные значения скоростей (рис. 10) позволяют сделать вывод о пригодности данного поддона для обеспечения нормального функционирования системы охлаждения блока, так как воздушные потоки равномерно охватывают теплонагруженные зоны, обеспечивая тем самым нормальные условия для теплообмена и охлаждения.

Таким образом, наиболее подходящей конструкцией поддона рамы БНК с ЦВСО, с учетом рассчитанных на аэродинамической модели движения охлаждающего воздуха, является конструкция поддона с перфорированной трубой. После принятия решения о выборе данной конструкции поддона рамы целесообразно проведение уточняющего аэродинамического и теплового расчета блока по скорректированным в соответствии с требованиями к уточненным моделям в пакете SolidWorksFloSimulation параметрам.

### Оптимизация геометрии и размеров внешнего радиатора с учетом аэродинамических характеристик охлаждающего воздуха

Ответственным этапом теплофизического проектирования конструкций БРЭА является отработка системы охлаждения РЭА с внешними радиаторами и внешними стенками, образующими канал для прохода воздуха. В результате аэродинамических расчетов и моделирования в программе SolidWorksFloSimulation определяются нежелательные аэродинамические эффекты, возникающие при обдуве вследствие неудачно выбранной геометрии и размеров радиатора и стенок, а также может быть выбрана геометрия направляющих, обеспечивающая оптимальное распределение воздушного потока в зоне радиаторов блока.

В ряде конструкций БРЭА с принудительной системой охлаждения наблюдается засасывание воздуха из окружающей среды в поддон, по причине возникновения в поддоне зоны пониженного давления. Это может ухудшить тепловой режим в блоке (рис. 11). Предотвратить засасывание воздуха в блок возможно путем введения в поддоне направляющих (рис. 12).

Анализ модели показал, что из-за уменьшения скорости воздушного потока, в области радиатора без стенки, высоту внешней направляющей стенки следует принимать размером не менее 75% высоты радиатора блока (рис. 12).

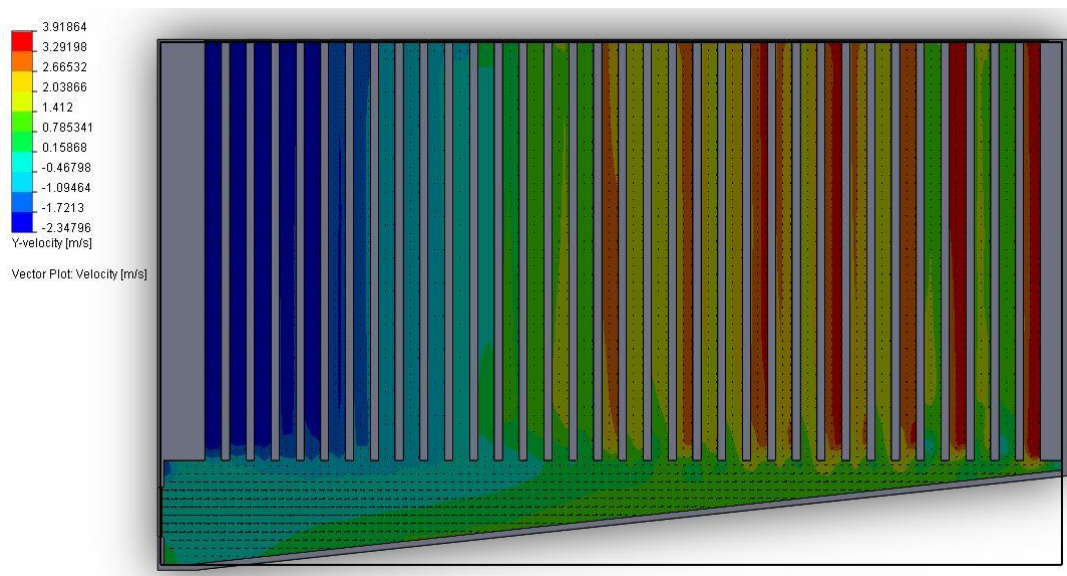
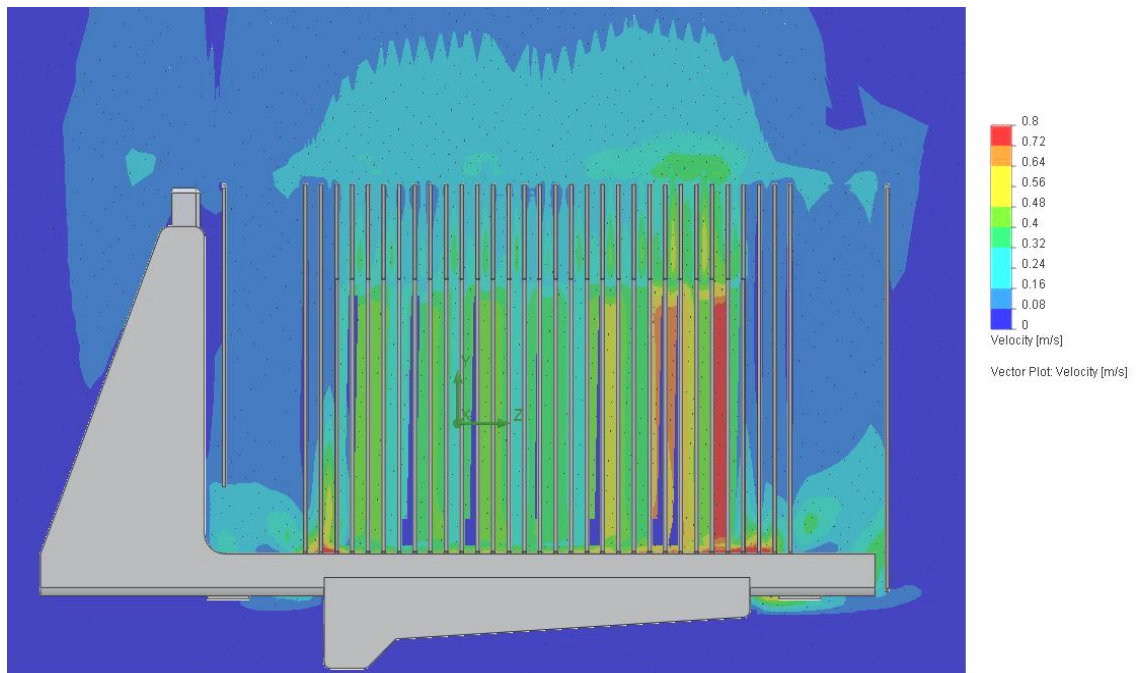


Рис. 11. Визуализация распределение воздушного потока с засасывание воздуха из окружающей среды в поддон



**Рис. 12. Визуализация распределения воздушного потока в области внешнего радиатора**

Исследования данной модели при изменении области продува позволяют выбрать оптимальные варианты сочетания размеров радиатора и внешних стенок. Однако при проектировании БНК следует учитывать, что местное расширение области продува с последующим сужением не желательно, в связи с тем, что данный участок будет работать по принципу резивера, это резко увеличивает аэродинамическое сопротивление и может изменить распределение потока, в заданном диапазоне расходов охлаждающего воздуха.

### Заключение

Применение программ аэрогидродинамического и теплового анализа позволяет рационально спроектировать систему воздушного охлаждения. Это дает возможность решить задачу температурной стабилизации в РЭА, которая, в свою очередь, улучшает показатели надежности, массогабаритные и качественные характеристики и, тем самым, повысить эффективность результатов конструкторско-технологического проектирования БРЭА.

### Библиографический список

1. **Белоусов, Е.Л.** Конструирование блоков бортовой авиационной аппаратуры связи / Е.Л. Белоусов, М.Н. Ушкар. – Н. Новгород: НГТУ, 2005. – 237 с.
2. Автоматизированная система АСОНИКА для моделирования физических процессов в радиоэлектронных средствах с учетом внешних воздействий / под ред. А.С. Шалумова. – М.: Радиотехника, 2013. – 424 с.
3. ОСТ 104057-88 “Оборудование бортовое. Параметры охлаждающего воздуха”.
4. **Алямовский, А.А.** Solid Works 2007/2008. Компьютерное моделирование в инженерной практике / А.А. Алямовский, А.А. Собачкин, Е.В. Одинцов. – СПб., 2008. – 1040 с.
5. **Ши, Д.** Численные методы в задачах теплообмена: [пер. с англ.] / Д. Ши. – М.: Мир, 1988. – 242 с.

6. Лужавин, Ю.И. Автоматизированный метод моделирования теплового режима при проектировании авиационной бортовой РЭА с принудительной системой охлаждения в пакетах SolidWorksSimulation и SolidWorksFloSimulation / Радиолокация, навигация, связь: материалы XVIII международной научно-технической конференции. – Воронеж: СЕКВОЕЕ, 2012. С. 78-83.

*Дата поступления  
в редакцию 21.10.2013*

**Yu.I. Luzhavin<sup>1</sup>, V.P. Khranilov<sup>2</sup>**

**INCREASE OF EFFICIENCY OF DESIGN  
AIR COOLING SYSTEMS ONBOARD AIRCRAFT RADIO ELECTRONIC EQUIPMENT  
BY MEANS OF INTERACTIVE MATHEMATICAL MODELLING**

JSC OLYOT Research & Production Company<sup>1</sup>,  
Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alekseev<sup>2</sup>

**Purpose:** To develop a technology of interactive design modeling of air cooling systems onboard aircraft radio electronics equipment are considered by means of the integrated SolidWorksFloSimulation package .

**Design/methodology/approach:** Application of the integrated SolidWorksFloSimulation package usage to design of air cooling systems onboard aircraft radio electronics equipment.

**Findings:** Problems of a local overheat of duple cells in the terminal cascade of the power amplifier are solved. Shows a block diagram of thermal analysis onboard radio electronic equipment with centralized air cooling systems.

**Research limitations/implications:** For designing of air cooling systems onboard aircraft radio electronic equipment.

**Originality/value:** The technology usage makes it possible to considerably improve design quality of designing air cooling systems onboard aircraft radio electronic equipment.

*Key words:* SolidWorksFloSimulation, simulation, flow distribution, aerodynamic analysis, cooling system, aviation onboard radio-electronic equipment, heat sink.

## МЕХАНИКА ЖИДКОСТИ, ГАЗА И ПЛАЗМЫ

УДК 532.6

Е.Л. Авербух, Д.Ю. Тюгин, А.А. Наумов, Е.Н. Чураев, Д.Ю. Смирнов

### АНАЛИЗ ЗАТУХАНИЯ ГРАВИТАЦИОННО-КАПИЛЛЯРНЫХ ВОЛН ПОД ДЕЙСТВИЕМ ПЛЕНОК ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

**Цель:** Исследование воздействия пленок поверхностно-активных веществ на гравитационно-капиллярные волны.**Метод:** В основе исследования лежит математический анализ зависимостей параметров гравитационно-капиллярных волн и пленок поверхностно-активных веществ.**Результаты:** Проведен анализ воздействия пленок поверхностно-активных веществ на короткие гравитационно-капиллярные волны для различных характеристик: дисперсионное соотношение, групповые и фазовые скорости (исследованы минимальные значения скоростей и соответствующие им волновые числа). Для анализа эффекта затухания рассмотрены изменения волнового декремента (молекулярного и экстремального) в зависимости от длины волны (волнового числа) и упругости.**Область применения:** Рассмотренные зависимости параметров применяются для корректировки пленочных образов на поверхности океана, в том числе в задачах идентификации данных дистанционного зондирования.*Ключевые слова:* короткие гравитационно-капиллярные волны, пленки, декремент, упругость.

#### Введение

Пленки поверхностно-активных веществ играют важную роль в динамике и экологии океана. Они практически повсеместно находятся на морской поверхности. Поверхностно-активные пленки обладают упругостью, которая препятствует ее сжатию в горизонтальном направлении. В областях сгущения пленки приводят к изменениям спектра ветровой ряби. Такое поверхностное проявление называют сликом. Причиной сгущения пленок поверхностно-активных веществ в естественных условиях являются неоднородность ветрового потока над поверхностью и связанные с этим дрейф пленки, течения и внутренние волны. Распознаванию различного рода волновых движений по форме слика посвящено множество работ. Среди них публикация [1], где представлен подробный анализ современного состояния в данной области и действующей системе классификации сликов от различных волновых структур; [2] посвящена практическим аспектам детектирования поверхностных проявлений различных течений и волн для морей России и современных программных комплексов для работы с такими оценками. В данной статье ограничимся рассмотрением коротких гравитационно-капиллярных волн и воздействием пленок на них.

#### Дисперсионное соотношение

Как известно, дисперсионное соотношение гравитационно-капиллярных волн на поверхности глубокого океана в отсутствие вязкости имеет следующий вид [3]:

$$\omega = \sqrt{gk + (\sigma/\rho)k^3}, \quad (1)$$

где  $\omega$  - волновая частота;  $k$  - волновое число монохроматической волны,  $g = 981 \text{ см/с}^2$  - ускорение свободного падения;  $\sigma$  коэффициент поверхностного натяжения, измеряемый в дин/см;  $\rho = 1 \text{ г/см}^3$  - плотность воды.

Коэффициент поверхностного натяжения зависит от многих параметров, в частности, от температуры, солёности и давления [3, 4]. Для нас здесь более важно, что коэффициент поверхностного натяжения очень чувствителен к параметрам пленок поверхностно-активных веществ, покрывающей водную поверхность. Для чистой воды при нормальных условиях  $\sigma = 72$  дин/см и примерно в два раза меньше для грязной воды. Дисперсионное соотношение показано на рис. 1, слева для чистой ( $\sigma = 72$  дин/см) и грязной ( $\sigma = 32$  дин/см) воды.

В логарифмических координатах наличие гравитационной и капиллярной ветвей (первого и второго слагаемых в (1)) дисперсионного соотношения очевидно, и влияние поверхностного натяжения значительно для коротких волн (только с длинами волн меньше 10 см). Для капиллярных волн разница между дисперсионными кривыми становится более очевидной (рис. 2, справа), если использовать линейные шкалы для обеих осей. Именно короткие ветровые волны играют важную роль в диагностике морской поверхности, так что их связь с характеристиками пленок на морской поверхности должна быть проанализирована.

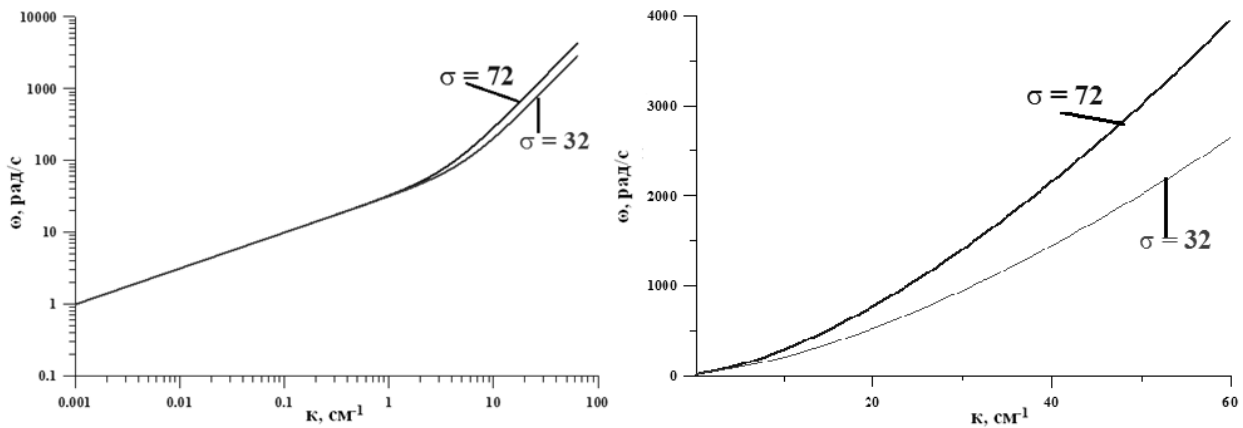


Рис. 1. Дисперсионное соотношение гравитационно-капиллярных волн на чистой и загрязненной воде: слева - логарифмические координаты; справа - линейные

### Групповая и фазовая скорость

Возбуждение волн ветром возможно, если скорость ветра превышает минимальные значения скоростей распространения волн на воде. Сильное взаимодействие ветровых волн с течениями также зависит от их относительной скорости. Ввиду дисперсии, имеется две скорости ветровых волн, одна из них – фазовая скорость,  $c_{ph}$  определяет скорость индивидуальных волн, а другая - групповая скорость,  $c_{gr}$  определяет движение группы волн как целого. Они определяются из (1) следующим образом:

$$c_{ph} = \frac{\omega}{k} = \sqrt{\frac{g}{k} + (\sigma/\rho)k}, \tag{2}$$

$$c_{gr} = \frac{d\omega}{dk} = \frac{1}{2} \frac{g + 3(\sigma/\rho)k^2}{\sqrt{gk + (\sigma/\rho)k^3}}. \tag{3}$$

Фазовая скорость гравитационно-капиллярных волн представлена на рис. 2, а. Как функция волнового числа эта функция не является монотонной кривой, и минимальное значение фазовой скорости равно

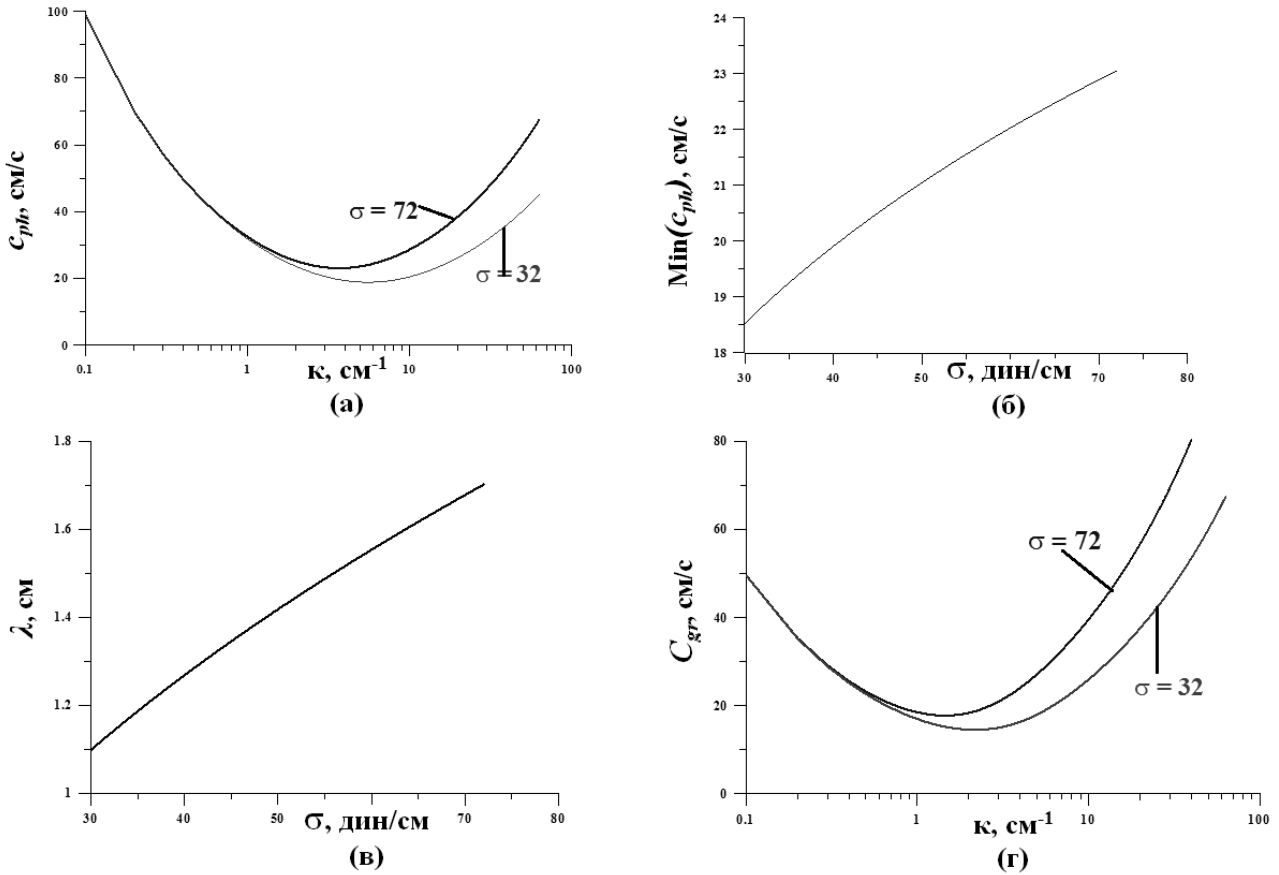
$$\min(c_{ph}) = \sqrt{2\sqrt{g\sigma/\rho}}, \tag{4}$$

которое достигается при

$$k_{\min} = \sqrt{g\rho/\sigma}. \tag{5}$$

Пленки с небольшим значением поверхностного натяжения ведут к уменьшению

минимальной фазовой скорости до нескольких см/с (рис. 2, б). С формальной точки зрения, более медленные волны можно возбудить более слабым ветровым потоком, если работает механизм Филлипса [5]. Длина волны с минимальным значением фазовой скорости стремится к 1 см на грязной воде (рис. 2, в).



**Рис. 2.** Фазовая скорость гравитационно-капиллярных волн на чистой и загрязненной воде (а); - инимальное значение фазовой скорости капиллярных волн для разных поверхностных натяжений (б); зависимость длины волны с минимальным значением фазовой скорости от поверхностного натяжения (в); групповая скорость гравитационно-капиллярных волн на чистой и грязной воде (г)

Групповая скорость также уменьшается с уменьшением поверхностного натяжения (рис. 2, г). Минимальная групповая скорость

$$\min(c_{gr}) = \sqrt[4]{g\sigma/\rho} \frac{\sqrt{3}(\sqrt{3}-1)^2}{2\sqrt{\frac{2}{\sqrt{3}}-1}} \approx 1.086(g\sigma/\rho)^{1/4} \approx 0.768 \min(c_{ph}) \quad (6)$$

достигается при волновом числе

$$\tilde{k} = \sqrt{g\rho/\sigma} \sqrt{\frac{2}{\sqrt{3}}-1} \approx 0.393k_{\min}. \quad (7)$$

Следовательно, наличие пленки ведет к уменьшению минимального значения групповой скорости до 15 см/с для волн длиной 3 - 5 см. Это важно для определения оптимальных условий резонансных взаимодействий между короткими волнами и океаническими течениями. Более слабые течения могут блокировать волновую рябь, если морская поверхность покрыта пленкой.

Экспериментально влияние пленок поверхностно-активных веществ на скорость распространения коротких волн изучалось в лотке Тель-Авивского университета [6]. Как и



ожидалось, относительное отклонение фазовой скорости из-за присутствия пленки не превышает 1.5% даже для довольно коротких волн.

### Эффект затухания

В реальной морской воде как в вязкой жидкости важен эффект затухания гравитационно-капиллярных волн в подповерхностном слое. Эта проблема в приближении слабого затухания линейных гравитационно-капиллярных волн изучалась почти 40 лет назад, и мы можем воспроизвести хорошо известную формулу для волнового декремента,  $\gamma$  [7-10]:

$$\gamma = 2\nu k^2 \frac{\frac{2\nu k^2}{\omega} - \frac{Ek^3}{\rho\omega^2} \sqrt{\frac{2\nu k^2}{\omega}} + \frac{E^2 k^6}{2\rho^2\omega^4} \sqrt{\frac{\omega}{2\nu k^2}}}{\frac{2\nu k^2}{\omega} - \frac{2Ek^3}{\rho\omega^2} \sqrt{\frac{2\nu k^2}{\omega}} + \frac{2E^2 k^6}{\rho^2\omega^4}}, \quad (8)$$

где  $\nu \approx 0.01 \text{ см}^2/\text{с}$  - кинематическая вязкость;  $E$  - модуль упругости (измеренный в дин/см), определяемый через поверхностное натяжение;  $\sigma$  и концентрацию пленки,  $\Gamma$

$$E = -\Gamma \frac{d\sigma}{d\Gamma}. \quad (9)$$

Декремент затухания гравитационно-капиллярных волн очень сильно зависит от упругости пленки поверхностно-активных веществ, в отличие от ее поверхностного натяжения, поэтому при исследовании диссипации ветровой ряби можно брать в качестве поверхностного натяжения его значение для чистой воды. В этом случае пленки будут характеризоваться только одним параметром – модулем упругости,  $E$ . Если пленки нет ( $E = 0$ ), выражение (8) совпадает с декрементом для волн в вязкой жидкости [3]

$$\gamma_0 = 2\nu k^2. \quad (10)$$

Молекулярная вязкость ведет к очень слабому затуханию ветровой ряби (ее декремент значительно меньше частоты волны) для длин волн больших, чем 0.01 мм. Для “жестких” пленок поверхностно-активных веществ с большим значением эластичности, декремент ветровой ряби есть

$$\gamma_\infty = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\nu k^2 \omega}{2}}. \quad (11)$$

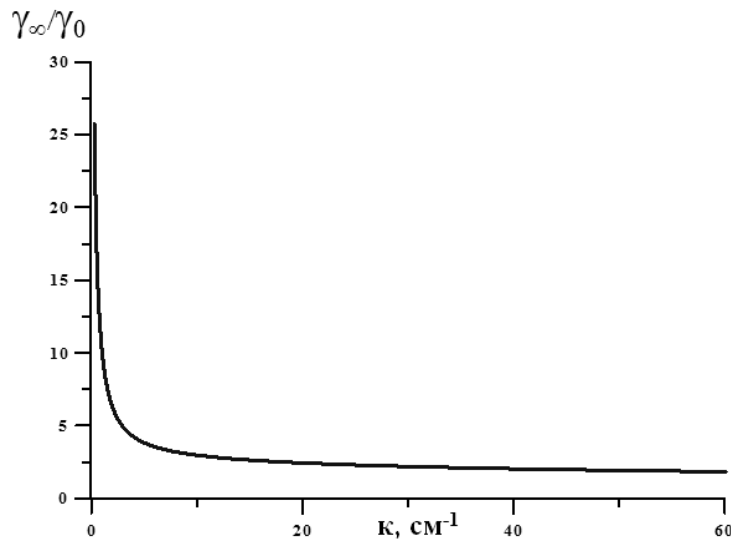


Рис. 3. Сравнение декремента затухания волн на чистой воде  $\gamma_0$  и покрытой жесткой пленкой  $\gamma_\infty$

Декремент затухания ветровой ряби и в этом случае остается меньше частоты волны для волн с длиной большей 0.01 мм. Но его отношение к декременту затухания волны на чистой воде,  $\gamma_\infty/\gamma_0$  меняется очень значительно (рис. 3). Оно превышает фактор 2 для ряби длиной 2 мм и больше и становится равным 1 - для волн с длиной несколько см и больше. Этот простейший анализ показывает важность пленок в динамике ветровых волн на поверхности моря.

Выражение (8) определяет семейство кривых декремента затухания ряби от волнового числа,  $k$  и упругости пленки,  $E$ . Как функция упругости пленки декремент затухания ряби немонотонная кривая; он растет от молекулярного значения (10) с ростом упругости и потом убывает, стремясь к асимптотическому значению (11) в пределе “твердых” пленок. Эти кривые показаны на рис. 4 для ветровой ряби с длинами 2 - 5 см.

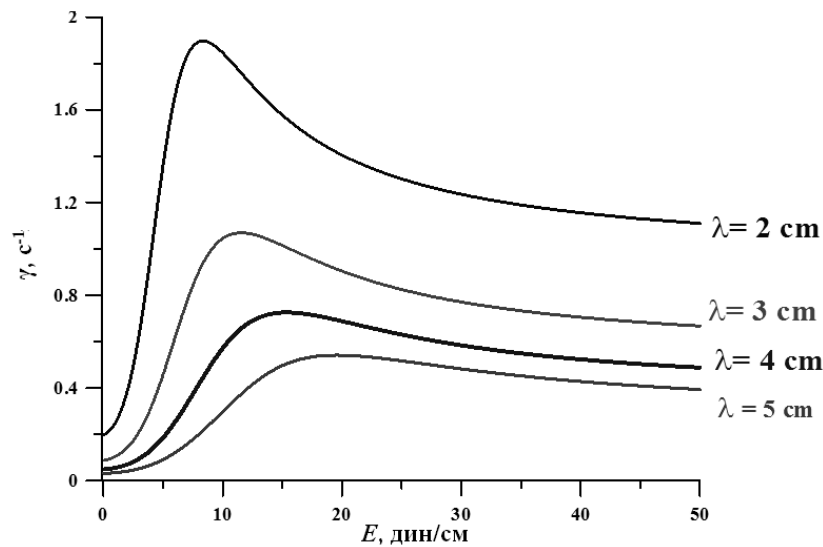


Рис. 4. Зависимость декремента ряби разной длины от упругости пленки

Местонахождение и значение экстремальной точки зависят от длины волны. Для определения экстремума удобно использовать безразмерные переменные: относительный молекулярный декремент:

$$\gamma_m = \frac{\gamma_0}{\omega} = \frac{2\nu k^2}{\omega}, \quad (12)$$

и относительная упругость

$$P = \frac{Ek^3}{\rho\omega^2}. \quad (13)$$

Тогда формула (8) может быть переписана следующим образом:

$$\delta = \frac{\gamma}{\gamma_0} = \frac{\gamma_m - P\sqrt{\gamma_m} + \frac{P^2}{2\sqrt{\gamma_m}}}{\gamma_m - 2P\sqrt{\gamma_m} + 2P^2}. \quad (14)$$

Простейший анализ экстремума этой функции по отношению к упругости дает следующие значения [11]:

$$P_* = \sqrt{\gamma_m}, \quad \delta_* = \frac{1}{2\sqrt{\gamma_m}}. \quad (15)$$

В размерных переменных максимальное значение декремента волн есть

$$\gamma_{\max} = \sqrt{\frac{\nu k^2 \omega}{2}} = 2\gamma_\infty, \quad (16)$$

и оно достигается при упругости

$$\frac{E_{ext}}{\rho} = \frac{\sqrt{2\nu\omega^3}}{k^2}. \quad (17)$$

Сопоставление молекулярного ( $\gamma_0$ ) и экстремально пленочного ( $\gamma_{max}$ ) декрементов показано на рис. 5 для длин волн в диапазоне 0.1 - 10 см.

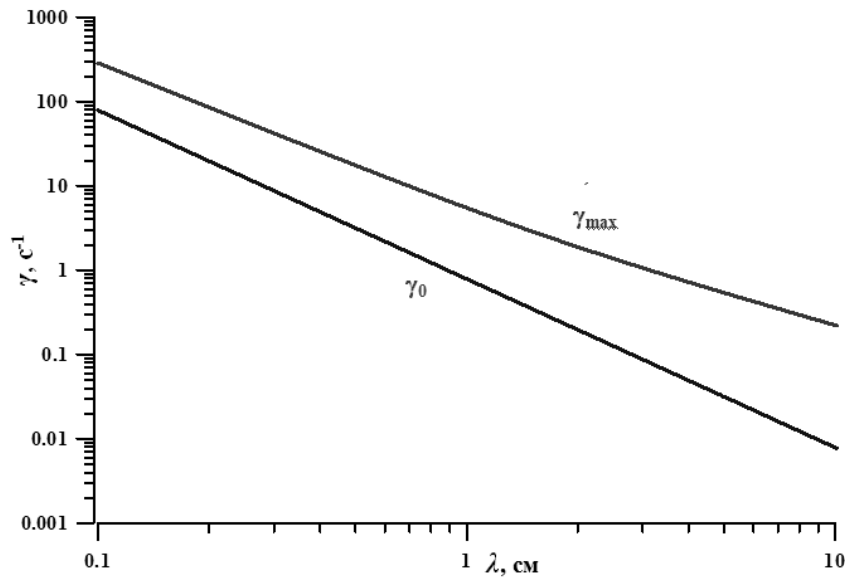


Рис. 5. Сопоставление  $\gamma_{max}$  экстремального декремента коротких волн и  $\gamma_0$  молекулярного декремента на чистой воде

Величина «экстремальной» упругости  $E_{ext}$  имеет важное физическое значение, потому что оно характеризует свойства пленки поверхностно-активных веществ, ведущее к сильному волновому затуханию. Эти значения для разных длин волн показано на рис. 6. Относительная величина экстремальной упругости к плотности воды почти не меняется в диапазоне 0.1 – 3 см, оно приблизительно равно  $10 \text{ см}^3/\text{с}^2$  с минимальным значением  $6.7 \text{ см}^3/\text{с}^2$ . Такие небольшие значения упругости можно легко наблюдать в реальных условиях моря.

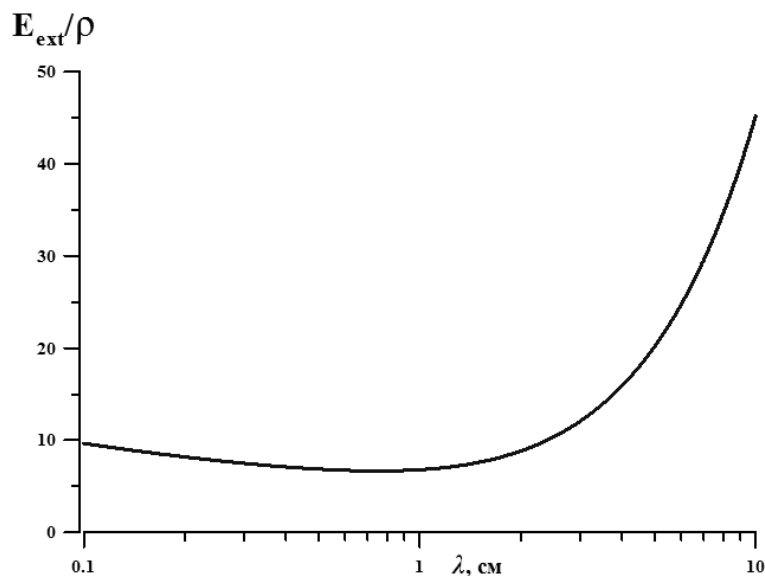


Рис. 6. Изменение экстремальной упругости от длины волны

Таким образом, в данной работе проведен анализ воздействия пленок поверхностно-активных веществ на короткие гравитационно-капиллярные волны для различных параметров: дисперсионного соотношения, групповых и фазовых скоростей (исследованы минимальные значения скоростей и соответствующие им волновые числа). Для анализа эффекта затухания рассмотрены изменения волнового декремента (молекулярного и экстремального) в зависимости от длины волны (волнового числа) и различной упругости.

Представленные результаты поисковой научно-исследовательской работы получены в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы» (14.В37.21.0611, 14.132.21.1814) и стипендии Президента Российской Федерации (СП-202.2013.5).

### Библиографический список

1. **Иванов, А.Ю.** Стики и пленочные образования на космических радиолокационных изображениях // Исследование Земли из космоса. 2007. № 3. С. 73–6.
2. Комплексный спутниковый мониторинг морей России / О.Ю. Лаврова [др.]. – М.: ИКИ РАН, 2011. – 480 с.
3. **Левич, В.Г.** Физико-химическая гидродинамика / В.Г. Левич. – М.: Физматгиз, 1959. – 699 с.
4. **Сретенский, Л.Н.** Теория волновых движений жидкости / Л.Н. Сретенский. – М.: Наука, 1977. – 816 с.
5. **Филлипс, О. М.** Динамика верхнего слоя океана / О. М. Филлипс. – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – 319 с.
6. Shemer L., Shamesse M., Talipova T. On the phase velocity of gravity - capillary surface waves. In Issue // Subsurface oceanic layer: Physical processes and remote sensing. 1999, Institute of Applied Physics Press, Nizhny Novgorod, Russia, (in English). P. 277-293.
7. Dorrestein R. General linearized theory of the effect of surface films on water ripples // Proc. K. Ned. Akad. Wet. B 54, 1951. P.2 60.
8. **Garrett, W.D.** Stabilization of air bubbles at the air-sea interface by surface-active material // Deep Sea Research and Oceanographic Abstracts, v 14, Issue 6, 1967. P. 661–672
9. Lucassen J, Hansen R. S. Damping of waves on monolayer-covered surfaces: I. Systems with Negligible Surface Dilational Viscosity// Journal of Colloid and Interface Science, v 22, Issue 1.1966. P. 32–44.
10. Lucassen J, Hansen R. S. Damping of waves on monolayer-covered surfaces: II. Influence of bulk-to-surface diffusional interchange on ripple characteristics // Journal of Colloid and Interface Science, v. 23, Issue 3, 1967. P. 319–328.
11. **Ермаков, С.А.** Влияние пленок на динамику гравитационно-капиллярных волн / С.А. Ермаков. – Нижний Новгород: ИПФ РАН, 2010. – 164 с.

Дата поступления  
в редакцию 01.11.2013

**E. Averbukh, D. Tyugin, A. Naumov, E. Churaev, D. Smirnov**

### DAMPING ANALYSIS OF GRAVITY-CAPILLARY WAVES UNDER THE INFLUENCE OF SURFACTANT

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.T. Flexeev

**Purpose:** Investigation of influence of the surfactant's film on the gravity-capillary waves.

**Method:** The research is based on mathematical analysis of parameters of gravity - capillary waves and surfactant.

**Results:** The studies were carried out to describe the impact of surfactant on short gravity-capillary waves for different characteristics: the dispersion relation, group and phase velocities (minimal velocities' value and their wave numbers). During the analysis of damping effect we discuss changes of the wave decrement (molecular and extreme) relate to wavelength (wave number), and elasticity.

**Application domain:** Considered dependences of the parameters applied to correct the film forms on the ocean surface, including the problems of identification of remote sensing data.

*Key words:* short gravity-capillary wave, film, decrement, elasticity.

УДК 551.46

И. Ф. Николкина<sup>1</sup>, И. И. Диденкулова<sup>1,2</sup>, Е.Н. Пелиновский<sup>2-4</sup>, Е.Г. Шургалина<sup>2</sup>,  
А.А. Наумов<sup>2</sup>, А.С. Панкратов<sup>2</sup>, Е.А. Рувинская<sup>2</sup>

## ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫЕ ОПОЛЗНЕВЫЕ ЗОНЫ НА БЕРЕГАХ ВОДОЕМОВ НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

Институт Кибернетики, Таллинский технический университет, Таллин, Эстония<sup>1</sup>,  
Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева<sup>2</sup>,  
Институт прикладной физики РАН, Н. Новгород<sup>3</sup>,  
Высшая школа экономики, Н. Новгород<sup>4</sup>

Собраны описания оползневых явлений на берегах водоемов Нижегородской области. За период с 2001 по 2011 год найдено 15 таких событий, большинство которых сосредоточено на берегах рек Волга и Ока. Один из оползней (Горбатов, 2001) сошел непосредственно в реку Ока и мог сопровождаться локальным цунами.

*Ключевые слова:* оползни, водоемы, реки, Нижегородская область, Россия.

### Введение

Ежегодно на территории России 21% природных чрезвычайных ситуаций вызывается оползнями, обвалами, селями и сильными снегопадами [1]. В 1965–1999 гг. 11% экономических потерь от природных катастроф обусловлено оползнями и обвалами [2]. В то же время оползни, возникающие на берегах водоемов, представляют собой двойную опасность, поскольку одновременно могут являться источниками возникновения локальных цунами.

Одно из самых ярких событий произошло в 1597 году в Нижнем Новгороде, когда огромный оползень, разрушивший Печерский монастырь, сошел в Волгу более, чем на 100 м, и возбудил локальное цунами, так что «образовавшиеся в реке волны выбросили стоящие на воде под монастырем суда более, чем на 40 м вглубь берега» [3].

Последнее событие такого рода было зарегистрировано в феврале 2012 года в Восточной Сибири, когда землетрясение магнитудой  $M_w = 6.8$  сгенерировало большую волну типа цунами на реке Мерген вблизи села Сарыг-Сеп, Республика Тыва, Россия. «Из-за сильных толчков вода оказалась поверх льда и устремилась к населенным пунктам» [4, 5].

Каталог таких цунамиподобных явлений в российских внутренних водоемах за период 1597–1996 гг. был собран и проанализирован в [6, 7]. Показано, что в половине случаев цунами было вызвано оползнями на берегах рек.

Ранее в [8] был проведен анализ оползневой опасности для берегов Горьковского моря Нижегородской области и приведены некоторые данные об оползневой опасности, а также сделана оценка устойчивости склонов. В данной работе мы исследуем оползневые явления, возникающие на берегах нижегородских водоемов и приводим каталог таких событий за последние десять лет (2001–2011 гг). При этом мы включаем в каталог все береговые оползни вне зависимости от того, сошел оползень в воду или остановился при подходе к ней, изучая, таким образом, потенциально опасные береговые зоны для возникновения цунами в Нижегородской области.

### Оползневая активность на территории России и в Нижегородской области

Среди факторов образования оползней на территории России выделяют прежде всего интенсивные осадки, таяние снега, приводящие к большому поверхностному стоку, а также грунтовые воды, которые явились причиной нижегородского оползня 1597 года. В сейсмоактивных районах оползни также могут быть вызваны землетрясениями.

Однако главной причиной образования оползней (до 80%) является антропогенный фактор [9], и преобладающее число оползней возникает из-за утечек воды из коммуникаций и подтопления территорий (оползень в г. Н. Новгород 7 апреля 2011 г., оползень в с. Безводное Кстовского района Нижегородской области в августе 2009 г.), искусственных подрезок склонов (оползни в г. Ханты-Мансийск с июня 2007 г. по ноябрь 2009 г., оползень в г. Красноярск в апреле 2010 г., оползень в п. Гузерипль, республика Адыгея в октябре 2010 г.), вибрационного воздействия работающих механизмов и других техногенных факторов.

На территории России оползни наиболее интенсивно распространены на Северном Кавказе, Камчатке, Сахалине, в Забайкалье, Поволжье [9]. Им подвержено более 700 городов России [5]. В Поволжье повторяемость катастрофических событий, связанных с оползнями, составляет один раз в 8–12 лет [10].

В 2006 году 14% (1009 событий) проявлений оползневой активности по территории Приволжского округа произошло в Нижегородской области [11]. В среднем за год регистрируется один-два оползня, обусловленных совокупным действием климатических условий, подземных вод и техногенного фактора [12]. В Нижегородской области оползневой активностью наиболее поражены г. Н. Новгород и территории в Богородском, Кстовском, Павловском, Лысковском, Воротынском районах [12] (рис. 1). Как видно из рис. 1, большинство этих районов расположено вдоль рек, что также свидетельствует о возможности возбуждения локальных цунами. Наиболее сильно поражены оползнями склоны рек Оки и Волги; с 1946 года здесь было зафиксировано 522 деформации [13].



**Рис. 1. Районы, подверженные оползням в Нижегородской области; положения оползней, произошедших за 2001-2011; оползни на склонах водоемов Нижегородской области в 2001–2011 гг.**

Мы проанализировали данные об оползнях в Нижегородской области за 2001-2011 гг. и отобрали 15 относительно хорошо документированных событий, произошедших на береговых склонах водоемов и способных сгенерировать локальное цунами (рис. 1); их описание приведено далее в хронологическом порядке, данные об оползнях также обобщены в табл. 1. Данные о среднем угле берегового склона взяты из [14], если не указано другое. Ширина и максимальная глубина водоема в месте схода оползня взяты из [15].

В апреле 2001 года в г. Горбатов Павловского района огромная площадь откоса правобережья реки Оки сползла на 20 м в реку «вместе с 27 домами, столбами, проводами, огородами, с людьми и животными» [16]. Отметим, что это единственное событие нашего каталога, где оползень сходит непосредственно в реку, которое вполне могло сопровождаться возбуждением небольшого локального цунами. В описаниях, однако, этого

не отмечено. Как правило, высота образовавшихся волн цунами пропорциональна толщине оползня [17]. Принимая среднюю толщину оползней по Нижегородской области равной 1 м, получаем, что и высота образовавшихся волн могла быть около 1 м. Поскольку оползень сошел в реку всего на 20 м, то образовавшаяся волна, вероятно, не успела усилиться и осталась около 1 м высотой, а затем по мере распространения ослабла до 10 см. Такая волна не является катастрофической, однако, может привести к неприятным последствиям.

15 апреля 2004 года около 16:00 (местное время) на берегу реки Волга у с. Сомовка Воротынского района возник оползень, захвативший склон на протяжении более 70 м на участке с нитками водоводов [18]. Были разрушены конструкции родникового водозабора, без центрального водоснабжения остались 712 жителей села и ферма, где находится 490 голов крупного рогатого скота [19].

9 ноября 2004 года крупный оползень ( $7\ 000\text{--}10\ 000\ \text{м}^3$ , высота 30 м, длина 100-150 м) был зарегистрирован на берегу реки Ока в районе Сартаково в Богородском районе (рис. 2). В результате обвала грунта произошло обрушение двух дачных домиков вместе с хозяйственными постройками, насаждениями и деревянным забором [3, 18, 20].



**Рис. 2. Оползень в деревне Сартаково Богородского района 9 ноября 2004 года**

Весной 2005 года в Нижнем Новгороде произошел оползень около Консервного завода и оползень в деревне Кузнечиха на берегу Третьего Щелоковского озера [21].

В апреле 2005 года в Нижнем Новгороде зафиксирована оплывина ( $8\times 8\ \text{м}$ , глубиной до 1 м, около  $70\ \text{м}^3$ ) в районе мечети, трамплина и гаражного кооператива на склоне Кошелевского оврага [22].

13 апреля 2005 года в Почаинском овраге Нижнего Новгорода произошел оползень объемом  $450\text{--}500\ \text{м}^3$ . Причиной оползневой деформации грунта явилось инфильтрация грунта в месте схода оползня из-за обильного поступления воды по быстротоку (бетонному лотку) со стороны стадиона «Динамо» [23, 24].

25 апреля 2005 года на Верхне-Волжской набережной г. Нижний Новгород произошел оползень (объем до  $400\ \text{м}^3$ , площадь  $13\times 27\ \text{м}$ , глубина 1.2 м). В результате оползня в районе дома №10 частично разрушен пролет ограждения. Причиной оползня стало переувлажнение грунта из-за активных поверхностных стоков со стороны набережной [22, 25].

[26] апреля 2005 года в селе Афонино Кстовского района в результате перенасыщения почвы грунтовыми водами произошел оползень. В связи с оползнем 5 домов были отключены от газоснабжения [26].

15 декабря 2005 года в 14:50 по местному времени на ул. 3-я Ямская Нижегородского района, г. Нижний Новгород, в районе Малого Красного оврага произошел оползень (объем более  $12\ 000\ \text{м}^3$ , глубина стенки срыва грунта до 10 м), вызванный переувлажнением грунта [27–33].

5 апреля 2008 года в Нижнем Новгороде на участке Большого Красного оврага образовался оползень (площадь  $7\ 000\ \text{м}^2$ , толщина до 5 м), который вызвал локальную чрезвычайную ситуацию: возникли критические деформации жилого дома, разрушены

коттедж и котельная (рис. 3). К факторам, вызвавшим оползень, относятся высокая крутизна склона, низкая прочность грунтов и строительство в приобводной части оврага. Основным оползнеобразующим фактором стало интенсивное таяние снега, в качестве дополнительного фактора выступили утечки из водонесущих коммуникаций [34].

13 декабря 2008 года в Нижнем Новгороде на правом склоне Кошелевского оврага активировался оползень ( $1\ 000\ \text{м}^3$ ,  $1\ 500\ \text{м}^2$ , длина 25 м) (рис. 4). Несколько жилых домов оказалось в оползневой зоне, часть пешеходной дорожки сползла в овраг, нарушена система противооползневых сооружений [34–32]. Основными оползне-образующими факторами названы климатические условия и большая крутизна склона [33].



Рис. 3. Оползень в Большом Красном овраге в Нижнем Новгороде 5 апреля 2008 года

В августе 2009 года оползень ( $4000\ \text{м}^2$ , длина 100 м, ширина 40 м, толщина 0.2–3 м) на правом берегу Волжского склона в районе с. Безводное Кстовского района вызвал возникновение локальной чрезвычайной ситуации. Оползень обусловлен техногенными причинами, триггерными факторами явились климатические условия и выходы подземных вод, вскрытых в результате перепланировки склона [33].

В ноябре 2009 года на откосе набережной Федоровского Нижнего Новгорода произошел оползень высотой до 15 м. Часть земли съехала на асфальт, брусчатка местами обвалилась, и образовались неглубокие ямы. Причина обвала – утечка на водоводе в котельной: вода проникла в грунт, и склон не выдержал напора [34].



Рис. 4. Оползень в Кошелевском овраге в Нижнем Новгороде 15 декабря 2008 года: склон реки Волга (слева), разрушенная пешеходная дорожка (справа)

7 апреля 2011 года в Нижнем Новгороде на правом склоне Кошелевского оврага произошел оползень циркулярной формы (площадь  $3\ 744\ \text{м}^2$ , длина 52 м, ширина 22–72 м, толщина 0.5–5 м), обусловивший возникновение локальной чрезвычайной ситуации (рис. 5). Активизацией был захвачен весь склон оврага. Основными факторами активизации оползня



стали климатические условия (выпадение обильных осадков в виде снега), триггерными – техногенный фактор (утечки из водонесущих коммуникаций жилых домов и с автомойки). Пешеходная дорожка, проходящая в средней части склона, была разрушена, дорога на плато частично разрушена в краевой части. Первые проявления оползня на данном участке склона произошли весной 1964 года, когда в средней части склона оврага образовался поверхностный оползень течения длиной 18 м, шириной 12 м [35].



Рис. 5. Оползень в Кошелевском овраге в Нижнем Новгороде в апреле 2011 года

### Выводы

Собраны описания оползневых явлений на берегах водоемов Нижегородской области в 2001–2011 гг. Всего выделено 15 событий, из которых 14 произошли на берегах рек Волга и Ока и одно (весной 2005 г.) – на берегу Третьего Щелоковского озера. Сводка данных об оползнях приведена в табл. 1. Почти все оползни были вызваны климатическими условиями: выпадением обильных осадков в виде дождя или снега, за исключением одного события в августе 2009, вызванного выходом грунтовых вод. Сезонное распределение возникновения оползневых явлений полностью определяется климатическими условиями (рис. 6). Так, большинство оползней (10 событий) произошло в апреле, во время интенсивного таяния снега. По два события также зарегистрированы в ноябре и декабре.

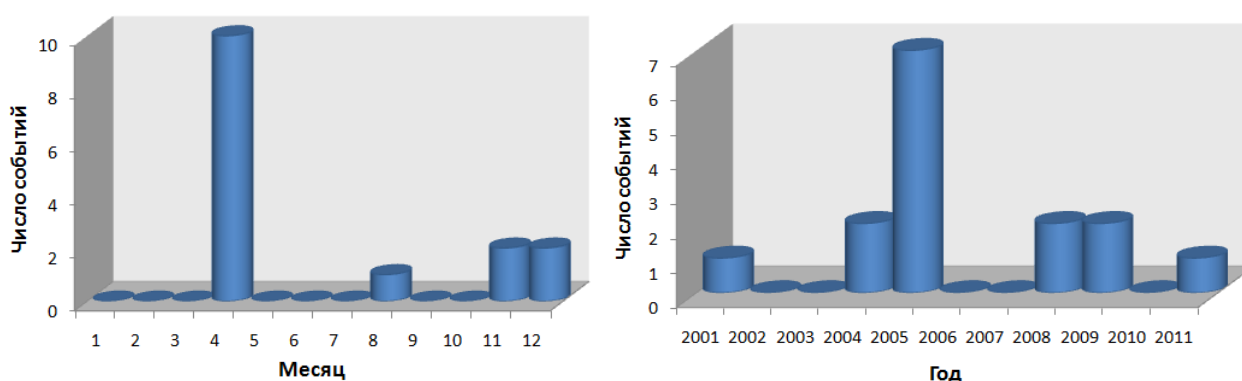


Рис. 6. Распределение оползневых событий по месяцам (слева) и годам (справа)

Распределение оползневых событий по годам показано на рис. 6. Из рисунка видно, что в 2001-2011 гг. происходило не более одного-двух событий в год, за исключением 2005 г., когда было зафиксировано семи оползневых явлений на склонах водоемов. Это может быть связано с особенно сильным половодьем 2005 года, которое характеризовалось более поздними сроками начала по отношению к среднесезонным датам (на семь-десять дней позже), интенсивным снеготаянием из-за резкого потепления, и носило остропиковый характер. В результате, высшие уровни воды на большинстве рек Верхне-Волжского

бассейна были на 0.4–1.0 м выше среднегодовых значений, на некоторых реках (Цивиль, Ветлуга, Клязьма) они превысили норму в 1.5–2.2 раза. На многих реках наблюдалось превышение уровней воды над критическими, что вызвало подтопление больших территорий бассейна, населенных пунктов, объектов экономики [37].

Одно из 15 событий, произошедшее в г. Горбатов в 2001 году, сопровождалось сходом оползня в реку, что могло вызвать локальное цунами с высотой волн до 1 м [38].

Оползни продолжают представлять опасность в области, так, 11 апреля 2012 года в Нижнем Новгороде на Зеленском съезде напротив Театральной лестницы в Почаинский овраг съехал большой кусок грунта, вместе с ним часть пешеходной дорожки, дорожный знак «пешеходный переход» и мусорный бак [39]; трамвайные пути, которые проходят рядом, в тот же день были перекрыты [40, 41] (рис. 7).



Рис. 7. Оползень 12 апреля 2012 года в Почаинском овраге в Нижнем Новгороде 12 апреля 2012 года (слева), (справа)

Таблица 1

Параметры некоторых оползней Нижегородской области в 2001-2011 гг.

N	Параметры оползня				Средний угол склона	Ширина водоема, м	Глубина водоема, м
	Дата	Расположение	Параметры	Ущерб			
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Апрель 2001	Горбатов, Павловский р-н	огромная площадь откоса правобережья реки Оки сползла на 20 м в реку	27 домов, столбы, провода, огороды с людьми и животными сползли в реку	10°	551	47
2	15.04.2004	Сомовка, Воротынский р-н		разрушены конструкции родникового водозабора	10°	968	124
3	9.11.2004	Сартаково, Богородский р-н	7 000-10 000 м <sup>3</sup> , длина 100-150 м на высоте 30 м		8°	171	28

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8
4	Весна 2005	ул. Родионова, 134, Н.Новгород			13°	176	28
5		Кузнечиха, Н.Новгород			1°	ширина 110 м, длина 520 м	
6	Апрель 2005	Кошелевский овраг, Н.Новгород	70 м <sup>3</sup> , 8×8 м, до 1 м толщиной		30-40° [36]	206	12
7	13.04.2005	Почаинский овраг, Н.Новгород	450-500 м <sup>3</sup>		25-40° [36]	2670	52
8	25.04.2005	Верхне- Волжская набережная, 10, Н.Новгород	до 400 м <sup>3</sup> , 13×27 м, толщина 1.2 м	Частично разрушен пролет ограждения	11°	1284	45
9	[26].04.20 05	Афонино, Кстовский р-н		Нанесен ущерб домам 8 и 10 по улице Садовой	1°	960	49
10	15.12.2005	Малый Красный овраг, Н.Новгород	> 12 000 м <sup>3</sup> на высоте 10 м		33-42° [36]	702	46
11	5.04.2008	Большой Красный овраг, Н.Новгород	7 000 м <sup>2</sup> , толщина до 5 м	Разрушены коттедж и котельная	32-45° [36]	520	46
12	13.12.2008	Кошелевский овраг, Н.Новгород	1 000 м <sup>3</sup> , 1 500 м <sup>2</sup> , длина 25 м	часть пешеходной дорожки сползла в овраг, нарушена система противоополз невых сооружений	30-42° [36]	188	12
13	август 2009	Безводное, Кстовский р-н	4000 м <sup>2</sup> , длина 100 м, ширина 40 м, толщина 0.2-3 м		11°	1217	8
14	ноябрь 2009	набережная Федоровского, Н.Новгород	на высоте 15 м	Часть земли съехала на асфальт, брусчатка обвалилась, образовались ямы	8°	2670	42
15	7.04.2011	Кошелевский овраг, Н.Новгород	3 744 м <sup>2</sup> , длина 52 м, ширина 22-72 м, толщина 0.5-5 м	Пешеходная дорожка и дорога на плато разрушены	30-42° [36]	188	12

Представленные результаты получены в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 гг. Работа также выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ (12-05-33087, 13-05-97037), гранта Президента РФ (МК-1440.2012.5), грантов (SF0140007s11 и ETF8870) и программы Mobilitas ESF (EMJD270).

#### Библиографический список

1. **Акимов, В.А.** Основы анализа и управления риском в природной и техногенной сферах / В.А. Акимов, В.В. Лесных, Н.Н. Радаев. – М.: Деловой экспресс, 2004. – 352 с.
2. **Осипов, В.И.** Природные катастрофы на рубеже XXI века [Электронный ресурс] / В. И. Осипов // Вестник РАН. 2001. Т. 71. № 4. С. 291-302. <http://vivovoco.rsl.ru/VV/JOURNAL/VRAN/CATA/CATA.HTM/>. Дата обращения: 16.05.2012.
3. **Гациский, А.С.** Нижегородский летописец / А.С. Гациский. – Н. Новгород: Нижегородская ярмарка, 2001. – 716 с.
4. Вести.Ru [Электронный ресурс]. <http://www.vesti.ru/doc.html?id=727094/>. Дата обращения: 16.05.2012.
5. ГС РАН, Геофизическая служба Российской академии наук. <http://www.ceme.gsras.ru/>. Дата обращения: 16.05.2012.
6. **Didenkulova, I.I.** Phenomena similar to tsunamis in Russian internal basins / I.I. Didenkulova, E.N. Pelinovsky // Russ. J. Earth Sci. – 2006. – V. 8, ES6002, doi:10.2205/2006ES000211.
7. **Диденкулова, И.И.** Цунамиподобные явления в российских внутренних водоемах / И.И. Диденкулова, Е.Н. Пелиновский // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2009. № 3. С. 52–64.
8. **Хвостова, О.Е.** Оценка запаса устойчивости склонов береговой линии Горьковского водохранилища // Труды НГТУ. 2010. № 4(83). С. 50–61.
9. XXI век – вызовы и угрозы / под ред. Владимирова В.А. – ЦСИ ГЗ МЧС России. – М.: Ин-октаво, 2005. – 304 с.
10. Стратегические риски России: оценка и прогноз / под ред. Воробьев Ю.Л. – МЧС России. – М.: Деловой экспресс, 2005. – 392 с.
11. Информационный бюллетень о состоянии недр на территории Российской Федерации в 2006 году [Электронный ресурс]. – Вып. 30. – Москва: ООО «Геоинформмарк», 2007. – 256 с. <http://www.geomonitoring.ru/>. Дата обращения: 16.05.2012.
12. Минэкологии и природных ресурсов Нижегородской области. Состояние окружающей среды и природных ресурсов Нижегородской области в 2010 году [Электронный ресурс]. – 2011. <http://www.mpr-nn.ru/index.php/2010-04-27-01-54-41/827--2010->. Дата обращения: 16.05.2012.
13. Минэкологии и природных ресурсов Нижегородской области. Состояние окружающей среды и природных ресурсов Нижегородской области в 2009 году [Электронный ресурс] / под ред. Гагарина Ю.Н., Косариковой Т.А. – 2010. – 289 с. <http://www.mpr-nn.ru/index.php/2010-04-27-01-54-41/758--2009-/>. Дата обращения: 16.05.2012.
14. Google Earth 6.1.0.5001 [Электронный ресурс] / Google Inc. – 2011. Режим доступа: <http://www.google.com/earth/index.html/>. Дата обращения: 16.05.2012.
15. Лоции и карты водоемов [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.rspin.com/maps.html/>. Дата обращения: 16.05.2012.
16. Селяне, Павлово и Павловский район, новости, события, факты [Электронный ресурс]. <http://seliane.ru/archives/1695/>. Дата обращения: 16.05.2012.
17. **Didenkulova, I.** Tsunami waves generated by submarine landslides of variable volume: analytical solutions for a basin of variable depth / I. Didenkulova, I. Nikolkina, E. Pelinovsky, N. Zahibo // Nat. Hazard. Earth Syst. Sci. 2010. V.10. № 11. С. 2407-2419.
18. Информационный бюллетень о состоянии недр на территории Российской Федерации в 2004 году [Электронный ресурс]. – Москва: ООО "Геоинформмарк", 2005. Вып. 28. – 176 с. <http://www.geomonitoring.ru/>. Дата обращения: 16.05.2012.
19. РИА «Время Н», Региональное информационное агентство Правительства Нижегородской области [Электронный ресурс]. [http://www.vremyan.ru/news/BD954EB0\\_3647\\_AC2C\\_F372\\_FDE343131A7E/](http://www.vremyan.ru/news/BD954EB0_3647_AC2C_F372_FDE343131A7E/). Дата обращения: 16.05.2012.
20. Новый Регион – Нижний Новгород, Трансрегиональная медиа-группа «NR2.Ru» [Электронный ресурс]. <http://www.nr2.ru/7989.html/>. Дата обращения: 16.05.2012.

21. РИА «Время Н», Региональное информационное агентство Правительства Нижегородской области [Электронный ресурс]. [http://www.vremyan.ru/news/FA1E17A5\\_B61B\\_0D13\\_1E45\\_2F56335FF8BB/](http://www.vremyan.ru/news/FA1E17A5_B61B_0D13_1E45_2F56335FF8BB/). Дата обращения: 16.05.2012.
22. РИА «Время Н», Региональное информационное агентство Правительства Нижегородской области [Электронный ресурс]. [http://www.vremyan.ru/news/02B6680C\\_F20C\\_F201\\_7B70\\_0D23FF7DDE7F/](http://www.vremyan.ru/news/02B6680C_F20C_F201_7B70_0D23FF7DDE7F/). Дата обращения: 16.05.2012.
23. ВГТРК, Всероссийская государственная телевизионная и радиовещательная компания [Электронный ресурс]. <http://nnovgorod.rfn.ru/rnews.html?id=2445&cid=7&date=25-04-2005/>. Дата обращения: 16.05.2012.
24. РИА «Время Н», Региональное информационное агентство Правительства Нижегородской области [Электронный ресурс]. [http://www.vremyan.ru/news/46AFD6EC\\_4CEA\\_C30F\\_A0A1\\_0667D233A9B6/](http://www.vremyan.ru/news/46AFD6EC_4CEA_C30F_A0A1_0667D233A9B6/). Дата обращения: 16.05.2012.
25. ВГТРК, Всероссийская государственная телевизионная и радиовещательная компания [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://nnovgorod.rfn.ru/rnews.html?id=2473/>. Дата обращения: 16.05.2012.
26. РИА «Время Н», Региональное информационное агентство Правительства Нижегородской области [Электронный ресурс]. [http://www.vremyan.ru/news/AD7B3F64\\_EF2A\\_8B36\\_167C\\_D6F236F65154/](http://www.vremyan.ru/news/AD7B3F64_EF2A_8B36_167C_D6F236F65154/). Дата обращения: 16.05.2012.
27. РИА «Время Н», Региональное информационное агентство Правительства Нижегородской области [Электронный ресурс]. [http://www.vremyan.ru/news/618CDBC5\\_302B\\_4A6B\\_V3DD\\_9B4B94071F2D/](http://www.vremyan.ru/news/618CDBC5_302B_4A6B_V3DD_9B4B94071F2D/). Дата обращения: 16.05.2012.
28. Новый Регион – Нижний Новгород, Трансрегиональная медиа-группа NR2.Ru [Электронный ресурс]. <http://www.nr2.ru/nn/49954.html/>. Дата обращения: 16.05.2012.
29. ВГТРК, Всероссийская государственная телевизионная и радиовещательная компания [Электронный ресурс]. <http://nnovgorod.rfn.ru/rnews.html?id=5285/>. Дата обращения: 16.05.2012.
30. Информационный бюллетень о состоянии недр на территории Российской Федерации в 2008 году [Электронный ресурс]. – Москва: ООО "Геоинформмарк", 2009. Вып. 32. – 212 с. <http://www.geomonitoring.ru/>. Дата обращения: 16.05.2012.
31. Известия [Электронный ресурс]. <http://www.izvestia.ru/news/343931/>. Дата обращения: 16.05.2012.
32. НТА-Приволжье, ООО «Нижегородское телекоммуникационное агентство» [Электронный ресурс]. <http://www.nta-nn.ru/news/item/?ID=186492/>. Дата обращения: 16.05.2012.
33. Информационная сводка о проявлениях экзогенных геологических процессов на территории Российской Федерации за III квартал 2009 года [Электронный ресурс] / сост. Вожик А.А., Маркарьян В.В. – М.: Центр мониторинга состояния недр, 2009. – 76 с. [http://www.geomonitoring.ru/arhiv\\_egpsv.html](http://www.geomonitoring.ru/arhiv_egpsv.html). Дата обращения: 16.05.2012.
34. ННТВ, Нижегородская государственная областная телерадиокомпания [Электронный ресурс]. <http://www.nntv.nnov.ru/?id=24710/>. Дата обращения: 16.05.2012.
35. Информационная сводка о проявлениях экзогенных геологических процессов на территории Российской Федерации за II квартал 2011 года [Электронный ресурс] / сост. Шамурзаева Д.А., Вожик А.А., Маркарьян В.В. – М.: Центр мониторинга состояния недр. – 33 с. [http://www.geomonitoring.ru/arhiv\\_egpsv.html](http://www.geomonitoring.ru/arhiv_egpsv.html). Дата обращения: 16.05.2012.
36. Казнов, С. Д. Освоение городских оврагов и склонов / С. Д. Казнов; Моск. гос. акад. приборостроения и информатики. – Н. Новгород: Изд-во ННГАСУ, 1995. – 142 с.
37. Верхне-Волжское бассейновое водное управление [Электронный ресурс]. <http://www.vvbvu.ru/>. Дата обращения: 16.05.2012.
38. **Nikolkina, I.** River landslides in Nizhny Novgorod region and a possibility of local tsunami generation / I. Nikolkina, I. Didenkulova // IEEE/OES US/EU-Baltic International Symposium, 2012. – 978-1-4673-1414-5/12/\$31.00, PID2324101.
39. Интернет-компания НН.РУ [Электронный ресурс]. <http://www.nn.ru/info/news/?news=12098108/>. Дата обращения: 16.05.2012.
40. Новая Газета в Нижнем Новгороде [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://novayagazeta-nn.ru/2012/230/opasnye-popolzneniya.html/>. Дата обращения: 16.05.2012.
41. Российская газета [Электронный ресурс]. <http://www.rg.ru/2012/04/13/reg-pfo/opolzen-anons.html/>. Дата обращения: 16.05.2012.

Дата поступления  
в редакцию 01.11.2013

I. Nikolkina<sup>1</sup>, I. Didenkulova<sup>1,2</sup>, E. Pelinovsky<sup>2-4</sup>, E. Shurgalina<sup>2</sup>, A. Naumov<sup>2</sup>,  
A. Pankratov<sup>2</sup>, E. Rouvinskaya<sup>2</sup>

## HAZARDOUS LANDSLIDES ALONG WATER BASINS OF NIZHNY NOVGOROD REGION

Institute of cybernetics, Tallinn university of technology, Tallinn, Estonia <sup>1</sup>,  
Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev, Nizhny Novgorod, Russia<sup>2</sup>,  
Institute of applied physics of the Russian academy of sciences, Nizhny Novgorod <sup>3</sup>,  
Russia, Higher school of economics, Nizhny Novgorod, Russia <sup>4</sup>

**Purpose:** The current situation of landslide occurrence along water basins of Nizhny Novgorod region is discussed, and the possibility of tsunami generation is studied.

**Design/methodology/approach:** The catalogue of landslides along water basins is constructed using information of events in mass media in 2001–2011.

**Findings:** It is shown that in 2001–2011 years, 15 landslides along river water reservoirs (mainly Oka and Volga rivers) were documented and one of them, which occurred in Gorbatov in 2001, slid into the water and induced tsunami.

**Research limitations/implications:** The present paper makes a contribution to studies of landslide and landslide-related dangers in the coastal zones of Nizhny Novgorod region.

**Originality/value:** In the focus of hazardous manifestations of landslides along the coasts, the possibility of tsunami generation in the water basins of Nizhny Novgorod region is vital.

*Key words:* landslides, basin, rivers, Nizhny Novgorod region, Russia.

---

# ИНФОРМАТИКА И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

---

УДК 004.023

О.П. Тимофеева, Э.С. Соколова, К.В. Милов

## ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ В ОПТИМИЗАЦИИ УПАКОВКИ КОНТЕЙНЕРОВ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

**Цель:** Построение модели и алгоритма решения задачи ортогональной упаковки контейнеров.

**Методология / подход:** Применение генетического алгоритма

**Результаты:** В результате моделирования получено решение задачи упаковки контейнеров, обладающее высокой плотностью упаковки с минимальным числом контейнеров.

**Применение:** Решение задачи раскроя-упаковки на производстве.

**Оригинальность / значение:** Предложенный подход позволяет решать задачи компоновки в пространствах большой размерности.

*Ключевые слова:* генетический алгоритм, методы оптимизации, двумерная упаковка контейнеров, настройка генетического алгоритма, декодеры.

Среди проблем теоретической информатики важное место занимает создание информационных моделей сложных технологических процессов. При создании таких моделей формулируются требования к технологическим процессам, выявляются и описываются существующие ограничения, выбираются и адаптируются методы оптимизации к решению конкретных прикладных задач. Поиск решений такого рода сложных задач реализуется с помощью эвристических алгоритмов, при этом точность и скорость получения решения влияет на эффективность работы технологических систем.

При анализе однородных данных большой размерности хорошо зарекомендовали себя генетические алгоритмы, представляющие оптимизацию полного перебора решений. Они легко адаптируются и настраиваются при изменении параметров модели исследуемого объекта, что повышает качество системы управления сложными процессами.

Рассмотрим решение задачи компоновки, представляющей класс задач комбинаторной оптимизации. В реальных производственных условиях достаточно часто встречаются задачи раскроя и упаковки. Их объединяет необходимость установления определенного соответствия между двумя группами, как правило, больших и малых объектов.

Задачи раскроя-упаковки имеют различное прикладное приложение. Наиболее часто решаются задачи ортогональной упаковки и раскроя, где в качестве малых объектов выступают заготовки прямоугольной формы – прямоугольники или ящики различных размеров, а в качестве крупных – материал, поступающий в виде полос, рулонов, прямоугольных листов, стержней или контейнеров различной вместимости.

Эти задачи представляют собой проблему как теоретического, так и практического плана, которая в течение последних десятилетий привлекает внимание многих исследователей и производителей. Причина растущего интереса к задачам раскроя-упаковки состоит

в их разнообразии и сложности, связанной с поиском достаточно точного решения в пространстве большой размерности. Мощным инструментом решения такого рода сложных задач являются самообучающиеся генетические алгоритмы.

Задача заключается в упаковке  $n$  прямоугольников  $R_i, i = \overline{1, n}$ , для которых заданы  $w_i, h_i, isOrient_i$  – соответственно ширина, высота и возможность вращения  $i$ -го прямоугольника, в контейнеры ограниченного размера ( $W$  – ширина контейнера,  $H$  – высота контейнера). Ортогональная упаковка без перекрытий данного набора прямоугольников должна иметь максимальную плотность упаковки и занимать минимальное количество контейнеров.

Для формализации задачи введем следующие дополнительные параметры:  $w_{ic}$  – ширина  $i$ -го прямоугольника, находящегося в  $c$ -ом контейнере;  $h_{ic}$  – высота  $i$ -го прямоугольника, находящегося в  $c$ -м контейнере;  $a_{ic}$  – коэффициент, показывающий, входит ли  $i$ -й прямоугольник в число тех, которые определяют ширину упаковки в  $c$ -м контейнере ( $a_{ic} = [0, 1]$ );  $b_{ic}$  – коэффициент, показывающий, входит ли  $i$ -й прямоугольник в число тех, которые определяют высоту упаковки в  $c$ -м контейнере ( $b_{ic} = [0, 1]$ );  $n$  – число прямоугольников;  $k$  – число занятых контейнеров;  $\varphi$  – целевая функция, характеризующая плотность упаковки минимально возможного числа контейнеров. С учетом этих параметров математическая постановка задачи выглядит следующим образом (1):

$$\left\{ \begin{array}{l} \varphi = \frac{\sum_{c=1}^k \sum_{i=1}^n w_{ic} h_{ic}}{k \cdot H \cdot W} \rightarrow \max; \\ R = \{R_1, R_2, \dots, R_n\}, \\ \sum_{c=1}^k a_{ic} w_{ic} \leq W, \quad c = \overline{1, k}; \\ \sum_{c=1}^k b_{ic} h_{ic} \leq H, \quad c = \overline{1, k}; \\ isOrient_i, \quad i = \overline{1, n}. \end{array} \right. \quad (1)$$

Остановимся подробнее на виде целевой функции. Во-первых, она должна обеспечивать минимум занятых контейнеров. Во-вторых, будем считать, что чем больше коэффициент упаковки начальных контейнеров, тем лучше. Первому условию удовлетворяет соотношение:

$$\frac{\sum_{c=1}^k \sum_{i=1}^n w_{ic} h_{ic}}{k \cdot H \cdot W}. \quad (2)$$

Второму условию соотношение (2) не удовлетворяет, так как при одинаковом количестве занятых контейнеров целевые функции будут равны, вне зависимости от того, как упакованы прямоугольники внутри контейнеров. Следовательно, может сложиться ситуация, что вариант с неполной упаковкой  $k$  контейнеров будет идентичен варианту, в котором первые  $(k-1)$  контейнер упакованы полностью, а в последнем,  $k$ -м контейнере, находится остаток. Для учета второго условия изменим целевую функцию, поделив сумму всех прямоугольников в каждом из контейнеров на некий изменяющийся коэффициент, которым будет выступать номер контейнера. В результате получим целевую функцию следующего вида:



$$\varphi = \frac{\sum_{c=1}^k \frac{\sum_{i=1}^n w_{ic} h_{ic}}{c}}{k \cdot H \cdot W} \quad (3)$$

Из постановки задачи (1) следуют три типа задач, которые будут рассмотрены в данной работе:

- 1) не все прямоугольники можно вращать при упаковке ( $isOrient=(true/false)$ );
- 2) все прямоугольники можно вращать ( $isOrient=true$ );
- 3) прямоугольники вращать нельзя ( $isOrient=false$ ).

В качестве структуры данных, несущей информацию об упаковке, предлагается использовать последовательность номеров прямоугольников, представляющую собой очередность упаковки, которая называется приоритетным списком  $PL = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$  [1]. Приоритетный список - это закодированное решение, в терминах генетического алгоритма - «хромосома», каждый элемент  $p_i$  которого хранит параметры  $i$ -го прямоугольника, с учетом того, что он размещен в  $c$ -м контейнере:  $p_i = \{w_{ic}, h_{ic}, isOrient_i, orient_i, x_{ic}, y_{ic}, c\}$ ; где  $c$  - номер контейнера, в который помещен прямоугольник  $p_i$ ;  $(x_{ic}, y_{ic})$  - координаты нижней левой точки прямоугольника  $p_i$  в  $c$ -м контейнере. Приоритетный список является косвенной схемой кодирования решения.

Декодер - оператор, позволяющий перейти от косвенной (числовой) схемы кодирования решения задачи к прямой (графической) схеме, он формирует карту раскроя по приоритетному списку. Таким образом, с помощью декодера можно получить координаты прямоугольников, а значит, и графическое представление решения задачи, а также вычислить значение целевой функции. В работе используется два типа декодеров.

В [1] подробно рассмотрена работа декодеров при упаковке прямоугольников в неограниченную полосу. В рассматриваемой задаче прямоугольники упаковываются в контейнеры, которые имеют ограничение, как по ширине, так и по высоте, поэтому работа декодеров модифицируется.

Оператор декодер «Нижний левый» (BL) пытается разместить прямоугольник  $p_i$  ( $i = \overline{1, n}$ ) в первый контейнер, начиная от верхнего правого угла, вниз, насколько это возможно, затем влево, насколько это возможно, снова вниз и т.д., а если прямоугольник не умещается, пытается разместить его во второй контейнер, и т.д. Если же прямоугольник не помещается ни в один из уже существующих контейнеров, то создается новый контейнер и прямоугольник  $p_i$  помещается в него (рис. 1). Преимущество здесь имеет движение влево [1].

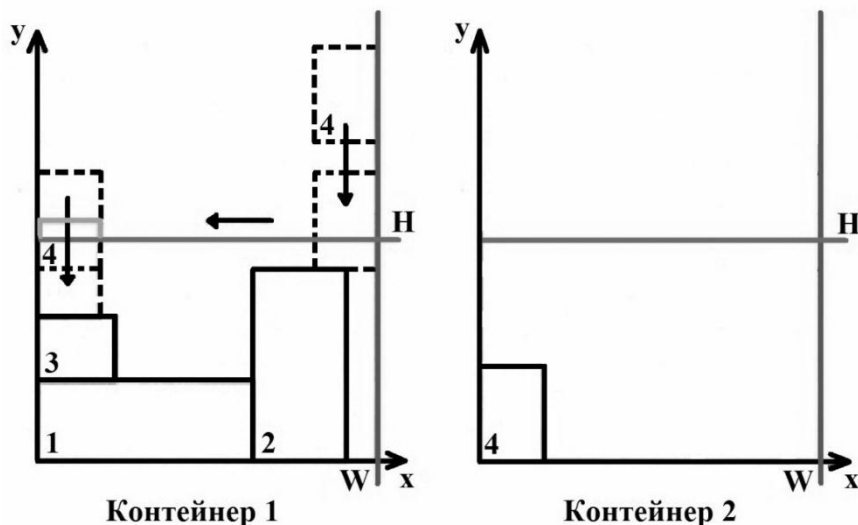


Рис. 1. Декодер «Нижний левый»

Оператор декодер «Усовершенствованный нижний левый» (IBL) пытается разместить прямоугольник  $p_i$  ( $i = \overline{1, n}$ ) в первый контейнер, начиная от верхнего правого угла, вниз настолько, насколько это возможно, затем влево, пока не появится возможность переместить его вниз, снова влево и т.д. Если прямоугольник не уместится, то декодер пытается разместить его во второй контейнер, и т.д. Если же прямоугольник не помещается ни в один из уже существующих контейнеров, то создается новый контейнер и прямоугольник  $p_i$  помещается в него (рис. 2). При этом движение вниз имеет преимущество [2].

Поиск оптимальной с точки зрения плотности упаковки минимально возможного числа контейнеров (3) производится в работе с помощью генетического алгоритма, основные этапы которого описаны в [3, 4].

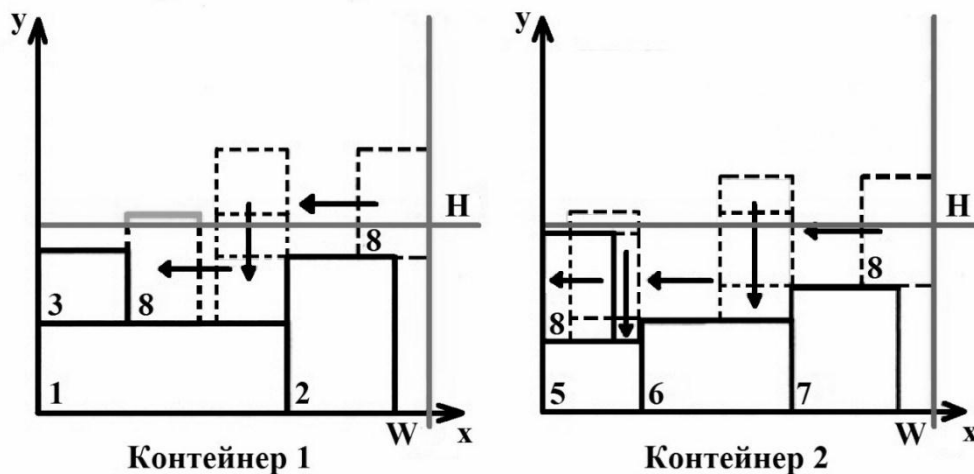


Рис. 2. Декодер «Усовершенствованный нижний левый»

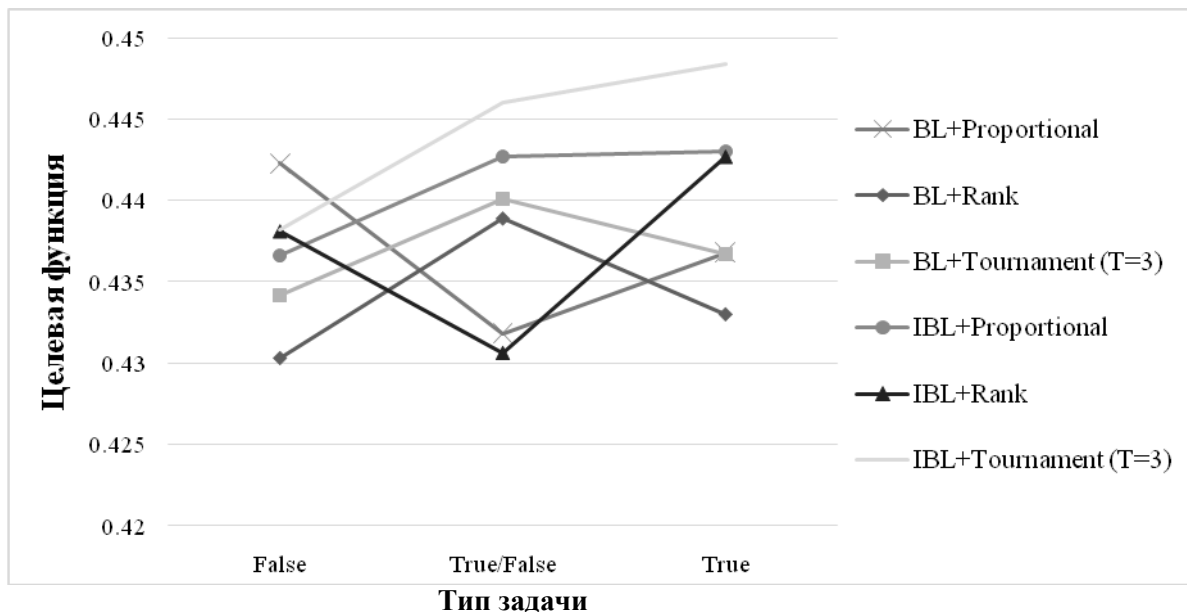


Рис. 3. Зависимость целевой функции от типа декодера и вида селекции для рассматриваемых задач

При решении поставленной задачи пришлось учитывать ее специфику, и, как следствие, модифицировать работу операторов генетического алгоритма. В частности, модифи-

цирован оператор скрещивания, где после применения оператора кроссовера проводится анализ содержания полученного решения на предмет повтора номеров прямоугольников с последующим добавлением отсутствующих. Такая ситуация встречается как при использовании одноточечного, так и двухточечного кроссовера. Модифицирован также оператор мутации: сначала происходит смена порядка прямоугольников в приоритетном списке, а затем значение параметра вращения прямоугольников изменяется на противоположное (если это позволяют сделать условия задачи). Тип декодера определяет карту раскроя и, следовательно, влияет на значение целевой функции.

С помощью разработанного программного обеспечения произведено моделирование, которое позволило настроить параметры генетического алгоритма для решения задачи двумерной упаковки контейнеров в соответствии с ее размерностью и видами прямоугольников, определяемыми значениями коэффициентов  $K^{st}$  отношения их сторон.

На рис. 3, 4, 5 показан выбор декодера и параметров генетического алгоритма для рассматриваемых типов задач при  $n=100$ ,  $W=300$ ,  $H=300$ ; и не сильно отличающихся значениях  $K^{st}$ .

По итогам первого моделирования были выбраны три наилучших результата, и проведено второе моделирование, в котором сравнивались методы скрещивания (рис. 4).

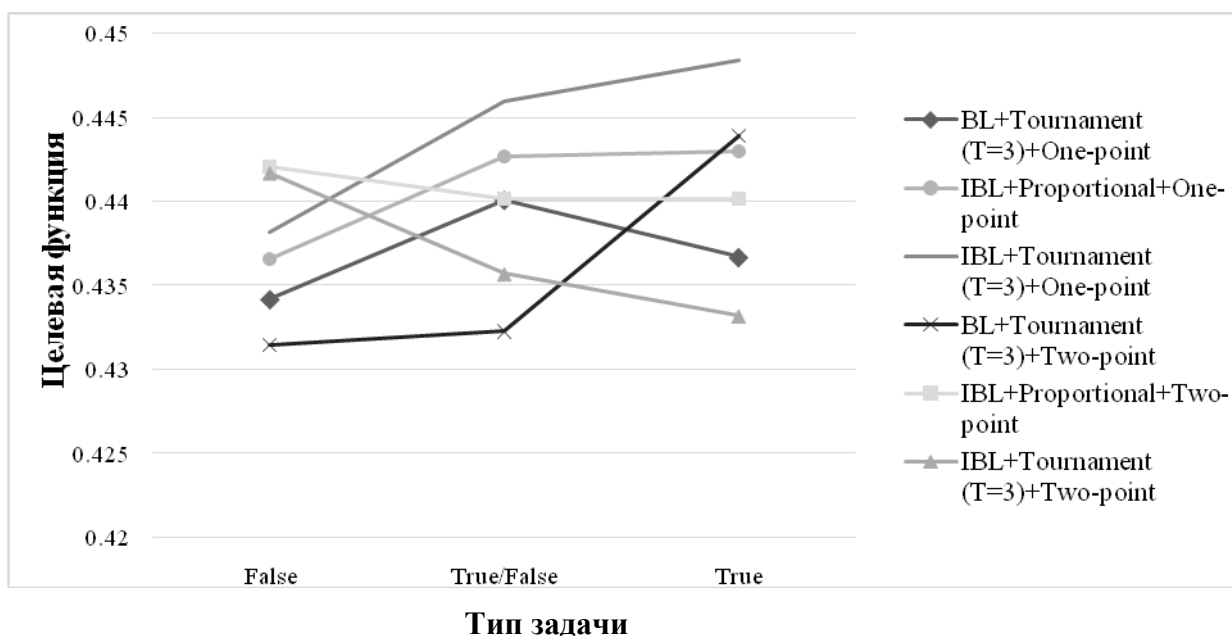


Рис. 4. Зависимость целевой функции от типа декодера, вида селекции и метода скрещивания для рассматриваемых задач

Третье моделирование было проведено с двумя лучшими результатами второго моделирования при изменяющемся коэффициенте формирования нового поколения. Моделирование проведено для задачи  $isOrient = True/False$  (рис. 5).

Результатом работы явился адаптированный к задаче упаковки генетический алгоритм с возможностью настройки параметров в зависимости от исходных данных и выбором различных видов декодеров. При этом количество контейнеров и подлежащих упаковке прямоугольников варьировались таким образом, что решение включало упаковку свыше 100 прямоугольников. Моделирование показало, что настройка параметров генетического алгоритма и выбор типа декодера существенно влияют на значение целевой функции. В результате моделирования в зависимости от входных данных задачи генетический алгоритм настраивается таким образом, чтобы решение задачи упаковки контейнеров обладало высокой плотностью упаковки при минимально возможном числе контейнеров.

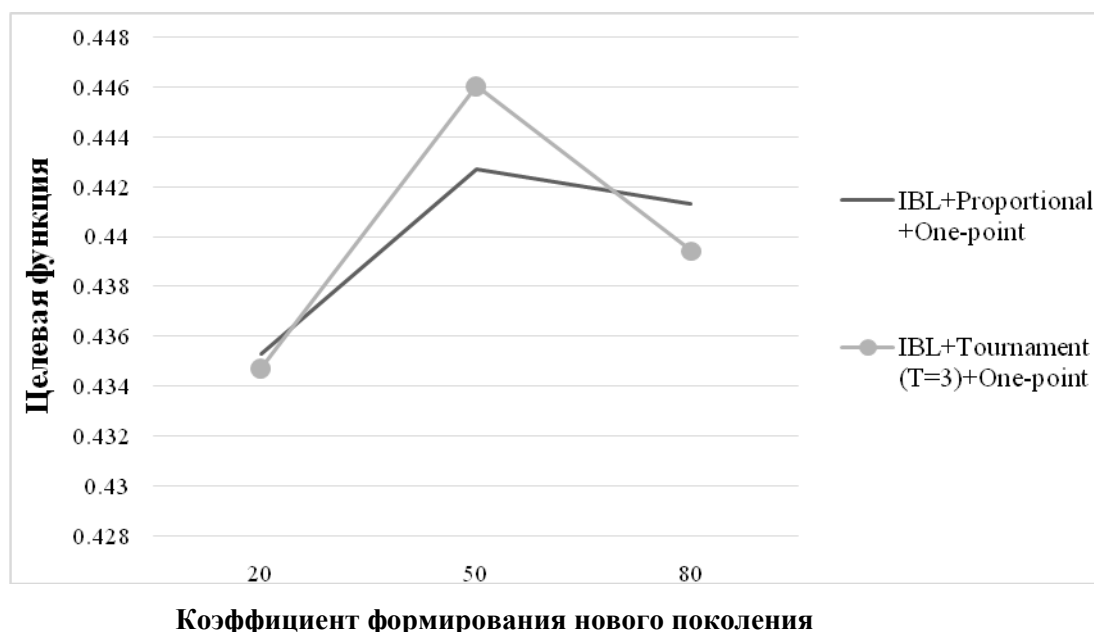


Рис. 5. Зависимость целевой функции от коэффициента формирования нового поколения

#### Библиографический список

1. Тимофеева, О.П. Применение генетического алгоритма для оптимизации двумерной ортогональной упаковки / О.П. Тимофеева, Э.С. Соколова, Н.С. Иконникова // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. №6. С. 401–404.
2. Dequan Liu, Hongfei Teng. An improved BL-algorithm for genetic algorithm of the orthogonal packing of rectangles / // European Journal of Operational Research. 1999. 112. P. 413–420. Англ. Усовершенствованный BL-алгоритм для генетического алгоритма ортогональной упаковки прямоугольников
3. Соколова, Э.С. Оптимизация коэффициента глубина поиска дефектов методом генетических алгоритмов / Э.С. Соколова, С.Н. Капранов // Контроль. Диагностика. 2004. №4. С. 32–39.
4. Соколова, Э.С. Обеспечение контролепригодности технических систем с использованием эволюционного моделирования / Э.С. Соколова, С.Н. Капранов // Методы менеджмента качества. 2004. №8. – С. 42–46.

Дата поступления  
в редакцию 21.10.2013

O.P. Timofeeva, E.S. Sokolova, K.V. Milov

#### GENETIC ALGORITHM IN OPTIMIZATION OF ORTHOGONAL CONTAINERS PACKING

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

**Purpose:** Creation of model and algorithm to resolve orthogonal containers packing problem.

**Design/methodology/approach:** Application of genetic algorithm.

**Findings:** Solution for containers packing problem has been found as a result of modeling. This decision possesses the high density of containers packing and minimum number of containers.

**Research limitations/implications:** The solution of cutting-packing problem in manufacturing.

**Originality/value:** The offered approach allows to solve configuration problems in spaces with vast amounts of data.

*Key words:* genetic algorithm, two-dimensional containers packing, optimization methods, genetic algorithm adjustment, decoders.

УДК 004.822

Г.Б. Бронфельд

**ПРЯМОЕ НАЛОЖЕНИЕ ЗНАНИЙ И «ПРАКТИЧЕСКИ ВЕЧНОЕ» СОХРАНЕНИЕ ЗНАНИЙ И ИНФОРМАЦИИ**

ООО «НИПИ «Сириус-2», Нижний Новгород

**Цель:** Рассматривается взаимосвязь технологии прямого наложения знаний и «практически вечного» сохранения знаний.

**Методология:** В статье приводится кратко история попыток сохранения знаний и информации на различных носителях информации и проблемы, которые в связи с этим возникают в течение тысячелетий, в т.ч. на основе большого опыта традиционных библиотек. Показывается, как на основе технологии прямого наложения знаний (новых моделей знаний – молинг и нового носителя знаний – элинг) возникает эффект «практически вечного» сохранения знаний и информации (частично).

**Результаты:** Новым в статье является демонстрация возможности «практически вечного» сохранения знаний и информации (частично), как побочный эффект новой технологии прямого наложения знаний в процессе ее обычного функционирования. Приводится сравнительная таблица для разных носителей информации и необходимые графические представления.

**Выводы:** Демонстрируется, что новая технология прямого наложения знаний создает совершенно новые возможности «практически вечного» сохранения знаний и информации (частично), в частности, пока недоступные традиционным библиотечным методам. Элинги могут обеспечить «практически вечное» сохранение знаний, необходимых людям для практической деятельности и выживания в природной среде.

*Ключевые слова:* знание, модель знаний, информация, текст, книга, элинга, библиотека, база знаний, машинный носитель, сохранение информации

**Введение**

Проблема сохранения знаний и информации, в т.ч. в библиотеках, имеет весьма длительную историю. В последние шестьдесят лет эта проблема обострилась и стала одной из главных проблем научно-технического развития из-за бурного накопления информации и знаний. По оценкам компании IDC, суммарный объем накопленной информации в 2011 г. достиг 1800 экзабайт, превышая, например, 2006 г. в 9 раз, и продолжает расти дальше. Этот процесс получил название сатурация (перенасыщение информацией) [1]. В энциклопедическом философском словаре сказано – «в наше время дело доходит до того, что специалисты разных отраслей одной и той же науки нередко не понимают ни теорий, ни конечных результатов др. отраслей. Возрастающая дифференциация ... грозят превратить единую науку в совокупность обособленных и изолированных областей исследования, вследствие чего ученые перестают видеть место результатов своей деятельности и своей научной дисциплины в познании единого, целостного мира» [2].

Впервые текстовая информация начала фиксироваться несколько тысяч лет назад, в частности, на глиняных табличках, позже на папирусах. Уже 2500 лет до н.э. появилась первая библиотека глиняных табличек в древнем Вавилоне, около 1800 лет до н.э. на папирусах в виде свитков в Египте. В III веке до н.э. начали применять пергамент. Древние греки и римляне для письма использовали деревянные дощечки натертые воском. В Китае в III веке начали применять для письма бумагу (более ранние документы писали на бамбуке или шелке). В IV-VI веках возникают библиотеки буддийских и даосских монастырей [3].

В VIII веке арабы научились изготавливать бумагу. Это сыграло важную роль в распространении книг во всех странах арабского Востока. Если библиотеки средневековой Европы были совсем небольшими, то в странах Азии, Африки и завоеванной Испании создавались крупные книгохранилища – в сотни тысяч и даже миллионы томов [3].

Долгое время тексты писались вручную. Постепенно они стали писаться на отдельных

листах и стали определенным образом сшиваться. Книга стала одним из важнейших изобретений нашей эры.

На определенном историческом этапе ручная, малопроизводительная переписка текстов и книг, дороговизна последних перестали отвечать потребностям распространения знаний, нуждам зарождающегося мануфактурного производства [4]. Иоганн Гуттенберг (1399-1468) изобрел книгопечатание. «Из всех изобретений и открытий в науке и искусствах, из всех великих последствий удивительного развития техники на первом месте стоит книгопечатание», так оценивал Ч. Диккенс это событие [3]. Это был революционный переворот в практике размножения (тиражирования) информации. Все это способствовало росту культурного уровня, грамотности и активному развитию техники, технологий, промышленности на новых принципах в течение последующих веков.

Это предопределило появление на Земле нового типа развития человечества – «эру человека печатной книги» [5].

Последующее в XIX – XX веках изобретение вначале телеграфа, телефона, счетно-перфорационной техники, радио, потом автомобилей, самолетов, телевидения, ЭВМ – еще более резко ускорило развитие человечества и системы коммуникаций. Это привело к переходу человечества в «эру массовых коммуникаций», где человечество превратилось в «глобальную деревню» [6].

Однако это сопровождается захлестыванием людей новой информацией и знаниями, приводящее к задержке уже технологического развития. В последние десятилетия применение Интернет, мощных информационных систем и различных интеллектуальных систем [7, 8] несколько повысило эффективность работы с информацией, но не снизило остроту проблемы работы со знаниями. Одновременно происходит процесс перехода с бумажных носителей информации на электронные носители информации и уже появился такой носитель информации, как «электронная книга» [9].

Общая ситуация отягощается тем, что знания постепенно теряются и человек постепенно теряет понимание фактов и технологий, которые были известны и использовались ранее, но непонятны теперь из-за утраты понимания и конкретных знаний, в т.ч. из-за языковых изменений.

Актуальна проблема интеграции знаний, только на ее основе возможно обеспечить длительность их сохранения и длительность понимания.

### **Краткий анализ решаемой задачи**

Рассмотрим проблематику интеграции знаний. К. Поппер, Д.А.Поспелов говорили, что знания об окружающем мире отражены и в книгах, и документах, созданных человеком. Их будем называть текстами в соответствии с принятым подходом в лингвистике. Специалистов при решении текущих проблем интересуют тексты, связанные определенным тематическим направлением (направлениями) и имеющих некоторые внутренние связи между собой, называемых свертками.

Сразу отметим, почему делается упор именно на знания, а не на информацию. Отметим важные моменты, рассмотренные в [10].

В законе об информации дано следующее определение: «информация – сведения (сообщения, данные), независимо от формы их представления», А знание – это нечто, обеспечивающее человеку целенаправленное координированное действие и выживаемость в природной среде. И при выражении его в текстовом виде знание также входит в состав общего понятия информации, что на математической основе показано в [10]. Т.е. для человека важно обеспечить сохранность и доступность именно знаний, которые составляют значительно меньшую часть «моря» информации.

Идею работы над общим полем знаний высказал еще в 40-х годах В. Буш, что подтолкнуло развитие гипертекстовой технологии работы с текстами.

Первым из удачных подходов было применение единых баз знаний (БЗ) для экспертных систем (ЭС) [7]. В единую БЗ сводятся необходимые знания, полученные на основе

моделирования интересующих частей из сверткста и от экспертов. Однако требуется длительная отладка работы ЭС, чтобы получить ответы на уровне опытного эксперта. Это удается для ограниченного числа задач с ограниченным объемом информации и знаний.

Другой подход – моделирование отдельных текстов моделями знаний, а потом вывод решений на их основе [11]. Быстро выяснилось, что это задачи NP-сложности с практически бесконечным перебором вариантов, а частичный вывод приводит к слишком приближенным вариантам [8].

Компании ИБМ в рамках реализации проекта «Разумная планета» удалось продвигаться в этом направлении и создать мощную систему Watson. Для этого был создан специальный мощный вычислительный комплекс из 10 серверных стоек, содержащих 2880 процессорных ядер, БЗ с введенными текстами (около 1 млн источников) и мощное специальное обеспечение. Для ускорения нахождения ответов предварительно выявляются некие модели связей понятий (фактов) из сверткста [12], близкие к семантическим сетям. Однако эта технология пока очень дорогая и имеет ряд недостатков.

Другое широко используемое направление – «кластеризация» знаний [8, 13]. Стандартно развиваемое дает иногда относительно приемлемые результаты, но есть и совсем другое вариант этого направления работ, названное автором «прямое наложение знаний» [14–16]. Впервые подобное использовано в виртуальной астрономической обсерватории Д.Греем для обработки численных данных наблюдений за звездным небом [17]. Работа основана на наложении данных наблюдений за звездным небом разными обсерваториями друг на друга. И то, что для отдельной обсерватории выглядело, как просто «шум», при наложении разных наблюдений приводило к выявлению новой звезды или галактики. Хорошо известно, что текстам присуще свойство – интертекстуальности, тем более научно-техническим, которые содержат основной массив теоретических и практических знаний [18, 19]. Т.е. тексты содержат часть других текстов других авторов. В научно-технических текстах их содержание доходит до 90-95%, а то и более.

Рассмотрим, как реализуется подход с прямым наложением знаний с учетом этой особенности текстов.

### Моделирование знаний с помощью молинг

Промоделируем знания новым способом, поскольку известные, такие как продукционные модели, логические модели, семантические сети, фреймы [7] и другие, сложны в применении для поставленной задачи. Известно из лингвистики, что «простое предложение ... было и остается основной единицей синтаксиса текста...», «наиболее существенной чертой предложения является его способность формировать и выражать мысль» [18, 19].

Метод описания знаний моделью, названной молингой, заключается в следующем [14–16]. Каждое простое предложение текста (сложные делятся на простые) представляется кортежем с составлением словарей терминов (включая синонимы), отношений, качественных и количественных признаков и т.д. Из предложений убирается эмоциональная окраска, они упрощаются с сохранением основных риторических отношений. При необходимости производят эквивалентные замещения выражений.

Молинги имеют вид  $D ; P ; Z ; K ; O ; N$ . где  $D$  – множество идентификаторов, с помощью которых молинга выделяется из всего множества молинг. Идентификатором выступает составной номер, включающий номер ссылки на текст, номер главы, номер параграфа, номер раздела параграфа, номер абзаца и номер предложения в абзаце текста. Приводятся все идентификаторы для этой молинги всех текстов  $T_i$ , где встречались одинаковые знания. Текстов в свертксте может быть много с  $i = 1, 2, \dots, n$ . Одинаковость в семантическом смысле предложений и получение одинаковых молинг определяет эксперт-редактор, который вводит молинги в БЗ ИС. Одинаковые молинги могут попадаться, как в одном тексте, так и в разных.

За счет идентификаторов при выдаче ответа может даже восстанавливаться (по желанию пользователя) близкий к исходному текст.

Элемент  $P$  есть условие применимости ядра молинги. Обычно  $P$  представляет собой логическое выражение. Когда  $P$  принимает значение «истина», ядро молинги активизируется.

Основным элементом молинги является ядро молинги  $Z$  – моделируемое простое предложение.

В  $K$  указывается кодовая последовательность номеров словарей, фиксирующих положение в ядре молинги – слов, которые выступают в качестве терминов, отношений, качественных признаков и т.д.

В  $O$  указываются уровни достоверности молинг, например, в виде факторов уверенности  $f$ , примененных в ЭС *MYSIN* с указанием диапазона достоверности от  $-1$  (абсолютная ложь) до  $+1$  (абсолютная истина).

Элемент  $N$  описывает постусловия молинги. Они актуализируются в случае, если ядро молинги реализовалось. Постусловия описывают действия и процедуры, которые выполняются после реализации ядра молинги.

Фактически такое представление имеет вид закодированных маленьких семантических сетей специального вида.

Эксперт-редактор последовательно по предложениям ручным образом (или полуавтоматически) просматривает текст  $T_i$  и превращает предложения текста в молинги и может, при необходимости, добавлять свои.

Предположим, моделируемое предложение из  $T_i$  следующее

**«В подавляющем большинстве систем, основанных на знаниях, механизм вывода представляет собой небольшую по объему программу и включает два компонента – один реализует собственно вывод, другой управляет этим процессом»**

Модель после обработки экспертом-редактором выглядит представлением двумя молингами после разложения исходного сложного предложения на два других –

**3.1.3.3.3.1;; Большинство систем, основанных на знаниях, имеют машину\_вывода, как небольшую по объему\_программу; 4, 1, 2, 5, 1, 2, 1, 2, 4, 5, 1;0,3;;**

**3.1.3.3.3.1;;Машина\_вывода включает два компонента – один компонент реализует вывод, другой компонент управляет этим процессом; 1, 2, 4, 1, 4, 1, 2, 1, 4, 1, 2, 5, 1;0,4;;**

Как упоминалось ранее, в  $K$  указаны последовательность номеров словарей, фиксирующих положение в ядре молинги – терминов (1-й), отношений (2-й), качественных признаков (3-й), количественных признаков (4-й), логических и лингвистических связей (5-й).

Уровень достоверности молинг в виде факторов уверенности в первой равен 0,3, во второй – 0,4.

Попутно молинги решают проблемы синонимов, омонимов, диалектных слов, фразеологизмов и т.п. за счет предварительного моделирования знаний экспертом-редактором при создании БЗ. Это позволяет точнее задавать в БЗ понимание и значение знаний, содержащихся в исходных текстах.

### Прямое наложение знаний

Каждый из  $T_i$  текстов свехтекста имеют некоторое свое множество предложений (для упрощения считаем, что они все семантически разные)

$$T_i = \{ t_{ij} : i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, r_i \},$$

где  $r_i$  - это количество предложений  $i$  – м тексте.

Каждый текст свехтекста моделируется и превращается во множество молинг

$$T_i \rightarrow M_i,$$

м  $s_i$  - это количество разных молинг  $i$  – й модели  $i$  – го текста, причем  $s_i$  может быть, как меньше  $r_i$  так и больше или равен ему.

Прямое наложение знаний представляет собой множественное объединение моделей текстов



$$B_z = M_1 \cup M_2 \cup M_3 \cup \dots \cup M_n = \bigcup_{i=1}^n M_i$$

В результате в объединенной БЗ  $B_z$  остаются только разные молинги.

Практически ввод знаний из текстов сверткста в БЗ способом прямого наложения зна-ний происходит по схеме, представленным на рис.1.

Имеются, например, исходные тексты 1, 2, ...,  $n$ , которые предполагается ввести в БЗ ИС. Как мы уже отмечали, тексты разбиваются на простые предложения и привязанные к ним через постуловия расчетные модели и визуальные и графические образы. Простые предложения экспертом-редактором превращаются в молинги, а тексты в модели текстов с кодированием порядка слов в ядрах молинг с занесением слов (фразеологизмов) в соответствующие словари, если они или их синонимы в словарях отсутствуют. При моделировании задается значение уровня достоверности молинг в виде факторов уверенности  $f$ .

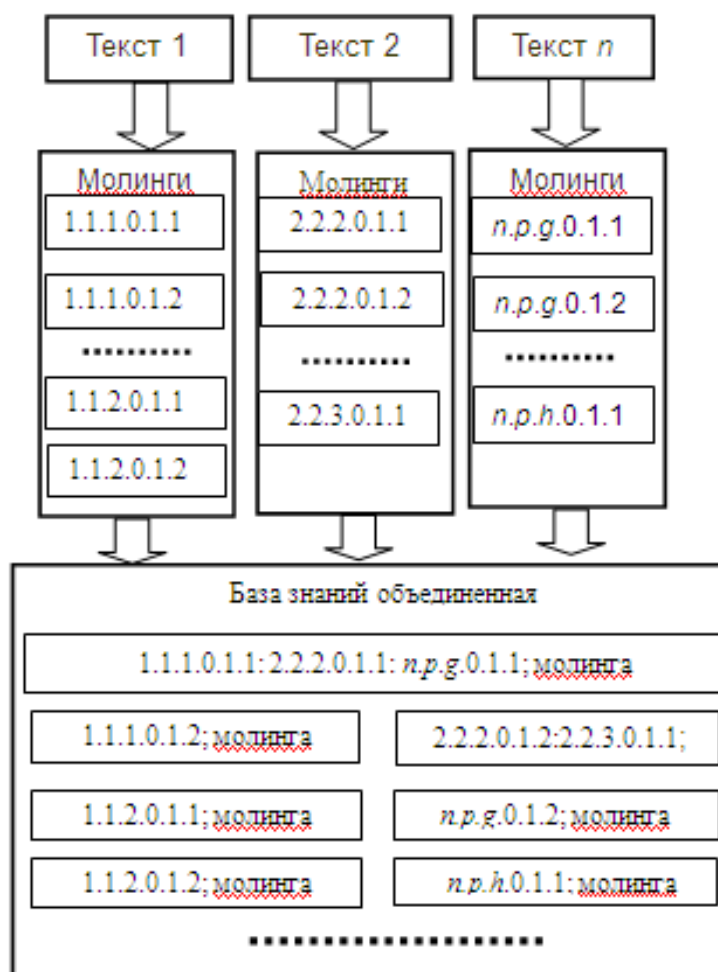


Рис. 1. Процесс наложения знаний при создании БЗ

На рис. 1 показано как на первом этапе в исходных текстах 1, 2, ...,  $n$  по 4 простых предложений. На втором этапе после моделирования в модели текста 1 осталось – 4 молинги, а во второй группе моделей текста 2, ...,  $n$  уже по три. Это связано с тем, что если предложения или их семантические представления являются повторами, то они повторно не вводятся, в т.ч. те, которые с точки зрения эксперта-редактора не имеют значения для ввода.

Молинги (с идентификаторами, определяющими их положение в исходном тексте) вводятся в БЗ ИС по порядку ввода исходных текстов. Если ядра молинг одинаковы или семантически одинаковы тому ядру молинги, которая уже находится в БЗ ИС, то добавляется

ее идентификатор во множество идентификаторов молинги. Подобное построение БЗ обеспечивает декларативный подход. На первом этапе в исходных текстах на рис. 1 было 10 простых предложений в блоке БЗ ИС их уже всего семь.

Знания в текстах повторяются. При вводе знаний в виде моделей знаний в БЗ ИС делаются пометки (идентификаторы), из какого текста ввод. Повторение знаний, имеющихся в БЗ, может повысить или понизить их достоверность в зависимости от нового фактора уверенности (пометки дублированных знаний в виде набора идентификаторов сохраняются). А то, чего нет, – вводится и увеличивает объем БЗ. Т.е. с каждым введенным текстом БЗ ИС представляет собой новую версию, монотонно возрастающую в объеме.

Если постуловие другое, то молинга вводится отдельно со своим постуловием (в БЗ будут две молинги с одинаковым ядром, но разными идентификаторами и постуловиями). При такой БЗ возможен вывод текста, близкого к исходному. Здесь в отличие от искусственных процессов кластеризации знаний в известных системах [13] он естественен.

Ключевая особенность данного подхода – значительно меньший объем БЗ сверткестов по сравнению с другими способами получения БЗ на основе других моделей знаний, при чем отрыв тем больше, чем больше исходных текстов. А это приводит к резкому ускорению поиска ответа даже для одинаковых методов логического вывода от десятков и сотен раз быстрее до практической бесконечности при полном переборе [20]. Это крайне важно и при таком развитом направлении, как реферирование текстов и сверткестов.

### **Новые разновидности интеллектуальных систем для работы с БЗ в режиме прямого наложения знаний**

ИС с БЗ на основе прямого наложения могут иметь следующие два варианта, с массовым производством для индивидуального потребителя в варианте интеллектуальной электронной книги, названной автором элингой, и в индивидуальном варианте для отдельного предприятия (организации) в варианте аналитической системы управления знаниями (АСУЗ) [14]. Такой подход полностью реализует упомянутую ранее идею В.Буша.

Элинги позволяют:

- заносить в них постепенно большое количество знаний;
- пользователю получать ответ сразу (почти со скоростью расчетных программных средств) без изучения технической литературы, задавая вопросы элинге;
- приобретать их по низкой стоимости;
- работать в широкой предметной области (в отличие от ЭС, которые работают только в узкой области и для ограниченного набора задач);
- пользователю постепенно получать со временем результаты на уровне лучших специалистов мира.

Физически элинги представляют собой съемное устройство хранения информации со специальной машиной вывода и БЗ. Одновременно могут создаваться элинги по многим предметным направлениям знаний. Каждые 1-2 квартала будет выходить новая версия элини определенного направления с новой расширенной версией БЗ.

Структура элинги представлена на рис. 2. В состав элинги входят программные средства, реализующие машину вывода, интеллектуальный интерфейс, БЗ и сервисные и вспомогательные программы. БЗ включает в себя словари терминов, отношений и др. (их синонимов), собственно знания, содержащиеся в текстах в виде молинг, расчетные модели (реализованные в виде отдельных подпрограмм, ускоряющих работу элинги), визуальные и графические образы.

Пока в мире элинги не производятся. Существуют отдаленные аналоги как элинг, так и АСУЗ, например, [12, 21], что свидетельствует о принципиальной реализуемости проекта создания элинг.

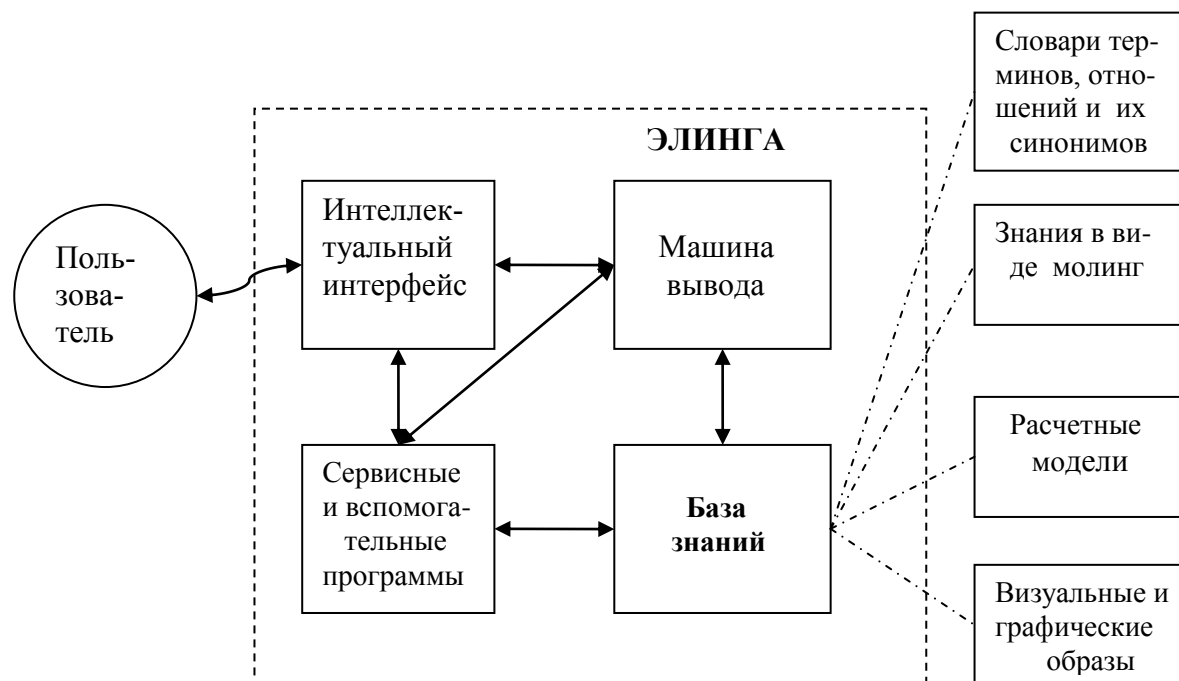


Рис. 2. Структура элинги

Важным моментом является то, что элинги/АСУЗ позволяют реализовать совершенно новый вариант локальных массовых библиотек для конкретных пользователей по конкретным предметным областям. Кроме того, в варианте АСУЗ этот подход позволяет постепенно организовать большие библиотеки для аналитического накопления знаний (БАНЗ), которые могут быть доступны неограниченному количеству пользователей. И хотя они будут базироваться на мощном вычислительном комплексе с мощной внешней памятью, они, по сути, будут носить виртуальный характер, поскольку их копии (аналоги) могут одновременно находиться в разных местах и одновременно обслуживать разные группы пользователей.

### Элинга/АСУЗ и долговременное хранение информации (знаний)

Для человечества важна проблема длительного сохранения информации и знаний. Для стандартных видов информации и их носителей проблематика обеспечения сохранности информации прекрасно изучена [3, 4, 22, 23]. В табл. 1 приведены сроки сохранности информации на различных носителях.

В машинных носителях информация кодируется в цифровом виде. Казалось бы, в этом виде она может храниться неограниченно долго [9]. Но первое ограничение – это носители информации. Первые магнитные диски для хранения информации уже давно стали технической реликвией.

Но тут возникают иные проблемы. Основная состоит в том, что теряется непосредственный контакт человека с носителями информации и без специального технического посредника человек не способен прочесть, что написано на машинных носителях информации. Основная проблема в быстром научно-техническом развитии как технических, так и программных средств. Стремительная смена поколений компьютеров и версий программ, в т.ч. из-за постоянной конкурентной борьбы в этой сфере усложняет или даже делает невозможным использование носителей машинной информации и баз данных совсем, казалось бы, недавнего времени [22].

Чем же тут отличается ситуация с технологией элинги/АСУЗ, для которой в табл. 1 указан «практически неограниченный» период сохранения знаний?

Технология работы с элингой (рис. 3).

Таблица 1

## Носители и сроки сохранения информации

№ п/п	Вид информации	Носитель	Срок сохранности, лет	Условия сохранности	Источник информации
1	Образы	Камень	Десятки тысяч		[3]
2	Текстовая информация	Глиняные таблички	Тысячи	Библиотеки	[3, 22]
3	Текстовая информация	Бумага	Сотни	Библиотеки	[3, 22]
4	Цифровая информация	Магнитная лента	30-49	Периодическая перезапись	[22, 23]
5	Цифровая информация	Магнитные диски	20-30		[22, 23]
6	Цифровая информация	Оптические диски	50-100 (улучшенные до 200-300)		[22, 23]
7	Знания, в т.ч. текстовая информация, графика, образы, программы для ЭВМ	Элинг\АСУЗ на оптических дисках или иных специальных носителях	Практически неограниченно	Пока не прекратится перевыпуск	[14-16]

Производитель вначале выбирает печатные источники для ввода информации (знаний) в объединенную БЗ (этап 1). Затем эксперт-редакторы моделируют тексты молингами (этап 2) и вводят молинги в БЗ (этап 3). Этапы разработки элинг и регулярной доработки программного обеспечения опущены как частности. Этап 4 – доработка на нового программного обеспечения или машинного носителя, не стыкуемых с предыдущими, в частности, с предыдущими ЭВМ.

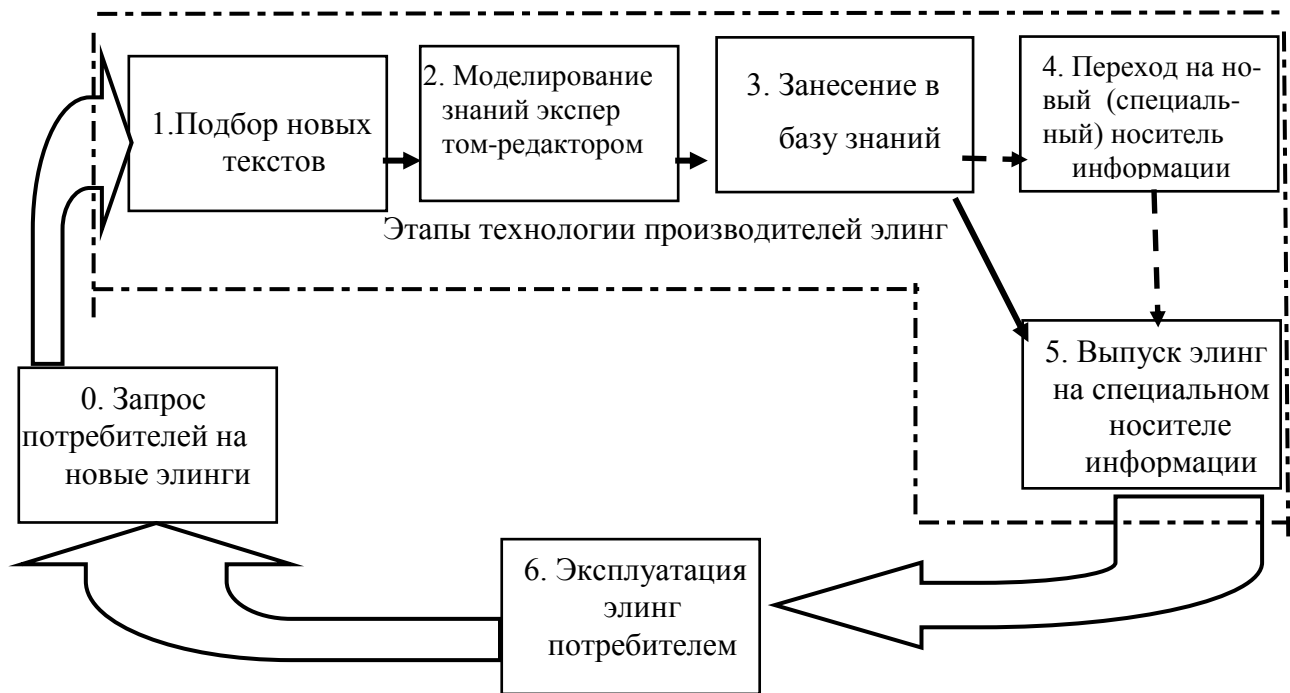


Рис. 3. «Бесконечная» цикловая диаграмма технологии производства, эксплуатации и нового запуска элинг в производство

Затем происходит массовый выпуск элинг на конкретном специальном (стандартном) машинном носителе на тот период (этап 5). Выпуск новых элинг будет производиться, как отмечалось, 1 раз в 1-2 квартала по мере ввода новых текстовых источников. Эксплуатация элинг потребителями (этап 6) вряд ли будет более 1 года (мало кто из людей узнает новости из вчерашних газет и журналов). Постепенно формируется запрос от потребителей на новый вариант элинги с более полной БЗ (этап 0). И далее по «бесконечному» циклу.

Элинга выступает в данном случае для потребителя как «носитель знаний» или локальная библиотека знаний в конкретной предметной области или областях. С АСУЗ и БАНЗ будет происходить близкая ситуация с периодической заменой используемых технических средств и программного обеспечения.

Попутно решается еще очень важная проблема. С течением времени меняется сам язык, появляются новые понятия [3, 18]. Поэтому так плохо воспринимаются многие знания и факты, изложенные в древних индийских, буддийских текстах, Библии и т.п. Элинга/АСУЗ/БАНЗ позволяют постепенно адаптироваться к языковым изменениям и сохранять семантическое содержание устаревших понятий и технологий.

Все это не противоречит частичному сохранению роли существующих печатных книг как индивидуальных авторских точек зрения для научно-технической литературы [18-19] и художественных произведений, которые содержат индивидуально-эмоциональное изложение взглядов авторов, интересное для отдельных групп читателей-потребителей [18-19]. Соответственно, параллельно длительное время кроме новых БАНЗ будут сохраняться традиционные библиотеки.

### Заключение

Рассмотренный подход для ИС на основе использования прямого наложения знаний создает новый и весьма эффективный метод работы со знаниями и обеспечивает новые возможности для решения научно-технических задач и сохранения знаний на практически «неограниченный» период времени. Данная технология внесет важный вклад в решении одной из важнейших современных проблем - проблемы сатурации (перенасыщения информацией).

### Библиографический список

1. **Уемов, А.И.** Системный подход и общая теория систем / А.И. Уемов. – М.: Мысль, 1978. – 272 с.
2. **Философия: Энциклопедический словарь** / под ред. А.А. Ивина. – М.: Гардарики, 2004. – 1072 с.
3. **Немировский, Е.Л.** Большая книга о книге / Е.Л. Немировский. – М.: Время, 2010. – 1088 с.
4. **Пилко, И.С.** Информационные и библиотечные технологии / И.С. Пилко. – СПб.: Профессия, 2008. – 342 с.
5. **Маклюэн, М.** Галактика Гуттенберга. Становление человека печатающего / М. Маклюэн. – М.: Академический Проект Фонд «Мир», 2005. – 496 с.
6. **Маклюэн, М.** Понимание Медиа: Внешние расширения человека / М. Маклюэн. – М.: КАНОН-пресс-Ц, 2003. – 454 с.
7. **Гаврилова, Т.А.** Базы знаний интеллектуальных систем / Т.А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский. – СПб.: Питер, 2001. – 384 с.
8. **Хорошевский В.Ф.** Пространства знаний в сети Интернет и Semantic Web, часть 1 // Искусственный интеллект и принятие решений. 2008. № 1. С. 80–97.
9. **Гейтс, Б.** Дорога в будущее / Б. Гейтс. – М.: Издат. отдел «Русская Редакция» ТОО «Channel Trading Ltd.», 1996. – 312 с.
10. **Бронфельд, Г.Б.** Некоторые возможности формального представления структуры знаний // Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева, 2012. № 4(97). С. 91–100.
11. **Тыгу, Э.Х.** Интеграция знаний // Изв.АН СССР. Техническая кибернетика. 1989. № 5. С. 3–13.
12. **Черняк, Л.** Элементарен ли Watson? // Открытые системы. 2011. №3. С. 6–9.

13. **Баргасегян, А.А.** Технологии анализа данных: Data Mining, Visual Mining, Text Mining, OLAP / А.А. Баргасегян, М.С. Куприянов, В.В. Степаненко, И.И. Холод. – СПб.: БХВ-Петербург, 2008. – 384 с.
14. **Бронфельд, Г.Б.** Прямое наложение знаний и некоторые его особенности // Труды российской конференции «Технические и программные средства систем управления, контроля и измерения (УКИ-10)». – М.: ИПУ им. В.А. Трапезникова РАН, 2010. С. 201–211.
15. **Бронфельд, Г.Б.** Прямое наложение знаний на основе моделей специального вида // Системы управления и информационные технологии. 2011. №4.1(46). С. 124–128.
16. Пат. на изобретение, № 2440610 Российская Федерация, МПК G06 N 5/00. Система для работы с интеллектуальной электронной книгой – элингой / Бронфельд Г.Б.; заявка 21.06.2010; опубл. 20.01.12, Бюл. №2.
17. Gray J., Czalay A. The World – Wide Telescope, an Archetype for Online Science, 2002, 6 p.
18. **Лукин, В.А.** Художественный текст: Основы лингвистической теории. Аналитический минимум / В.А. Лукин. – М.: Издательство «Ось-89», 2009. – 560 с.
19. Современный русский язык. Теория. Анализ языковых единиц. В 2 частях / Е.И. Диброва [и др.] – М.: Изд. центр.
20. **Бронфельд, Г.Б.** Некоторые сравнительные характеристики скорости вывода для интеллектуальных систем с наложением знаний // Информационные системы и технологии ИСТ-2010: сб. тезисов докладов Международной научно-технической конференции. Н.Новгород, НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2010. С. 374–376.
21. **Орлов, М.А.** Основы классической ТРИЗ. Практическое руководство для изобретательского мышления / М.А. Орлов. – М.: Солон-Пресс, 2005. – 416 с.
22. **Фрадкин, В.Н.** Прошлое, настоящее и будущее носителей информации // Компьютер Price, 2003. № 46. С. 63–67.
23. **Петров, В.В.,** Крючин А.А., Шанойло С.М., Косско И.О., Кравець В.Г. Способи вирішення проблеми довгострокового зберегання інформації, записаної в цифровому вигляді // Доповіді Національної академії наук України. 2003. № 4. С. 52–58.

*Дата поступления  
в редакцию 21.10.2013*

**G. Bronfeld**

## **THE DIRECT KNOWLEDGE OVERLAY AND «PRACTICALLY PERPETUAL» PRESERVATION OF KNOWLEDGE AND INFORMATION**

LTD Sirius-2, Nizhny Novgorod

**Purpose:** This articles examines the interrelation of technologies of direct knowledge overlay and "practically perpetual" conservation of knowledge.

**Design/methodology/approach:** The article provides a brief history of attempts at preservation of knowledge and information on various data mediums and problems which arise in connection therewith over thousands of years, including on the basis of extensive experience of traditional libraries. Additionally, this articles demonstrates how on the basis of technology-based direct knowledge overlay (new knowledge model - molinga and the new carrier of knowledge – elinga) emerges an effect of "practically perpetual" preservation of knowledge and information (in part).

**Findings:** This article demonstrates new possibilities of "practically perpetual" preservation of knowledge and information (in part), as a side effect of new technology of direct knowledge overlay during the course of its normal operation. This article includes comparative table for different data carriers and relevant graphic presentations.

**Conclusion:** This study demonstrates that a new technology of direct knowledge overlay creates completely new opportunities for "practically perpetual" conservation of knowledge and information (in part), in particular, currently unavailable to traditional library methods. Elingas can provide "practically perpetual" conservation, at least, knowledge necessary for people for practical activities and a survival in the natural environment.

*Key words:* knowledge, knowledge model, information, text, book, elinga, library, knowledge base, data medium, data integrity.

## МАШИНОСТРОЕНИЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ

УДК 621.791.754

П.Л. Жилин<sup>1</sup>, Б.П. Конищев<sup>1</sup>, В. Осипов<sup>2</sup>, П.А. Латаев<sup>3</sup>

### ОПТИМИЗАЦИЯ СКОРОСТИ АРГОНОДУГОВОЙ СВАРКИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ ИЗ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ 12Х18Н10Т

Нижегородский государственный технический университет им Р.Е. Алексева<sup>1</sup>,  
ФГУП «ФНПЦ им Ю.Е. Седакова»<sup>2</sup>,  
ОАО ПКО «Теплообменник»<sup>3</sup>

В данной статье рассмотрены проблемы автоматизации основных и вспомогательных сварочных операций в условиях серийного производства. Произведена оценка существующего уровня технологии сварки изделий из нержавеющей стали марки 12Х18Н10Т. Особое внимание уделено сведению количества дефектов к минимуму или полному их исключению. Для этого использована модернизация сварочной установки с целью одновременного выполнения двух сварочных швов, а также выполнен подбор оптимальных скоростей сварки для двух одновременно протекающих технологических процессов. Опытным путем получены математические модели оптимальных скоростей сварки, которые в совокупности объединены в одну систему. Осуществлен поиск оптимальных решений полученной системы уравнений с наложением последующих ограничений. С помощью использования графического метода найдена оптимальная скорость сварки и получены соответствующие ей значения тока и напряжения. В итоге, по результатам проверки на герметичность уровень брака значительно ниже при лучшем внешнем виде сварного шва, меньшем разбрызгивании и экономии производственных ресурсов.

*Ключевые слова:* аргонодуговая сварка, автоматическая сварка, нержавеющая сталь, одновременная сварка двух швов, оптимизация скорости сварки, увеличение качества шва, снижение уровня брака, экономия ресурсов.

#### Введение

Технологии не стоят на месте. В полной мере это касается и проведения сварочных работ. Совершенствуются имеющиеся методы сварки, разрабатываются новые способы, расширяется перечень свариваемых материалов. В связи с широким применением сварки в атомной, энергетической, судостроительной, химической промышленности, где крайне важно получение сварных соединений высочайшего качества, значительное внимание в последние годы уделяется автоматизации основных и вспомогательных сварочных операций.

Управление сварочными процессами посредством автоматизированных систем упрощает их выполнение, снижает влияние субъективных факторов, таких как уровень квалификации рабочего, его утомляемость и т.д., увеличивает показатели выхода готовой продукции. С учетом того, что от качества сварных соединений зависит эксплуатационная надежность сварных конструкций, автоматизация сварочных работ приобретает особое значение. При наличии труднодоступных участков сварки, предъявлении высоких требований при приемке готовых изделий (например в ходе изготовления мостовых конструкций), необходимости серийного производства сварной продукции автоматизация сварочных процессов становится тем более актуальной.

Автоматизация сварки направлена на получение сварных соединений со строго

регламентированными характеристиками. Благодаря высокой точности управления и контроля за выполнением сварных швов количество дефектов сводится к минимуму или полностью исключается. В итоге предприятие выигрывает на экономии производственных материалов (например, при сварке черного металлопроката – сортовой или фасонный прокат, сварочная проволока, технические газы и т.д.), энергетических, временных, трудовых ресурсов и повышении производительности труда. Автоматизация сварочного производства также позволяет освободить сотрудников от выполнения рутинных операций или работ, связанных с вредными или опасными для здоровья условиями труда.

Следует понимать, что автоматизация сварочных процессов может быть эффективна только при условии подготовки максимально соответствующих производственному заданию заготовок и их точной предварительной сборки, т.е. механизации и автоматизации заготовительных и сборочных работ. Без соблюдения указанного условия высока вероятность передачи на сварочный участок деталей с отклонениями от чертежей, которые будут существенными при потоковой сварочной обработке. Превышение кромок, наличие зазубрин, неточные линии стыков способны свести на нет все усилия по оптимизации работы сварочного участка.

В зависимости от поставленных целей автоматизация сварочного производства может быть реализована в различных масштабах. В одном случае достаточно решения простейших задач, таких как автоматизированное перемещение источника нагрева, изменение силы сварочного тока при контактной сварке, подача присадочного материала при сварке плавлением и т.д. В таком случае можно ограничиться применением полуавтоматов для дуговой сварки с автоматизированным режимом горения дуги, сварочных автоматов, в которых автоматизировано также и перемещение сварочной головки вдоль стыка, или иного оборудования, оснащенного программным управлением, отвечающего требованиям производства. В другом случае автоматизация сварки подразумевает внедрение адаптивного программного управления всей последовательностью операций сварочного цикла: от перемещения сварочного инструмента до изменения режимов сварки. С помощью различных электромеханических, магнитных, фотоэлектрических датчиков, видеосенсоров и др. устройств система контролирует текущее состояние процесса, при наличии отклонений или возмущений принимает решение о необходимости корректировки заданной программы и осуществляет принятое решение.

Автоматизация сварки считается в настоящее время приоритетным направлением оптимизации производства, осуществляющего выпуск сварных конструкций, так как позволяет существенно повысить эффективность предприятия.

Основой разработки и оптимизации существующих технологических процессов является эксперимент. Заметное повышение эффективности экспериментальных исследований и инженерных разработок достигается использованием математических методов планирования экспериментов. Использование математико-статических методов при постановке задач, в процессе экспериментирования и при обработке полученных данных существенно сокращает сроки решения, снижает затраты на исследования и повышает качество полученных результатов.

В данной работе представлены результаты исследований по оптимизации скорости сварки цилиндрического кожуха.

Кожух является защитной оболочкой нагревательного прибора, который работает в жидкой агрессивной среде в условиях температурных перепадов и вибраций. Конструктивно кожух состоит из тонкостенной трубы 48x1,5 длиной 830 мм, фланца и доньшка. Материалом изделия является нержавеющей сталь марки 12X18H10T.

Как правило, при изготовлении таких конструкций применяют сварку в среде защитных газов, которая позволяет сравнительно просто механизировать и автоматизировать процесс соединения металлов, находит в последние годы широкое и все возрастающее применение во всех промышленно развитых странах мира. [2]

Для сварки кожуха с фланцем и доньшком применяется установка автоматической



сварки в среде защитных газов на базе стандартной установки ТТ–132Б научно-производственного предприятия «Технотрон».

Установка предназначена для качественной одновременной сварки тонкостенной трубы, доньшка и фланца с целью повышения производительности сварочных работ.

Использовали следующие виды сварки:

- для сварки доньшка с кожухом – аргонодуговая сварка неплавящимся электродом;
- для сварки фланца с кожухом – аргонодуговая сварка плавящимся электродом.

### Математическая модель

Задача состояла в том, чтобы получить оптимальную скорость сварки для двух одновременно протекающих технологических процесса. Для нахождения оптимальной скорости использовали полный факторный эксперимент  $2^2$  с равномерным дублированием опытов, после чего нашли математическую модель для каждого метода сварки, которые в совокупности объединены в одну систему [3].

Для факторов по результатам предварительного эксперимента и теоретическим положениям была принята следующая область существования:

1. Неплавящийся электрод:

$$140 < I_{св} < 240 \text{ (А)};$$

$$18 < U_{д} < 22 \text{ (В)}.$$

2. Плавящийся электрод:

$$260 < I_{св} < 275 \text{ (А)};$$

$$27 < U_{д} < 30 \text{ (В)}.$$

Таким образом, после реализации полного факторного эксперимента  $2^2$  получены следующие математические модели:

$$V_{НЭ} = -105,48 + 0,2332I_{св} + 3,24U_{д}, \quad (1)$$

$$V_{ПЭ} = 9,2318 + 0,083I_{св} + 0,83U_{д}. \quad (2)$$

### Нахождение оптимальной скорости графическим методом

Осуществлен поиск оптимальных решений системы двух уравнений (математических моделей процессов), полученных на основе математического планирования с наложением последующих ограничений. Рассматривались две математические модели для оптимизации скорости сварки (1) и (2). Ограничения на параметры представлены в табл. 1, а ограничения на факторы – в табл. 2.

Таблица 1

#### Ограничения на расчетные значения параметров оптимизации

Параметр оптимизации, см/мин	Ограничения по минимуму	Ограничения по максимуму
$V_{НЭ}$	36,01	47,71
$V_{ПЭ}$	42,74	55,97

Таблица 2

#### Ограничения факторов

Фактор		Ограничения по минимуму	Ограничения по максимуму
НЭ	$I_{св}$ , А	140	240
	$U_{д}$ , В	18	22
ПЭ	$I_{св}$ , А	260	275
	$U_{д}$ , В	27	30

Из ограничений на расчетные параметры оптимизации можно сделать вывод, что оптимальная скорость будет находиться в следующих пределах:

$$42,74 < V_{\text{опт}} < 47,71.$$

Для упрощенных моделей построим графики зависимостей скорости  $V_{\text{св}}$  от сварочного тока  $I_{\text{св}}$  и графики зависимостей скорости  $V_{\text{св}}$  от напряжения на дуге  $U_{\text{д}}$  (рис. 1 и рис. 2). Данные для построения графиков приведены в табл. 3 и табл. 4.

Таблица 3

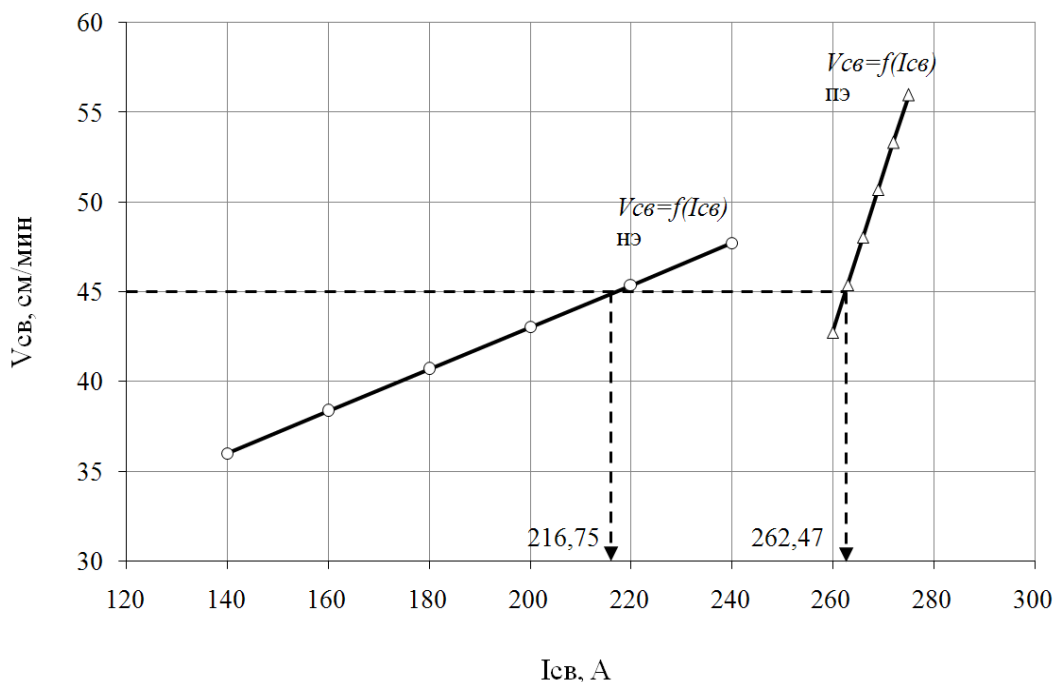
Данные для построения графика  $V_{\text{св}}=f(U_{\text{д}})_{\text{нэ}}$  и  $V_{\text{св}}=f(I_{\text{св}})_{\text{нэ}}$

НЭ в Ar		
$I_{\text{св}}, \text{A}$	$U_{\text{д}}, \text{В}$	$V_{\text{св}}, \text{см/мин}$
240	22	47,71
220	21,2	45,37
200	20,4	43,03
180	19,6	40,69
160	18,8	38,35
140	18	36,01

Таблица 4

Данные для построения графика  $V_{\text{св}}=f(U_{\text{д}})_{\text{пэ}}$  и  $V_{\text{св}}=f(I_{\text{св}})_{\text{пэ}}$

ПЭ в Ar		
$I_{\text{св}}, \text{A}$	$U_{\text{д}}, \text{В}$	$V_{\text{св}}, \text{см/мин}$
275	30	55,97
272	29,4	53,324
269	28,8	50,678
266	28,2	48,032
263	27,6	45,386
260	27	42,74

Рис. 1. Зависимости  $V_{\text{св}}=f(I_{\text{св}})_{\text{нэ}}$  и  $V_{\text{св}}=f(I_{\text{св}})_{\text{пэ}}$

По графикам, на которых изображены зависимости  $V_{св}=f(I_{св})_{пэ,нэ}$  и  $V_{св}=f(U_{д})_{пэ,нэ}$ , определим оптимальные режимы для скоростей от 42 см/мин до 48 см/мин – диапазона оптимальных скоростей для сварки плавящимся и неплавящимся электродом. На графиках показан пример определения режимов для  $V_{опт} = 45$  см/мин, для других скоростей будем определять так же, с помощью пересекающихся линий.

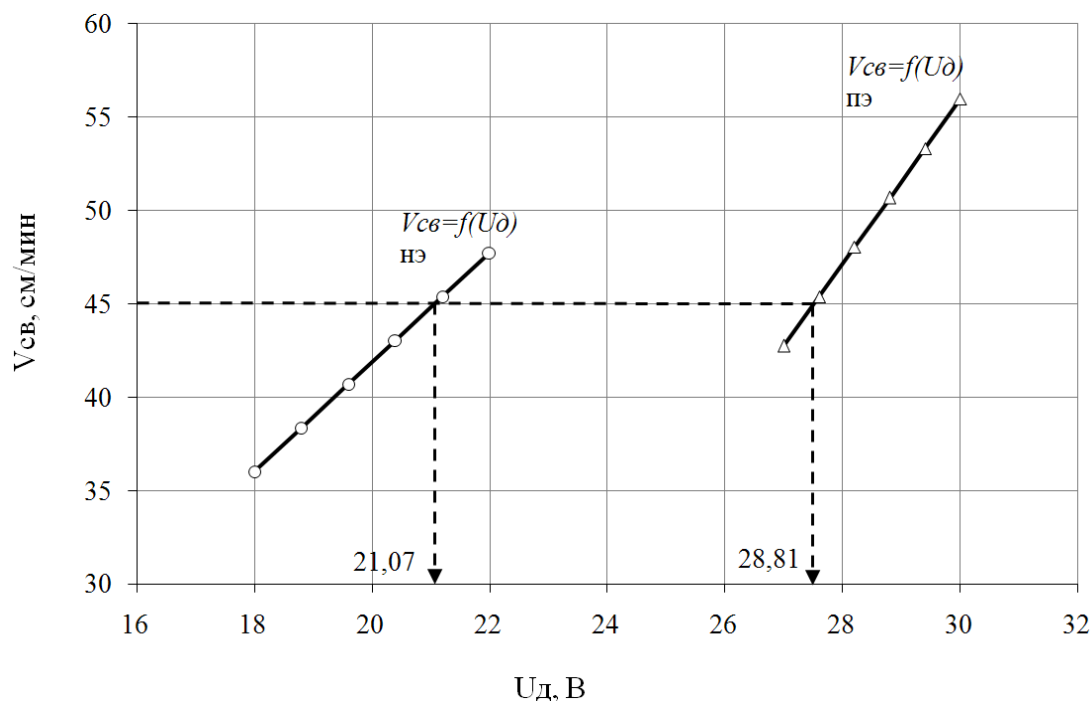


Рис. 2. Зависимости  $V_{св}=f(U_{д})_{пэ}$  и  $V_{св}=f(U_{д})_{нэ}$

Полученная область оптимальных режимов для сварки неплавящимся электродом приведена в табл. 5, плавящимся электродом в табл.6.

Таблица 5

Область оптимальных режимов сварки неплавящимся электродом

$V$ , см/мин	43	44	45	46	47
$I_{св}$ , А	199,65	208,2	216,75	225,29	233,84
$U_{д}$ , В	20,38	20,73	21,07	21,41	21,75

Таблица 6

Область оптимальных режимов сварки плавящимся электродом

$V$ , см/мин	43	44	45	46	47
$I_{св}$ , А	260,2	261,33	262,47	263,6	264,73
$U_{д}$ , В	28,34	28,58	28,81	29,05	29,29

Исходя из того, что при  $V_{опт}=45$  см/мин мы получили более оптимальные формы и размеры шва относительно других скоростей, входящих в диапазон, будем использовать для сварки кожуха с фланцем и кожуха с доньшком данную скорость.

В результате графического решения получены следующие значения тока и напряжения сварки для  $V_{опт} = 45$  см/мин:

- для сварки неплавящимся электродом  $I_{св}=216,75$  А;  $U_{д}=21,07$  В;
- для сварки плавящимся электродом  $I_{св}=262,47$  А;  $U_{д}=28,81$  В.

## Выводы

В итоге проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

1. Произведена оценка существующего уровня технологии сварки кожуха с фланцем из нержавеющей стали марки 12Х18Н10Т.
2. В соответствии с техническими требованиями проработана возможность одновременной сварки двух швов.
3. Предложена модернизация сварочной установки с целью выполнения одновременной сварки кожуха с фланцем и доньшком.
4. Анализ полученных результатов по сварке опытной партии образцов показывает, что сварка плавящимся электродом в среде Аг позволяет обеспечить по результатам проверки на герметичность уровень брака значительно ниже при лучшем внешнем виде сварного шва и меньшем разбрызгивании.
5. На основе опытных данных получены математические модели для расчета скорости сварки двух швов. По уравнениям нашли соответствующие режимы, при которых скорости сварки будут одинаковыми, для возможности сварки двух швов одновременно.
6. Подобран оптимальный режим для синхронной сварки:
  - для сварки кожуха с доньшком: сила тока  $I_{св}=217$  А, время сварки  $t_{св}=21$  с,  $U_{д}=21$  В,  $V_{св}=45$  см/мин;
  - для сварки кожуха с фланцем: сила тока  $I_{св}=262$  А, время сварки  $t_{св}=21$  с,  $U_{д}=29$  В,  $V_{св}=45$  см/мин;

## Библиографический список

1. Сидорина, И.И. Основы материаловедения / И.И. Сидорина. – М.: Машиностроение, 1976. – 436 с.
2. Новожилов, Н.М. Основы металлургии дуговой сварки в газах / Н.М. Новожилов. – М.: Машиностроение, 1979. – 239 с.
3. Адлер, Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – М.: Наука, 1976.

Дата поступления  
в редакцию 15.10.2013

P.L. Zhilin<sup>1</sup>, B.P. Konishchev<sup>1</sup>, I.V. Osipov<sup>2</sup>, P.A. Lataev<sup>3</sup>

## OPTIMIZE THE SPEED OF TIG WELDING CYLINDRICAL PARTS STAINLESS STEEL 12X18H10T

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.Y. Alekseev<sup>1</sup>,  
FSUE FNPC n.a. Y.E. Sedakova<sup>2</sup>,  
JSC PDC TEPLOOBMENNİK<sup>3</sup>

**Purpose:** Upgrade welding machine for the simultaneous execution of two welds, as well as perform a selection of the best welding speeds for the two simultaneously occurring processes.

**Design/methodology/approach:** To find the optimum speed using full factorial 2<sup>2</sup> with a uniform duplication of experiments, and then find a mathematical model for each welding method, which together are combined into one system.

**Findings:** Empirically derived mathematical models of optimum welding speeds, which together are combined into one system. Used to search for optimal solutions of the resulting system of equations, with the imposition of further restrictions. Through the use of the graphical method found the optimal welding speed and obtained its corresponding values of current and voltage.

**Research limitations/implications:** In the end, the results of the leak test the level of marriage is much lower with the best appearance of the weld seam, less spatter and cost of inputs.

**Originality/value:** Welding automation is now considered a priority optimization of production, carrying out production of welded structures, as can significantly improve the efficiency of the

*Key words:* argon arc welding, automatic welding, stainless steel, simultaneous welding of two joints, the optimization of the welding speed, increasing the quality of the weld, defects reduction, saving resources.

УДК 621.9.02

Ю.Г.Кабалдин<sup>1</sup>, А.М. Кузьмишина<sup>1</sup>, С.В. Серый<sup>2</sup>

## АТОМНО-ДИСЛОКАЦИОННЫЙ ПОДХОД К ПРОЦЕССУ РЕЗАНИЯ МЕТАЛЛОВ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е.Алексеева<sup>1</sup>,  
Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет<sup>2</sup>

Изложены результаты исследований процесса резания на основе атомно-дислокационного подхода. Атомная и дислокационные моды деформации взаимосвязаны. При резании атомы обрабатываемого материала в окрестностях режущего лезвия (в зонах локализации деформации) изменяют квантовое состояние. Дислокации вызывают их начальное возбуждение в кристаллической решетке, что обуславливает рост амплитуды колебаний атомов, образование волн смещения и изменение квантового состояния атомов. Это обеспечивает дислокациям преодоление энергетического барьера Пайерсла-Набарро, происходят смещение атомов и деформация кристаллической решетки путем скольжения.

*Ключевые слова:* резание металлов, атомная и дислокационная моды деформации, аморфизация, структурные и фазовые изменения, адгезия, наростообразование.

Резание – динамический процесс упруго-пластической деформации [1, 2]. В последние годы в описании процессов деформирования металлов широко используется теория синергетики (самоорганизации) [3-6] как междисциплинарное направление. Исследования показывают, что самоорганизация системы резания обусловлена прежде всего эволюцией деформационных процессов в зоне стружкообразования и контактных слоях инструмента. Нелинейность зоны стружкообразования связана с тем, что в ней достигается предельная энергия деформации и ее эволюция уже не зависит от подводимой внешней энергии. Дальнейшее развитие деформационных процессов автономно реализуется на различных структурных уровнях. Следует констатировать, что разработка механизмов пластического деформирования срезаемого слоя и износа инструмента при резании тесно связано и обусловлено прогрессом знаний в смежных науках (физике, химии, теории твердого тела, квантовой механике, материаловедении и т.д.).

Согласно [1, 2], в зоне стружкообразования и зоне вторичной деформации  $\epsilon$  степень деформации и  $\dot{\epsilon}$  скорость деформации могут достигать критических значений. В процессе обработки система резания эволюционирует, отклоняется от термодинамического равновесия и самоорганизуется. Рост энтропии приводит к образованию в системе резания новых диссипативных структур, которые определяют механизм деформации срезаемого слоя, вид стружки, устойчивость процесса резания, износ инструмента, качество поверхности и точность обработки.

В работе [6] обоснован новый подход к описанию пластической деформации, основанный на термодинамически необратимых процессах и концепции сильновозбужденного состояния (СВС). Показана возможность возникновения в сильновозбужденном кристалле вихревой моды деформации. Дислокационная и вихревая (ротационная) моды деформации взаимосвязаны и действуют кооперативно. По мере увеличения степени деформации и плотности деформационных дефектов как элементов новой структуры, локальная сдвиговая устойчивость снижается, и происходит переход к микровихрям.

Проведенные нами исследования [11-12], а также анализ работ других авторов [7-10] позволяют указать некоторые выявленные виды диссипативных структур, а также механизмы реализации принципа самоорганизации (табл. 2) в системе резания. На рис. 1 приведена схема процесса резания, иллюстрирующая взаимодействие инструмента со стружкой.

Рассмотрим с позиций синергетического подхода роль СВС в системе резания (система заготовка – инструмент) при деформации срезаемого слоя и стружкообразования. Струк-

тура обрабатываемого материала – сложная система, состоящая из иерархий уровней [6]. Каждый структурный элемент верхнего уровня включает несколько структурных элементов нижнего уровня (табл. 1).

Таблица 1

**Распределение структуры углеродистых сталей по уровням**

Структурные уровни			
Макроструктура	Микроструктура	Субструктура	Атомная структура
Структурные элементы			
Зерна цементита и феррита, крупные включения, границы зерен и др.	Дисперсные включения, примеси, выделения	Дислокации субграницы, ячейки, петли дислокаций и др.	Ячейки атомно-кристаллической решетки, атомы, электронные оболочки

Для других материалов структура может быть иной. Атомная и дислокационная структуры являются структурами нижнего уровня – наноуровня. Результаты анализа физических процессов, протекающих в зоне стружкообразования, позволяют рассматривать формирование элемента стружки как процесс “упрочнение – диссипация” запасенной энергии деформации. Тогда условие динамического равновесия деформированных объемов на нижней границе ОА зоны стружкообразования (рис. 1) можно выразить в соответствии с уравнением

$$\frac{\sigma \cdot d\varepsilon}{dt} - \frac{dU_d}{dt} - \frac{dQ}{dt} = 0,$$

где  $\sigma$  - напряжение,  $t$  - время.

Таблица 2

**Диссипативные структуры и механизмы самоорганизации в системе резания**

Диссипативные структуры и механизмы диссипации	Механизмы и эффекты самоорганизации
Структуры 1. Скопление дислокаций в зернах и на границах 2. Фрагментированная дислокационная структура 3. Дефекты упаковки, двойники в зернах, устойчивые электронные конфигурации 4. Нарост	Механизмы 1. Фазовые переходы 2. Фрагментация дислокационной структуры 3. Аномальный массоперенос
Диссипативные структуры и механизмы диссипации	Механизмы и эффекты самоорганизации
Механизмы 1. Хрупкий и вязкий скол 2. Локализация деформации (полосы скольжения) 3. Адиабатические полосы скольжения 4. Пластическая неустойчивость (стружка скальвания) 5. Аморфизация 6. Деформационное старение 7. Динамический возврат	Эффекты 1. “Нормальный” период износа инструмента 2. Экстремальность зависимостей T-V, наличие Vopt 3. Упрочнение поверхностей трения мелкодисперсными частицами износа 4. Сливная стружка 5. Образование нароста 6. Устойчивость УСС в фазовом пространстве в виде аттракторов

Напряжения  $\sigma$ , приложенные к деформируемым объемам в зоне стружкообразования, совершают деформацию  $\varepsilon$ , а следовательно, работу  $A_p$ , необходимую для атомных и

дислокационных перестроек и запасания  $\Delta U_\delta$  упругой энергии деформации, которая должна полностью поглощаться или рассеиваться. Диссипация  $\Delta U_\delta$  в зависимости от условий резания может осуществляться путем образования хрупких или вязких трещин (табл. 1) либо аморфизацией локальных объемов и последующим динамическим возвратом. Поэтому образование различных типов стружек следует рассматривать как результат изменения механизмов деформирования и диссипации запасенной энергии с возрастанием скорости резания. Чем меньше структурный уровень диссипативной структуры, тем больше скорость диссипации энергии деформации.

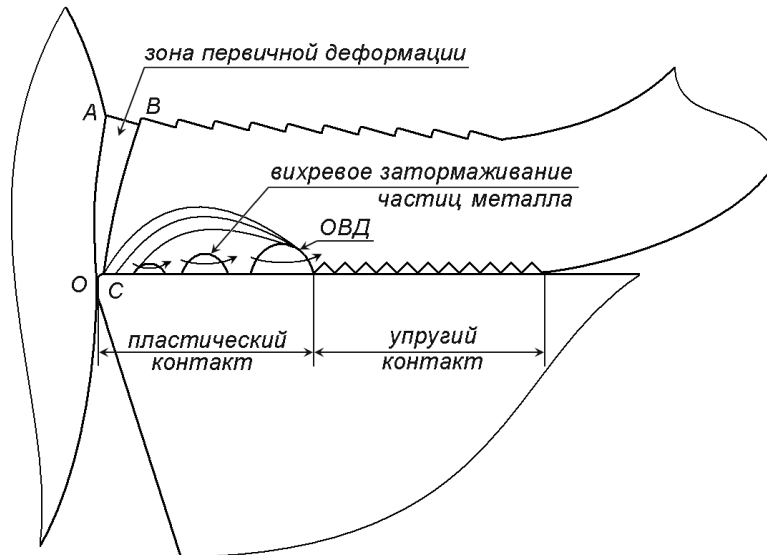
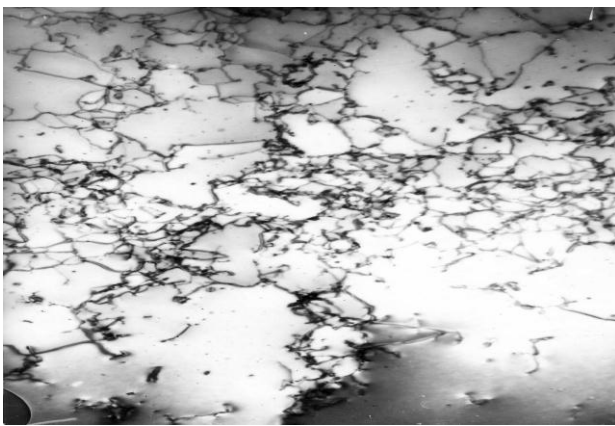
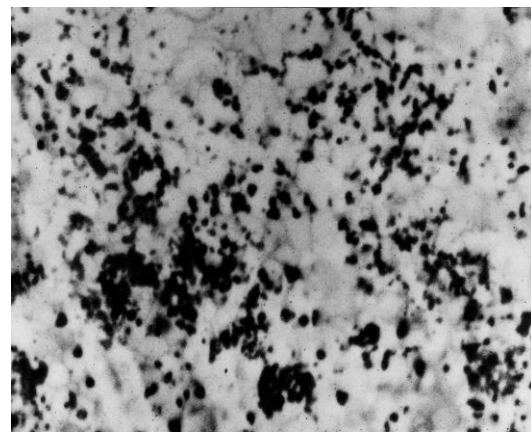


Рис. 1. Схема процесса резания в условиях течения заготовки



а)



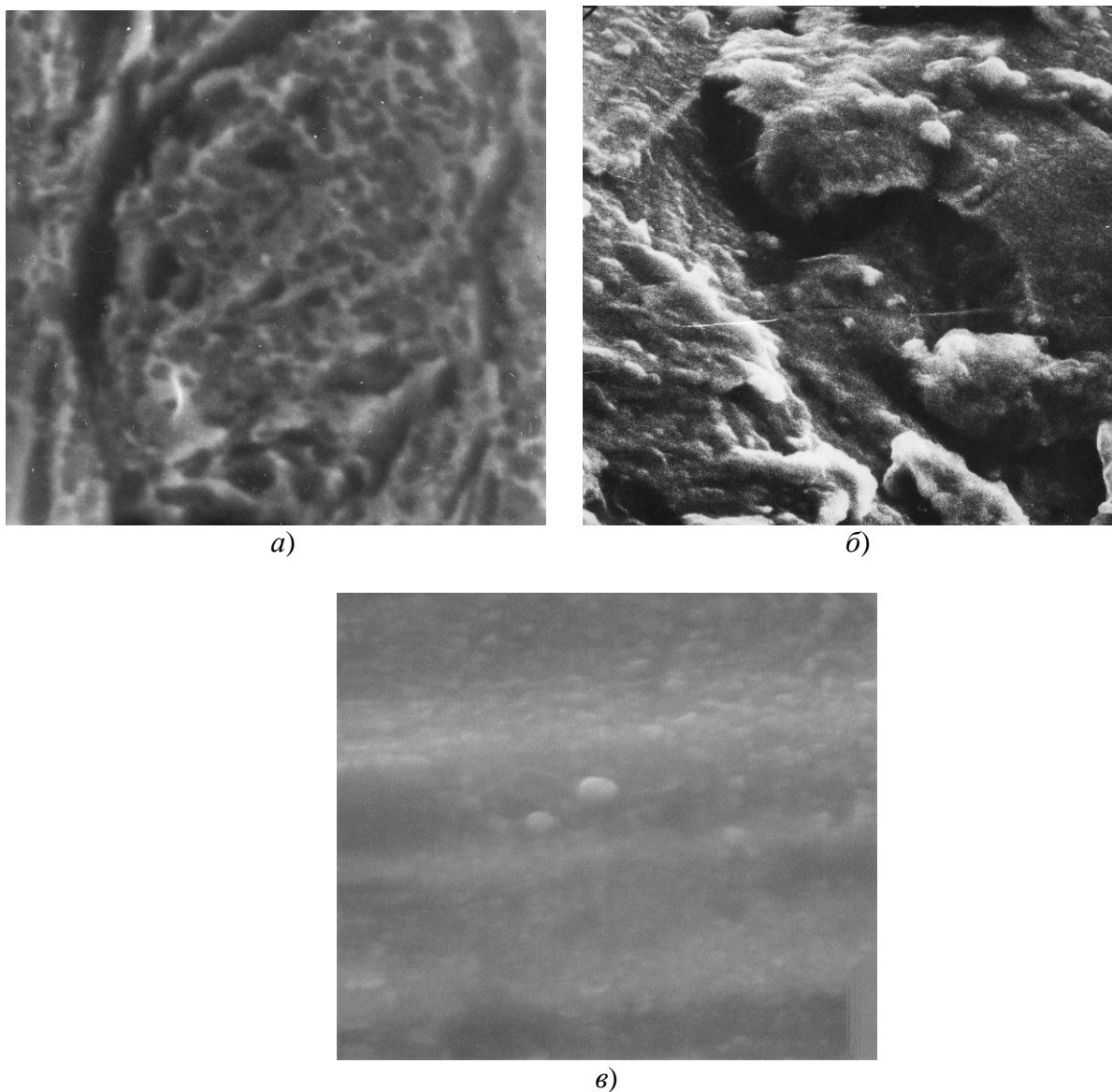
б)

Рис. 2. Дислокационная структура стали 20 при резании:  
а - на границе OA (рис. 1); б - на границе BC (x15000)

При низкой скорости резания по мере врезания инструмента в заготовку происходит накопление  $\rho$  плотности дислокаций в окрестности режущего лезвия и при достижении плотности  $\rho$ , близкой к критической, вызывает увеличение  $\Delta U_\delta$ ,  $\sigma_\epsilon$  внутренних напряжений, локализацию деформации и рост  $\epsilon \rightarrow \epsilon_{np}$  до предельной величины и разрыву межатомных связей. Поэтому образование стружек скалывания при низких скоростях резания следует рассматривать как эффективный механизм диссипации запасенной энергии деформации и внутренних напряжений в зоне стружкообразования. Ротации зерен способствуют росту тре-

щин и образованию элемента стружки. Отделение элемента стружки происходит под действием скалывающей силы, создающей изгибающий момент.

Образование сливной стружки с ростом скорости резания  $v$  происходит в условиях активной пластической деформации (высоких скоростей деформирования обрабатываемого материала и температур). Возрастает диффузионная подвижность примесей. Это увеличивает скорость движения и плотность дислокаций, в результате повышается их способность к перестройке с образованием фрагментированных (ячеистых) структур (рис. 2, б), ограничивающих  $L$  длину пробега дислокаций ( $L$  - равного размеру фрагмента), а скорость деформационного упрочнения и  $\varepsilon$  уменьшаются. Зона стружкообразования самоорганизуется и переходит в состояние термодинамического равновесия с минимумом  $\Delta U_0$  запасенной энергии деформации и энтропии. Диссипация запасенной упругой энергии происходит путем аморфизации локальных объемов на границе ВС (рис. 1) с последующим динамическим возвратом и образованием вязкого скола.



**Рис. 3. Микрофотографии, иллюстрирующие:**  
*a* - вихревое движение частиц обрабатываемого материала в толще стружки (x1000);  
*б* - на прирезцовой поверхности стружки (x120);  
*в* - наночастицы на прирезцовой поверхности стружки (x20000)



Фрагментация (рис. 2, б) зерен (ротационная мода деформации на низшем уровне) резко повышает пластичность материала в зоне стружкообразования, так как рост степени деформации без разрушения объемов происходит за счет разориентации границ фрагментов дислокационной структуры. Повышение пластичности металла в результате этого обеспечивает формирование более плотной стружки и ее перемещение по передней поверхности инструмента, что ведет к возникновению системы сил, в частности, силы сжатия  $P_{сж}$ , создающей  $\sigma_{гид}$  гидростатическое давление в деформируемой зоне стружкообразования ОАВС (рис. 1).

На рис. 3 приведены микрофотографии, иллюстрирующие ротационное (вихревое) движение частиц обрабатываемого материала в толще стружки (рис. 3, а) и на прирезцовой ее поверхности (рис. 3, б). При электронно-микроскопическом изучении прирезцовой поверхности стружки обнаруживаются наночастицы шаровидной формы (рис. 3, в). Это свидетельствует о достижении в них локальных температур, достигающих температуры плавления, и последующего резкого охлаждения.

Изменяется также характер контакта стружки с инструментом; формируется упруго-пластический контакт (рис. 1).

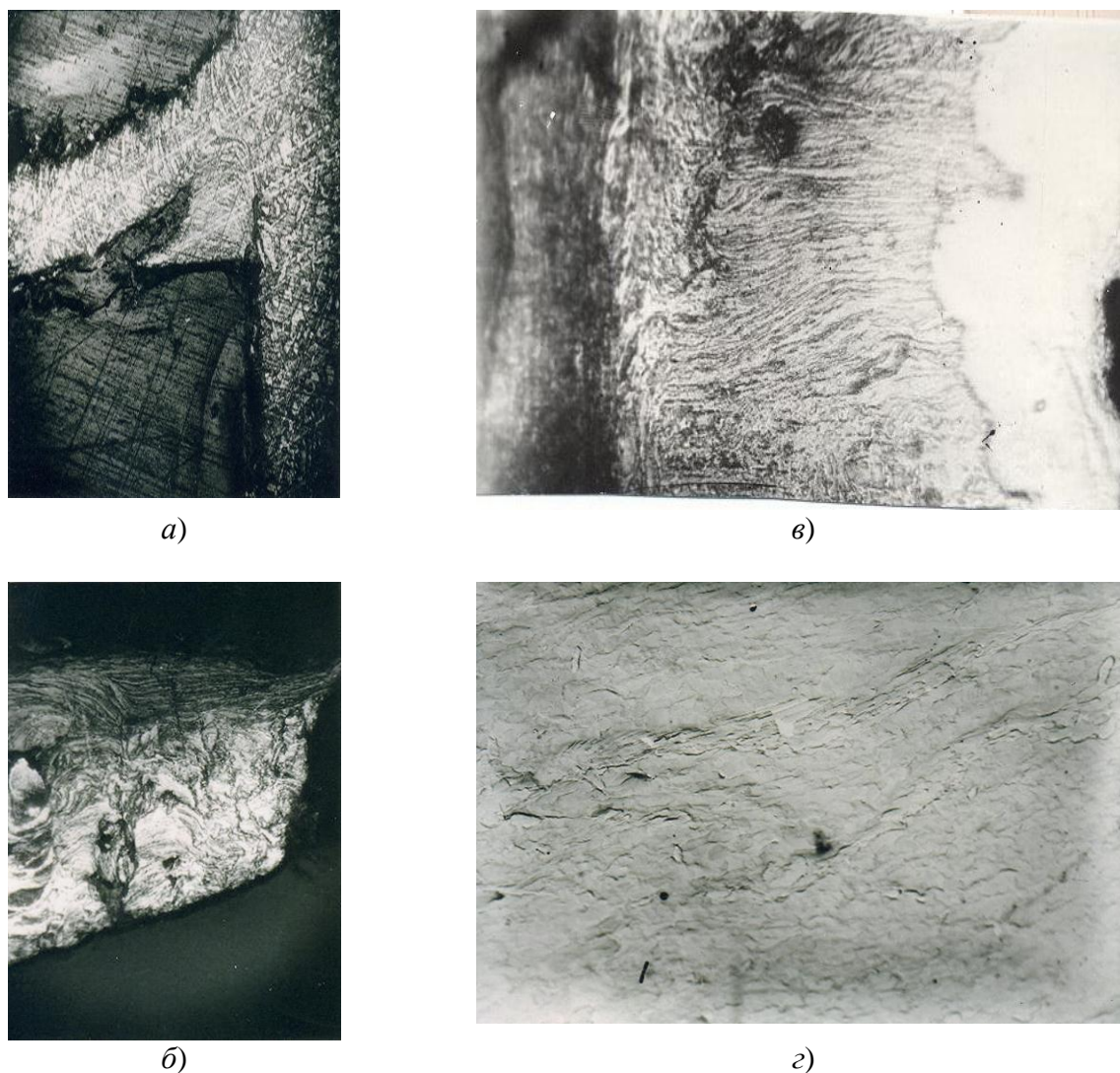
При высоких скоростях резания создаются условия для адиабатического сдвига элемента стружки [10]. В локальных объемах температура также может достигать температуры плавления, а процесс динамического возврата сопровождается образованием белого слоя между малодеформированными объемами стружки (рис. 1).

Согласованное (кооперативное) изменение выходных параметров процесса резания (износа инструмента, Ra высоты неровностей, остаточных напряжений) при  $v_{opt}$  отмечается и в работе [10]. Образование нароста (рис. 4, а), оказывающего большое влияние на износ инструмента, является результатом высоких удельных  $q_N$  нормальных напряжений, а также температуры  $T^0$  и сопровождается формированием (рис. 4, б) характерного нетравящегося “белого слоя” в его теле нароста. На подошве нароста фиксируются вихревые структуры (рис. 4, в), а также закалки и последующего мгновенного отпуска (троостит, сорбит) как результат неравновесных фазовых переходов (рис. 4в) из жидкого состояния в кристаллическое. Экспериментальные данные (рис. 4, а-г) также следует рассматривать как результат самоорганизации системы резания.

Таким образом, высокие значения  $q_N$  и  $\tau_F$  в прирезцовых слоях стружки (рис. 1) вызывают плавление и локальных объемов и формирование здесь наноструктур (рис. 3, в). Согласно [6, 13], аморфная фаза является термодинамически неустойчивой и в процессе сдвиговой деформации испытывает динамический возврат и переходит в кристаллическую фазу. В связи с этим “белый слой” между элементами стружки (адиабатическое резание) - результат структурных и фазовых превращений в зоне ОАВС (рис. 1) при высоких скоростях резания. Движение и пересечение дислокаций сопровождаются образованием вакансий, объединением их в поры, переходящие в вязкие микротрещины (вязкий скол) и разрывом межатомных связей. Оно сопоставимо с теплотами плавления и испарения [9]. В связи с этим, установлена линейная связь между силами резания и  $T_{пл}$  температурой плавления ряда обрабатываемых материалов. Высокая шероховатость обработанной поверхности подтверждает рассмотренное предположение. Кроме того, на ней также обнаруживаются вихревые структуры, подобные структурам, приведенным на рис. 4, б.

При аморфном состоянии металла дислокации беспрепятственно пронизывают его кристаллическую решетку, испуская при этом точечные дефекты, потоки которых в полях градиентов напряжений и температур осуществляют также массоперенос, скорость которого намного превышает скорость диффузии в жидком металле, вызывая структурные и фазовые превращения. Жидкоподобное состояние материала, находящееся в СВС, характеризуется аномально высокой скоростью массопереноса. По-видимому, атомы в этих условиях находятся в ридберговском (ионизированном) состоянии, т.е. в

высоком реакционном состоянии, вызывая адгезионное взаимодействие при трении стружки с передней поверхностью инструмента (рис. 1), механизм которого рассмотрен далее. В результате этих процессов прочность адгезионного взаимодействия инструментального и обрабатываемого материалов возрастает и вызывает последующее наростообразование.



**Рис. 4. Микрофотографии, иллюстрирующие:**

*a* - шлиф корня стружки с наростом (x60); *б* - подошву нароста из стали 20 (x120) при  $V = 15$  м/мин; *в* - подошву нароста при  $V = 35$  м/мин (x120); *г* - тело нароста (x15000)

Описанные процессы существенно определяются типом кристаллической решетки обрабатываемого материала, системами в ней скольжения и т.д. В связи с этим, процессы деформации при резании и образование типов стружек необходимо рассмотреть также на атомном уровне. Сильные атомные связи возникают в результате перекрытия внешних валентных  $d$  и  $s$  оболочек между ближайшими соседями в плотно упакованных рядах, поэтому упругие модули в металлах должны быть максимальны именно в этих направлениях. Действительно, изучение анизотропии упругих модулей в ГЦК-металлах [14] показывает, что модуль  $E$  вдоль плотно упакованных рядов (110), где перекрытие  $d$  орбиталей соседних атомов максимально, имеет наибольшее значение, а модуль  $E$ , отвечающий направлению (100), минимален.

Атомная и дислокационная моды деформации взаимосвязаны и взаимообусловлены. В частности, дислокации как дефекты кристаллического строения сами имеют атомную (элек-

тронную) структуру. Имеется также связь плотности электронного состояния на уровне Ферми с энергией дефекта упаковки (э.д.у.) [6]. Как известно, э.д.у., наряду вектором Бюргера, определяет подвижность дислокаций и способность их фрагментироваться [10]. Можно полагать, что атомы, находящиеся в локальных зонах деформирования в окрестности режущего лезвия (рис.1), где реализуются структурные переходы, разрыв и возникновение новых атомных связей, образуют единую квантовую систему, которую можно рассматривать как нанокластер.

Когерентное поведение атомов с образованием нового электронно-энергетического состояния в этой квантовой системе (кластере) следует изучать на основе принципов квантовой механики [15]. В связи с этим, при внешнем воздействии в ней происходит смещение атомов, возрастание их амплитуды колебаний и рост энергии электронов, а следовательно, изменение степени перекрытия электронных орбиталей и изменение (увеличение) атомного объема и образование новой электронной конфигурации у атомов.

В результате изменяется энергетическое состояние этой квантовой системы, которое следует рассматривать как новое разрешенное структурное (энергетическое) состояние [6] в кристаллической решетке. Таким образом, можно предположить, что при внешнем механическом нагружении (резании) атомы обрабатываемого материала в окрестностях режущего лезвия (в зонах локализации деформации) изменяют квантовое состояние. Дислокации вызывают начальное «возбуждение» состояния атомов в кристаллической решетке. В электронной подсистеме возбуждение атомов обуславливают рост амплитуды их колебаний, образование волн смещения и увеличение объема атомов за счёт их изменения их квантового состояния. Это обеспечивает дислокациям преодоление энергетического барьера Пайерс-Набарро, смещение атомов и деформацию кристаллической решетки путем скольжения. Поэтому при внешнем нагружении (резании) структурные переходы в кристалле реализуются как в дефектной подсистеме, так и в электронной.

С ростом скорости резания в окрестности режущего лезвия (в квантовой системе) будет увеличиваться и число атомов, вовлекаемых в кластер, устойчивость которого будет уменьшаться вследствие снижения прочности межатомного взаимодействия (перекрытия волновых функций). Снижаются силы резания и степень пластической деформации срезаемого слоя (рис. 1), формируется ячеистая дислокационная структура (рис. 2, б), ограничивающая длину свободного пробега дислокаций [8]. Формирование микротрещин происходит путём разрыва межатомных связей и образования хрупкого скола, в результате шероховатость обработанной поверхности уменьшается.

Как указывалось ранее дислокации являются линейными дефектами на наноуровне. Коллективное взаимодействие дислокаций, образование субграниц и ячеек (рис. 2, б) – результат наноструктурирования. Поэтому группу дислокаций также можно рассматривать как нанокластер, т.е. как квантовую систему. В связи с этим, существующий дислокационный механизм деформации материалов [5, 6] при внешнем воздействии путем образования субграниц, ячеек (рис. 2, б), при резании будет не полным, поскольку в нём не учтён атомный механизм деформации твердых тел, взаимодействие дефектной и электронной подсистем.

На основе экспериментальных данных (рис. 3, а и рис. 4, в) и изложенного атомного и дислокационного механизмов деформации металлов, образование адгезионных связей при трении также следует рассматривать как результат перекрытия электронных облаков (внешних электронов) атомов взаимодействующих систем (например,  $Co-Fe$ ,  $WC-Fe$  и т.д.). Уже было отмечено, что дислокации имеют свою атомную (электронную) структуру. При внешнем трении в зоне вторичной деформации стружки (рис. 1) выход дислокаций на контактных поверхностях стружки и инструмента приводит к перекрытию внешних валентных  $d$  и  $s$  электронов в ядрах дислокаций и образованию прочных металлических связей. Поэтому

именно дислокации выполняют роль активных центров адгезии. Влияние  $d$ -электронов на трение чистых металлов показано в работе [12], где представлена зависимость  $\mu$  коэффициента трения от вклада  $d$ -орбиталей в металлическую связь.

В связи с этим, появляется возможность [13, 14] расчета адгезионной связи на атомном уровне из первых принципов, используя программные продукты (Abinit, GAMESS и др.) теории функционала электронной плотности с определением полной энергии электронов либо энергии связи электронов.

В работе [12] изложен также механизм электронного взаимодействия атомов реагентов, являющихся активными компонентами СОТС (O, Cl, S) с металлами с образованием химических соединений. Валентные электроны оболочек  $2s$ ,  $2p$  атомов реагентов перекрываются с внешними оболочками окружающих их металлических атомов, образуя металлические связи.

На рис. 4, *а* приведена микрофотография иллюстрирующая корень стружки с наростом, образованию которого предшествует формирование “налипов” на передней поверхности инструмента (рис. 1). “Налипы” в наибольшей мере наблюдаются на некотором удалении от режущего лезвия и имеют форму конусов. На рис. 4, *б* представлена микрофотография шлифа подошвы нароста после его сдвига относительно передней поверхности. Вначале подошвы нароста видна зона с сильно деформированными зёрнами, а далее обнаруживаются вихревые области деформированного материала.

Следовательно, “налипы” (рис. 1) - результат адгезии (затормаживания) частиц металла и последующего вихревого движения материала (рис. 3, *а*) вглубь стружки, вызывающего области высокого давления (ОВД) на передней поверхности инструмента, формирующих пластический контакт стружки с инструментом (рис. 1).

В связи с этим, наростообразование (рис. 4, *а*) следует рассматривать как результат адгезии в областях ОВД (рис. 1), последующего затормаживания частиц деформированного металла, развития “налипов” по вихревому механизму в виде конусов и последующим увеличением объема тела нароста за счет когезии послойных частиц из обрабатываемого материала (рис. 4, *а*).

На рис. 4, *г* приведена электронная микрофотография тела нароста. Как видно на рис. 4, *г*, структура нароста не выявляется, однако при микрорентгеноспектральном анализе обнаружено, что в нём присутствуют наноразмерные сложные карбиды, наряду с цементитом  $Fe_3C$ . Следовательно, процесс упрочнения нароста и возможность выполнения им функции режущего лезвия следует связать прежде всего с деформационным старением обрабатываемого материала, заторможенного вследствие сил когезии и упрочнения наночастицами сложных карбидов.

При старении железоуглеродистых сталей при низких температурах в определенных условиях имеет место метастабильное равновесие зонной структуры. Образование зон при распаде твердого раствора можно рассматривать не как подготовительную стадию процесса выделения, а как альтернативу выделению фазы с новой структурой путем образования зародышей. После образования атмосфер примесей вблизи дислокаций начинается образование сложных карбидов и цементита. Существует мнение, что локальное зарождение фазы на дислокациях связано с тем, что эти области вблизи дислокаций оказываются более выгодными в силу концентрационного или структурного фактора. Поверхностная энергия на границе твердого раствора и фаз, выделяющихся при старении, мала, и при малом размере частиц ею можно пренебречь. Фактор упругой деформации будет наибольшим при образовании сложных карбидов и наименьшим при образовании цементита. Упрочненный, таким образом, нарост, увеличивая  $\gamma$  передний угол инструмента, снижает силу резания  $P_z$ ,  $S$  энтропию и

$\dot{S}$  производство энтропии в системе. В связи с этим, нарост является диссипативной структурой, обладающей определенной кинетической устойчивостью (временем жизни).

Термодинамическое равновесие системы резания обеспечивают оптимальные характеристики выходных параметров. В связи с этим, минимальные значения запасенной  $\Delta U_{\phi}$  энергии деформации в системе резания,  $A_p$  работы резания и устойчивость процесса резания достигаются при  $dQ \rightarrow \min$ ,  $dS \rightarrow \max$  [11, 12].

Это условие реализуется при оптимальной скорости резания  $v_{\text{опт}}$  в зависимости  $T$ - $V$ . При оптимальных скоростях резания происходит повышение стойкости инструмента, устойчивости процесса резания, обеспечиваются минимальные значения высоты неровностей и степени наклепа поверхностного слоя деталей [10].

Повышение износостойкости режущего инструмента достигается целенаправленным формированием в его поверхностных слоях энергетических устойчивых структур, например, за счет осаждения наноструктурных покрытий. Разработаны методы, обеспечивающие повышение устойчивости упругой системы станка [12].

Исследования показывают, что перспективным решением проблемы управления процессами механообработки является разработка автоматизированных систем технической диагностики станочных систем [11].

Наиболее информативными диагностирующими признаками, несущими информацию об эволюции деформационных процессов в системе резания и состоянии УСС, вибраций при резании, качестве обработанной поверхности, а также износа инструмента, являются аттракторы динамических систем [11] при анализе мгновенного спектра ВЭ, при этом можно надежно диагностировать и оптимизировать выходные параметры резания.

#### Библиографический список

1. **Зорев, Н.Н.** Вопросы механики процесса резания металлов / Н.Н. Зорев. – М: Машгиз, 1956. – 257 с.
2. **Клушин, М.М.** Теория резания – вводные главы / М.М. Клушин; ГПИ. – Горький, 1975. – 55 с.
3. **Хакен, Г.** Синергетика / Г. Хакен. – М: Мир, 1980. – 406 с.
4. **Николис, Е.** Самоорганизация в неравновесных процессах / Е. Николис, И. Пригожин. – М: Мир, 1979. – 512 с.
5. **Иванова, В.С.** Синергетика, Прочность и разрушение металлических материалов / В.С. Иванова. – М.: Наука, 1992. – 159 с.
6. **Панин, В.Е.** Структурные уровни деформации твердых тел / В.Е. Панин, В.А. Лихачев, Ю.В.Гриняев. – Новосибирск: Наука, 1985. – 229 с.
7. **Мохель, А.Н.** Теоретическое описание запаздывания пластического деформирования сталей / А.Н. Мохель, Р.Л. С. 145–157.
8. **Рыбин, В.В.** Большие пластические деформации и разрушение металлов / В.В. Рыбин. – М.: Металлургия, 1986. – 184 с.
9. **Григорович, В.К.** Металлическая связь и структура металлов / В.К. Григорович. – М.: Наука, 1988. – 296 с.
10. **Макаров, А.Д.** Оптимизация процессов резания / А.Д. Макаров. – М.: Машиностроение, 1976. – 279 с.
11. **Кабалдин, Ю.Г.** Управление динамическим качеством металлорежущих станков на основе искусственного интеллекта / Ю.Г. Кабалдин, С.В. Биленко, С.В. Серый. – Комсомольск-на-Амуре: КнАГТУ, 2004. – 240 с.
12. **Кабалдин, Ю.Г.** Самоорганизация и нелинейная динамика в процессах трения и изнашивания инструмента при резании / Ю.Г. Кабалдин. – Комсомольск-на-Амуре: КнАГТУ, 2003. – 175 с.
13. **Павлов, В.А.** Аморфизация структуры металлов и сплавов с предельно высокой степенью деформации // Физика металлов и материаловедение. 1985. Т. 59. Вып. 4. С. 629–649.

14. **Заводинский В.Г.** Компьютерное моделирование атомной и электронной структуры наносистем: учеб. пособие / В.Г. Заводинский. – Хабаровск: ХГПУ, 2003. – 72 с.
15. **Цирельсон, В.Г.** Химическая связь и межэлектронное взаимодействие / В.Г. Цирельсон. – М.: РХТУ, 2004. – 131 с.

*Дата поступления  
в редакцию 15.10.2013*

**Yu.G. Kabaldin<sup>1</sup>, A.M. Kuzmishina<sup>1</sup>, S.V. Sery<sup>2</sup>**

## **ATOMIC- DISLOCATION APPROACH TO THE PROCESS OF METAL CUTTING**

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alekseev<sup>1</sup>,  
Komsomolsk-on-Amur state technical university<sup>2</sup>

**Purpose:** Develop atomic dislocation model of deformation process of the shear layer and the contact processes that determine the output parameters of the machining.

**Methodology:** In the study used electron microscopy of thin foils, scanning electron microscopes and power, quantum-mechanical calculations to estimate the deformation and contact processes in cutting.

**Findings:** Developed atomic dislocation model describing the deformation and contact processes accompanying the external friction during cutting, the formation of different types of chips and tool wear

*Key words:* cutting metals, nuclear dislocation and deformation mode, amorfnzatsiya, structural and phase changes, adhesion build-up.

# ЯДЕРНАЯ ЭНЕРГЕТИКА И ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

УДК 621.039

С.М. Дмитриев, А.В. Варенцов, Д.В. Доронков, М.А. Легчанов, Д.Н. Солнцев

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ И РАСЧЕТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕЖКАНАЛЬНОГО ОБМЕНА ТЕПЛОСИТЕЛЯ В ТВС РЕАКТОРА КЛТ-40С

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

В работе представлены результаты экспериментальных и расчетных данных по исследованию локальных гидродинамических характеристик и межканального массообмена потока теплоносителя в модели ТВС реакторной установки плавучей атомной электростанции.

*Ключевые слова:* ядерный реактор, тепловыделяющая сборка, гидродинамика и массообмен теплоносителя, дистанционирующая решетка.

### Введение

Строительство первой плавучей атомной теплоэлектростанции (ПАТЭС) мощностью 70 МВт с реакторными установками КЛТ-40С ведет ОАО «Концерн Росэнергоатом». Данный энергоисточник нового поколения, созданный на базе российских технологий атомного судостроения, предназначен для круглогодичного энергоснабжения районов Арктики и Дальнего Востока России, а также других изолированных, топливодефицитных районов в России и за рубежом.

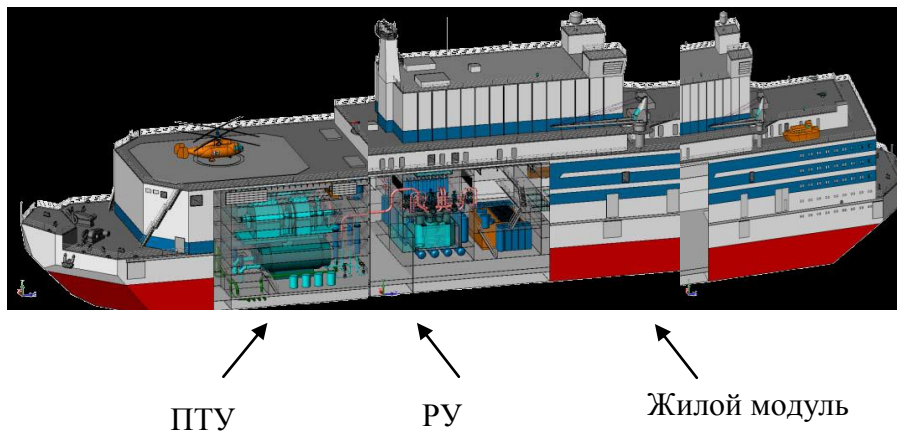
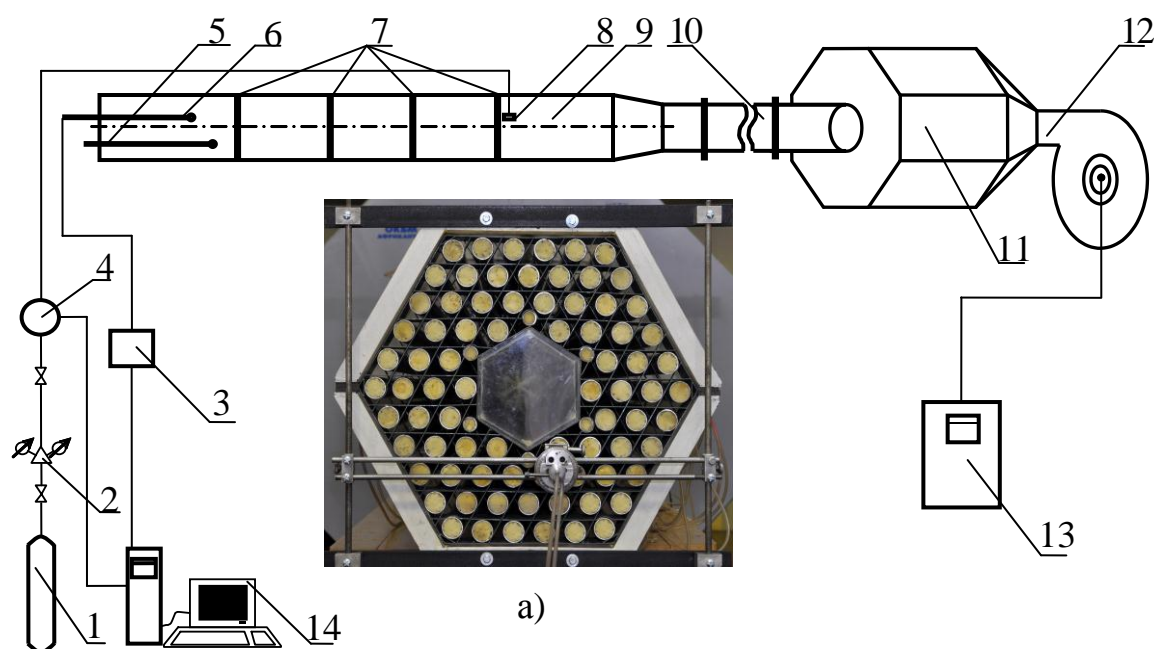


Рис. 1. Плавучий энергетический блок (ПЭБ)

Проектантом и комплексным поставщиком реакторной установки для ПАТЭС является ОАО «ОКБМ Африкантов». Одним из этапов обоснования работоспособности данной реакторной установки является комплекс исследований, направленных на изучение теплогидравлики в активной зоне. Данный тип работ представляет собой экспериментальное исследование особенностей формирования локальных гидродинамических характеристик потока теплоносителя в пучках твэлов ТВС.

### Экспериментальный стенд

Исследования локальных характеристик гидродинамики и межъячеечного массообмена потока теплоносителя проводились на аэродинамическом стенде (рис. 2) методом диффузии примесей. Принцип проведения экспериментальных исследований заключался в том, что поток воздуха посредством радиального вентилятора высокого давления поступал в ресиверную емкость, двигался через расходомерное устройство и успокоительный участок, затем, пройдя через экспериментальную модель (ЭМ), выбрасывался в атмосферу. Трассер подавался через впускной зонд в ячейку пучка твэлов в начале исследуемого участка, после чего отборным зондом за исследуемым поясом дистанционирующей решетки (ДР) производился отбор газозадушной смеси для анализа распределения концентрации трассера по длине и поперечному сечению ЭМ [1].



**Рис. 2. Схема экспериментального стенда:**

1 – газовый баллон; 2 – редуктор; 3 – модульный газоанализатор; 4 – регулятор расхода газа; 5 – пятиканальный пневмометрический зонд; 6 – отборный зонд; 7 – статические отборы; 8 – устройство ввода трассера в ячейку ЭМ; 9 – экспериментальная модель; 10 – успокоительный участок; 11 – буферная емкость; 12 – вентилятор высокого давления; 13 – преобразователь частоты; 14 – ЭВМ; а – выходное сечение экспериментальной модели ТВС реактора КЛТ-40С

Экспериментальная модель, входящая в состав стенда представляет собой масштабную модель ТВС реактора КЛТ-40С, выполненную в полном подобии натурной ТВС. Имеет длину 3 м и состоит из шестигранного чехла, 78 цилиндрических твэлов-имитаторов, шести цилиндрических СВП-имитаторов, трех поясов дистанционирующих решеток.

### Измерительный комплекс

В состав измерительного комплекса входят: газоанализатор АДК-03Р, регулятор расхода газа EL-FLOW, отборный зонд, выполненный в виде трубки Пито-Прандтля и одновременно выполняющий функцию транспортного газопровода в газоанализатор, ПЭВМ с соответствующим программным обеспечением.

Для измерения концентрации углеводородов  $C_nH_m$  в газо-воздушной смеси использовался газоанализатор АДК-03Р, принцип работы которого основан на измерении величины



поглощения инфракрасного излучения в области длины волны 3,4 мкм. Диапазон измеряемых концентраций: 0...10000 ppm, погрешность измерения при этом с учетом индивидуальной градуировки равна  $\pm 5$  ppm (0...1000 ppm);  $\pm 1,5\%$  (1000...10000 ppm). Величина 10000 ppm соответствует 1 объемному проценту газа трассера в газо-воздушной смеси.

Для поддержания заданного расхода газа использовался массовый расходомер EL-FLOW, который позволяет измерять и регулировать потоки газов в диапазонах от 0 до 5 л/мин. Погрешность при этом составляет не более 0,5%.

### **Представительность получаемых экспериментальных данных**

Для обоснования представительности экспериментальных исследований массообменных и гидродинамических характеристик модели ТВС активной зоны реактора КЛТ-40С необходимо соблюдение равенства местного гидравлического сопротивления натуральных дистанционирующих решеток ТВС реактора КЛТ-40С и дистанционирующих решеток экспериментальной модели.

С этой целью был проведен ряд испытаний, направленных на определение режимов течения теплоносителя в экспериментальной модели, определение участков гидродинамической стабилизации потока и нахождение границ зон автомодельного течения теплоносителя.

В процессе работы экспериментального стенда на установившемся режиме течения замерялись перепады статического давления по длине модели, и для каждого из участков проводилось их сравнение. Стабилизированным считалось течение с постоянной величиной градиента статического давления.

В диапазоне чисел  $Re=50000-90000$ , что соответствует зоне автомодельности, коэффициент гидравлического сопротивления ДР составляет  $\xi_{др} = 0,29$ . Данное значение соответствует коэффициенту гидравлического сопротивления натурной решетки.

Кроме того, была проведена апробация методик проведения экспериментальных исследований для подтверждения достоверности получаемых результатов, определены погрешности измеряемых величин. Оценка погрешности измерения аксиальной составляющей скорости и концентрации проводилась на основе сравнения балансов расхода трассера и основного потока. Погрешности измеряемых величин не превышали 5%.

### **Методика проводимых исследований**

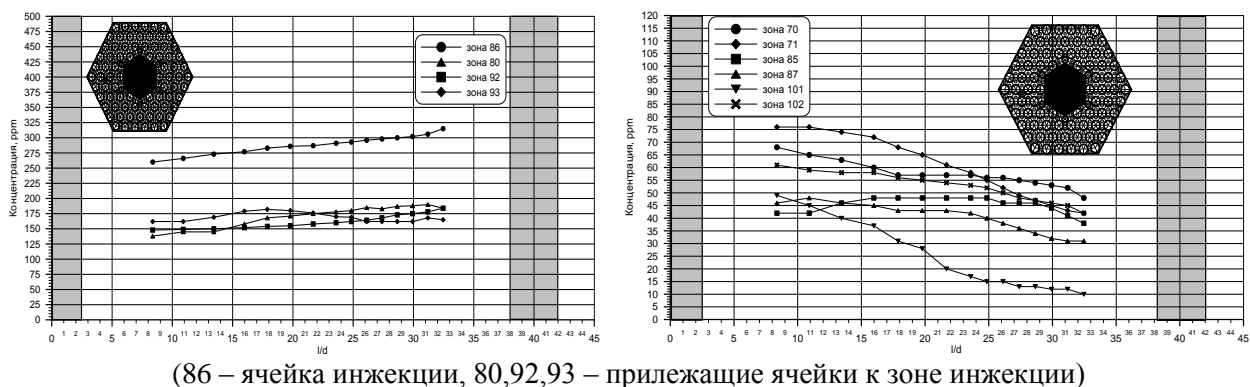
Метод трассера основан на регистрации поперечного потока массы по некоторой переносимой субстанции (краски, соли, газа и т.д.) [2]. В качестве трассера использовался газ пропан, поскольку он обладает наиболее близкими к воздуху свойствами, возможностью быстрой и достаточно точной регистрации, что позволяет получать большие объемы данных в ограниченное время. Методика проведения экспериментальных исследований локального массообмена на экспериментальном стенде заключалась в следующем:

- поперечное сечение экспериментальной модели было разбито на ячейки, каждой из которых был присвоен свой индивидуальный порядковый номер;
- газовый трассер через впускной зонд подавался в стандартную ячейку ЭМ до пояса перемешивающей решетки по ходу течения потока теплоносителя. Далее с помощью отборного зонда производился замер концентрации трассера газоанализатором по центрам всех ячеек за поясом ДР в характерных сечениях по длине ЭМ;
- по полученным данным строились графики и картограммы зависимости распределения концентрации трассера от относительной координаты для характерных зон поперечного сечения ЭМ.

### **Результаты проводимых исследований**

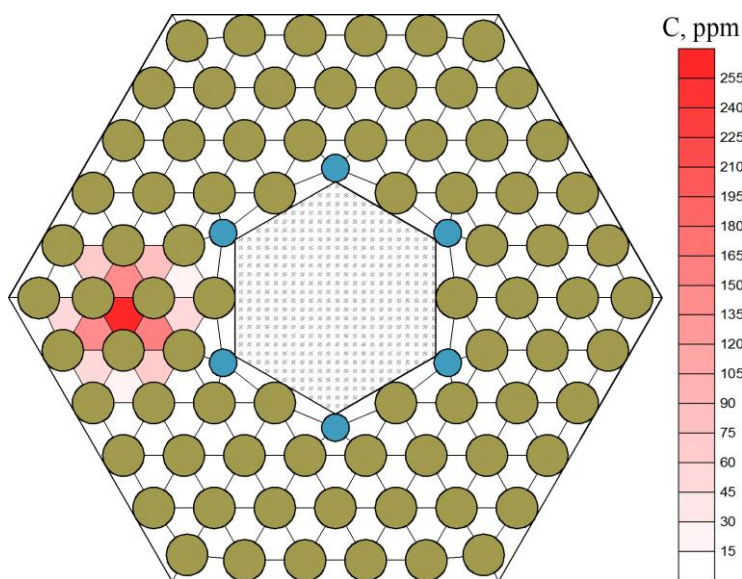
На основе полученных данных были построены графики и картограммы, позволяющие визуально оценить распределение трассера в поперечном сечении экспериментальной модели.

Рассмотрев, как изменяется значения концентрации трассера в зоне инъекции и в соседних ячейках (рис. 3), можно отметить, что посредством механизма турбулентного переноса, часть потока теплоносителя из каждой ячейки переходит в соседние ячейки.



**Рис. 3. Распределение концентрации трассера по длине экспериментальной модели за поясом дистанционирующей решетки**

Следует отметить, что дистанционирующие решетки, состоящие из пластин, не приводят к интенсивному перемешиванию потока теплоносителя, так как распространение пропанового трассера в поперечном сечении ЭМ за дистанционирующей решеткой охватывает не более 11 ячеек вокруг точки инъекции (рис. 4). Это свидетельствует о низкой перемешивающей способности данной дистанционирующей решетки. С другой стороны, такая пластинчатая решетка имеет невысокое гидравлическое сопротивление.



**Рис. 4. Распределение концентрации трассера в выходном сечении экспериментальной модели ТВС реактора КЛТ-40С**

### **Результаты расчетных исследований массообмена потока теплоносителя на экспериментальной модели ТВС реактора КЛТ-40С**

Для анализа экспериментальных данных была разработана математическая модель распределения трассера, которая позволяет оценить значения коэффициента межканального обмена и тем самым количественно охарактеризовать перемешивающие свойства дистанционирующей решетки модели ТВС реактора КЛТ-40С.

ЭМ условно разбивалась по длине на слои, ее поперечное сечение разбивается на плоские элементарные ячейки. В результате можно представить себе каждый слой состоящим из объемных элементов, в основании которых находится плоская элементарная ячейка. При этом часть боковой поверхности элементов ограничена поверхностью имитаторов твэлов или стенками экспериментальной модели, а часть – совпадает с боковыми поверхностями соседних ячеек (элементов). Общие боковые поверхности элементов представляют собой плоские прямоугольные области.

Каждый элемент характеризуется определенным набором геометрических параметров: формой и площадью ячейки, находящейся в его основании, площадью его боковых поверхностей, граничащих с соседними элементами. Также каждый элемент характеризуется типом соседних элементов, граничащих с ним.

Объемные элементы можно разделить на семь типов по виду ячеек (I-VII), лежащих в их основании (рис. 5).

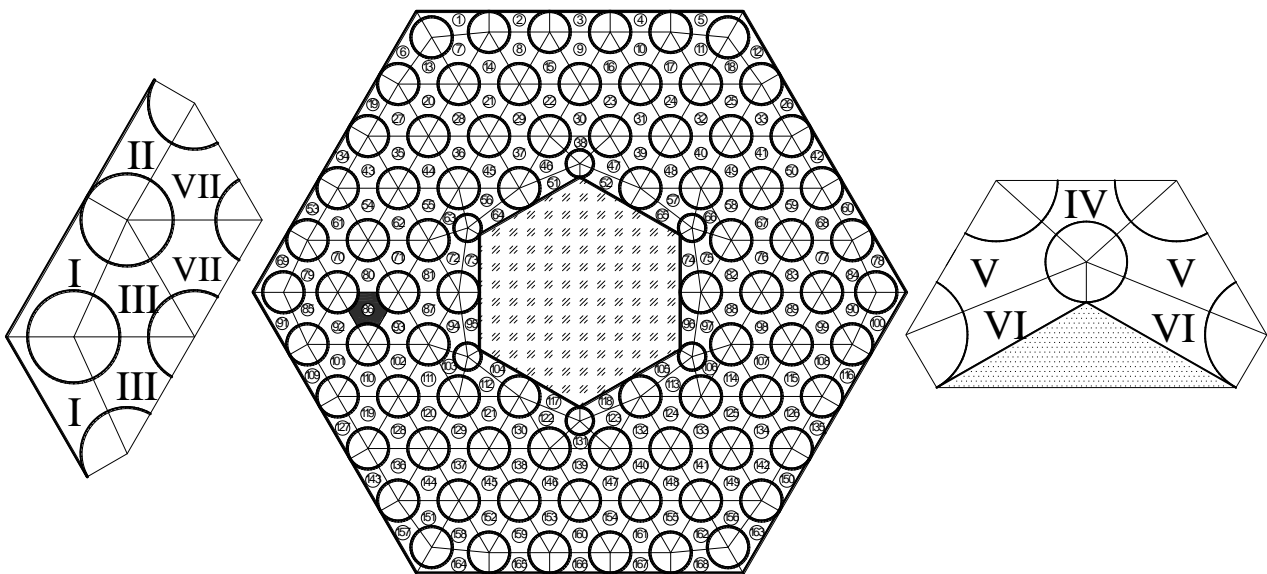


Рис. 5. Типы ячеек экспериментальной модели

При движении теплоносителя по ЭМ осуществляется как осевой, так и поперечный обмен массой между соседними элементами модели. Для определения поперечного обмена массой вводим коэффициент межканального обмена  $\mu$ ,  $\text{м}^{-1}$  как отношение поперечного потока массы на единицу длины канала к полному осевому потоку теплоносителя через ячейку  $G_i$ :

$$\mu = \frac{G_{ij}}{G_i}, \quad (1)$$

где  $G_{ij}$  - поперечный поток массы на единицу длины канала,  $G_i$  - полный осевой поток теплоносителя через ячейку.

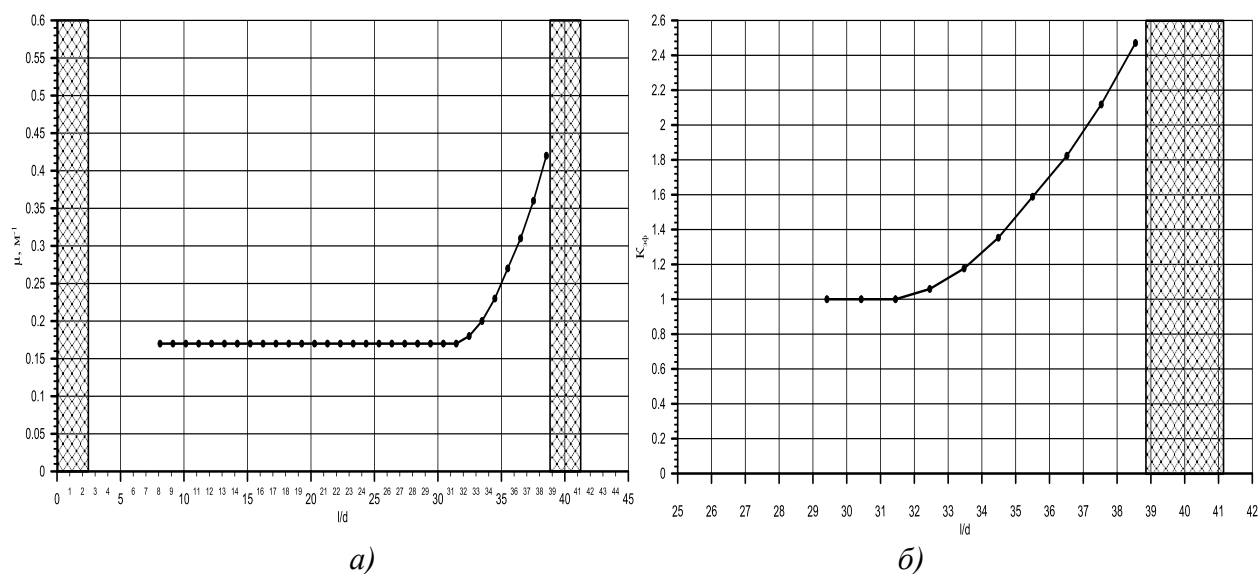
Для нахождения распределения трассера по сечению и длине экспериментальной модели необходимо составить систему уравнений баланса массы трассера, переносимой потоком в осевом и поперечном направлениях. Для решения системы требуется задание значений концентраций трассера в первом слое.

Методом подбора определялись такие значения  $\mu$  для каждого слоя, при которых значения концентрации трассера в ячейках при расчете были максимально близки к результатам эксперимента.

Для оценки эффективности ДР введем понятие эффективного коэффициента межканального обмена  $\mu_{\text{эф}}$ .

$$\mu_{\text{эф}} = K_{\text{эф}} \cdot \mu_{\text{гЛ}}, \quad (2)$$

где  $K_{\text{эф}}$  – коэффициент, учитывающий влияние ДР на перемешивание теплоносителя,  $\mu_{\text{гЛ}}$  – коэффициент межканального обмена в «гладком» пучке твэлов.



**Рис. 6. Результаты расчетных исследований влияния ДР на перемешивание теплоносителя:**  
*а* - распределение значений коэффициента межканального обмена для ЭМ;  
*б* - распределение по длине ЭМ коэффициента  $K_{\text{эф}}$

Анализ распределения коэффициента межканального обмена по длине ЭМ показал, что начиная с расстояния  $l/d = 7$  за решеткой значение коэффициента выходит на постоянный уровень. Это значение характеризует межканальный обмен массой в «гладком» пучке ЭМ.

Таким образом, максимальное значение коэффициента  $K_{\text{эф}}$  составило 2,47, а длина затухания массообменных процессов, вызванных влиянием решетки, составляет  $\Delta l/d = 6-7$ .

### Выводы

По результатам экспериментальных и расчетных исследований гидродинамики и массообмена в ЭМ за ДР были выявлены основные общие закономерности массообмена и движения потока теплоносителя за поясом ДР:

1. Посредством механизма турбулентного переноса часть поперечного потока теплоносителя из каждой ячейки переходит в соседние ячейки, смешиваясь при этом с основным осевым потоком.

2. Применение дистанционирующих решеток, состоящих из пластин, не приводит к интенсивному перемешиванию потока теплоносителя. Это обусловлено меньшей перемешивающей способностью пластинчатой дистанционирующей решетки, а также тем, что ТВС реактора КЛТ-40С имеет раздвинутый пучок твэлов. С другой стороны, такая пластинчатая решетка имеет «невысокое» гидравлическое сопротивление.

3. Наибольшее значение (максимум) эффективного коэффициента межканального массообмена для ДР наблюдается за решеткой на расстоянии  $l/d = 38,5$  и соответствует значению  $\mu = 0,42 \text{ м}^{-1}$ , при этом область затухания возмущений массообменных характеристик за ДР составляет  $\Delta l/d = 7 \div 8$ .

Полученные результаты используются для расчета эффективности дистанционирующих решеток в разрабатываемых прикладных программах и являются базой данных при расчетах теплотехнической надежности активных зон реактора КЛТ-40С.

## Библиографический список

1. **Варенцов, А.В.** Экспериментальные и расчетные исследования гидродинамики и массообмена потока теплоносителя в модели ТВС реактора КЛТ-40С / А.В. Варенцов [и др.] // Научно-технический вестник Поволжья. – Казань: Научно-технический вестник Поволжья. 2013. №3. С. 114–119.
2. **Дмитриев, С.М.** Экспериментальные исследования гидродинамических и массообменных характеристик потока теплоносителя в ТВСА ВВЭР / С.М. Дмитриев [и др.] // Атомная энергия. Т. 113. Вып. 5. 2012. С. 252–257.

*Дата поступления  
в редакцию 18.10.2013*

**S.M. Dmitriev, A.V. Varentsov, D.V. Doronkov, M.A. Legchanov, D.N. Solntsev**

**EXPERIMENTAL AND COMPUTATIONAL MODELING INTER-CHANNEL  
EXCHANGE OF NUCLEAR REACTOR FA KLT-40S**

Nizhniy Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

**Purpose:** Experimental research and computational modeling of local hydrodynamics of coolant in the KLT-40S nuclear reactor FA.

**Design/methodology/approach:** The main method of investigation of hydrodynamics in the nuclear reactor FA is an experimental research of full-size fuel assemblies and cores models on aero- and hydrodynamics stands. Researches of coolant local hydrodynamics are based on measurements of local velocity vectors with five-hole pressure probe inside experimental model.

**Findings:** Characteristics of local hydrodynamics coolant flow in KLT-40S reactor fuel assembly were defined. Features of coolant stream behind spacer grid were revealed. Experimental researches of local velocity fields in standard cells, cells around displacer and peripheral cells of FA allowed to define distribution of coolant expense in FA, what plays important role at calculation of a temperature field in core of the KLT-40S reactor

**Research limitations/implications:** The special databank was created basing on the experimental results. The data are used for verifying CFD-codes to reduce conservatism on esteeming the KLT-40S reactor heat engineering reliability. The results of the research were accepted and are used now by JSC OKBM Afrikantov.

**Originality/value**^ Originality of this article is in local hydrodynamics of coolant research, and revealing features and conformity of coolant flow in the nuclear reactor FA to physical laws. Therefore we can prove heat engineering reliability of the KLT-40S reactor core.

*Key words:* nuclear reactor, fuel assembly, hydrodynamics mass-transfer of coolant, spacer grid.

УДК 621.039.534

А.В. Безносков<sup>1</sup>, М.А. Антоненков<sup>1</sup>, Т.А. Бокова<sup>1</sup>, В.В. Лемехов<sup>2</sup>, А.В. Львов<sup>1</sup>**ОСОБЕННОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ МОДЕЛИ ОСЕВОГО НАСОСА НА ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОМ СВИНЦОВОМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕ**Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева<sup>1</sup>,  
Научно-исследовательский и конструкторский институт энерготехники, г. Москва<sup>2</sup>

Представлены результаты экспериментальных и расчетно-теоретических работ, направленных на создание обоснованных конструкций проточной части и гидростатических опор скольжения для главных циркуляционных насосов инновационных реакторов на быстрых нейтронах, охлаждаемых свинцовым теплоносителем. Эксперименты проводились при следующих условиях: высокотемпературный свинцовый теплоноситель (теплоноситель реакторного контура); температура  $450 \div 550^\circ\text{C}$ ; средний расход через рабочее колесо и выпрямляющий аппарат –  $100 \text{ м}^3/\text{ч}$  ( $100 \text{ т/ч}$ ); через подшипник до  $0,1 \div 0,5\%$  подачи насоса; источник давления рабочей жидкости на входе в подшипник – напор осевого насоса (ок.  $1,0 \text{ м.ст.свинца}$ ); содержание термодинамически активного кислорода в свинцовом теплоносителе во время испытаний: в интервале от  $10^{-5}$  до насыщения и с наличием твердой фазы оксидов теплоносителя в потоке.

*Ключевые слова:* свинцовый теплоноситель, экспериментальные исследования, гидростатический подшипник, осевые насосы.

**Введение**

В России ведутся работы, направленные на создание реакторной установки на быстрых нейтронах со свинцовым теплоносителем БРЕСТ-ОД-300. В качестве циркулятора теплоносителя реакторного контура предусматривается использовать насосные агрегаты осевого типа. В настоящее время отсутствует опыт проектирования и эксплуатации осевых насосов реакторных установок со свинцовым теплоносителем. Одними из проблемных узлов этих насосов являются проточная часть и нижний подшипниковый узел, работающий в перекачиваемой среде.

В НГТУ был разработан и создан стенд ФТ-4А-НГТУ для проведения исследовательских испытаний моделей проточной части и подшипникового узла ГЦН РУ БРЕСТ-ОД-300 и проведены их исследовательские испытания.

Применение традиционных смазок в подшипниках главных циркуляционных насосов реакторов на быстрых нейтронах с жидкометаллическими теплоносителями невозможно вследствие высоких температур и недопустимости контакта теплоносителя с органическими соединениями. Единственной средой, в которой возможна работа такого подшипника, является перекачиваемый теплоноситель. Отличительной особенностью свинцового теплоносителя является несмачивание рабочих поверхностей подшипников скольжения, работа адгезии имеет малую величину, теплоноситель не способен удерживаться в зазорах между контактными поверхностями при наличии тангенциальных сил, имеет малую вязкость, поэтому гидродинамические подшипники в ТЖМТ неработоспособны. Свинцовый теплоноситель имеет малое значение вязкости, не смачивает контактные поверхности, поэтому рассматриваться в качестве смазки в традиционном понимании не может, однако эффективно отводит тепло, выделяющееся при трении контактных пар. Формируемые на поверхностях реакторного контура, в том числе и на контактных поверхностях ГЦН оксидные защитные покрытия имеют антифрикционные свойства, которые улучшают работу контактных пар.

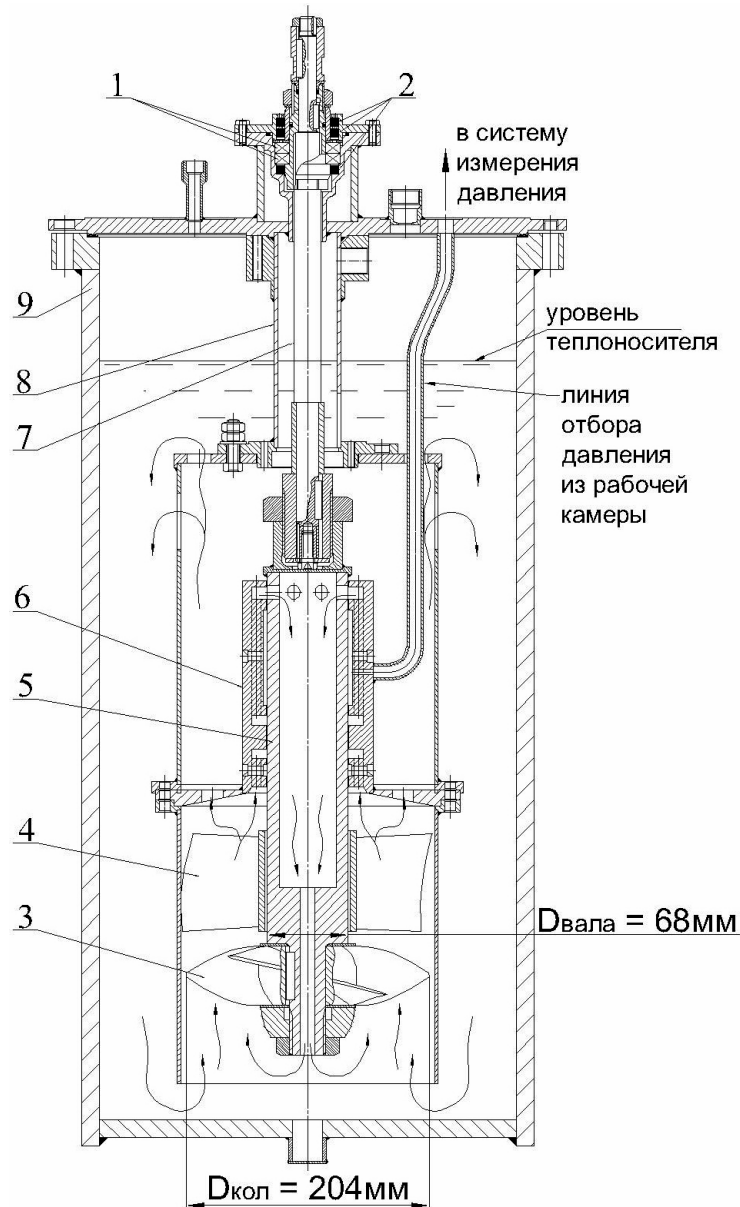
Целью работ, отраженных в настоящей статье, являлось экспериментальное и расчетно-теоретическое обоснование работоспособности, а также методики расчета и рекомендаций по созданию оптимальных конструкций проточной части и подшипников скольжения ГЦН, перекачивающих высокотемпературный расплав свинцового теплоносителя для условий реакторного контура.

Испытания проводились с конструкцией гидростатического подшипника, обоснованной исследованиями, проведенными авторами ранее [3, 4].

### Описание экспериментального стенда

В корпусе устанавливалась выемная часть и уплотнялась крышкой с прокладкой (рис. 1). На валу, соединенном через муфту с асинхронным двигателем, устанавливались следующие основные элементы:

- узел уплотнения по газу;
- верхний подшипниковый узел с шарикоподшипником;
- корпус гидростатического подшипника;
- имитатор вала ГЦН;
- выпрямляющий аппарат;
- осевое рабочее колесо;
- гайка крепления рабочего колеса (рис. 2).



**Рис. 1. Конструктивная схема камерного ГСП с взаимобратным щелевым дросселированием:**

- 1 – узел уплотнения по газу; 2 – верхний подшипниковый узел; 3 – осевое колесо;  
 4 – выпрямляющий аппарат; 5 – имитатор вала ГЦН; 6 – корпус подшипника  
 с взаимобратным щелевым дросселированием; 7 – вал; 8 – кронштейн;  
 9 – корпус выемной части



Рис. 2. Выемная часть (вид снизу)

К крышке приваривался кронштейн с напорной камерой насос, имеющей верхние отверстия, боковые окна и перфорированное днище, отверстия в котором сообщали напорную камеру и выход осевого насоса. Имитатор вала ГЦН и вал рабочего колеса и выпрямляющего аппарата имели центральное отверстие для прохода свинцового теплоносителя. Наружный диаметр рабочего колеса – 204,0 мм с четырьмя лопатками. Материал – сталь ст. 3 – был выбран для провоцирующих испытаний как материал с неоптимальными характеристиками для работы в условиях высокотемпературного свинцового теплоносителя. Выпрямляющий аппарат с внешним диаметром 204,0 мм выполнялся из стали 12Х18Н10Т с шестью лопатками.

Гидростатический подшипник с взаимобратным щелевым дросселированием был разработан на основании экспериментальных исследований, выполненных авторами ранее [3, 4]. Рабочее колесо и выпрямляющий аппарат моделировали проточную часть проекта ГЦН РУ БРЕСТ-ОД-300 в масштабе 1:3. В корпусе устанавливался датчик термодинамической активности кислорода в свинце конструкции ГНЦ РФ ФЭИ.

К установке (рис. 1) подключалась газовая система с подсистемой регулирования содержания кислорода в свинце, система измерения давления в камере гидростатического подшипника, дренажный бак свинцового теплоносителя.

В состав стенда входили: контур свинцового теплоносителя; система газа; система электроэнергоснабжения; система управления и регулирования параметров стенда; система сбора, обработки и представления информации. Все элементы контура свинцового теплоносителя имели электрообогрев и теплоизоляцию.

### Методика экспериментов

Циркуляция теплоносителя в контуре свинцового теплоносителя осуществлялась следующим образом. После рабочего и выпрямляющего аппарата основной поток теплоносителя через дросселирующие отверстия поступал в напорную камеру. Через боковые окна напорной камеры поток теплоносителя направлялся в опускной участок и далее на вход в рабочее колесо насоса. Около 0,1 – 0,5 % расхода (расчетная оценка) расхода свинцового теплоносителя после выпрямляющего аппарата поступала в гидростатический подшипник, после чего направлялась в центральную полость имитатора вала ГЦН и далее через отверстие в валу рабочего колеса – на вход в рабочее колесо, где основной поток и поток через гидростатический подшипник смешивались.



## Условия испытаний

Теплоноситель:  $450 \div 550$  °С; скорость вращения вала насоса –  $300 \div 1200$  об/мин; расход свинцового теплоносителя максимальный – до  $100 \text{ м}^3/\text{ч}$  (до  $100 \text{ т/ч}$ ) (расчетная оценка); напор насоса – до ок.  $1,0$  м.ст.свинца; термодинамическая активность кислорода в свинце от  $10^{-5}$  до насыщения и с наличием твердой фазы оксидов теплоносителя в потоке. Из-за отсутствия средств отвода тепла, адиабатически вводимого насосом в контур, испытания проводились в циклическом режиме (рис. 3 и рис. 4). Цикл адиабатического разогрева от  $450$  до  $550$  °С при  $n = 1200$  об/мин составлял  $0,75$  ч, цикл естественного охлаждения теплоносителя от  $550$  до  $450$  °С составлял  $1,67$  ч. Число циклов с активностью кислорода в свинце  $10^{-1} - 10^0$  плюс твердая фаза оксидов теплоносителя составляло  $30$ , с активностью кислорода в свинце  $10^{-5} \div 10^{-4}$  составляло  $30$ , общее количество циклов  $60$  и продолжительность испытаний  $80$  ч.

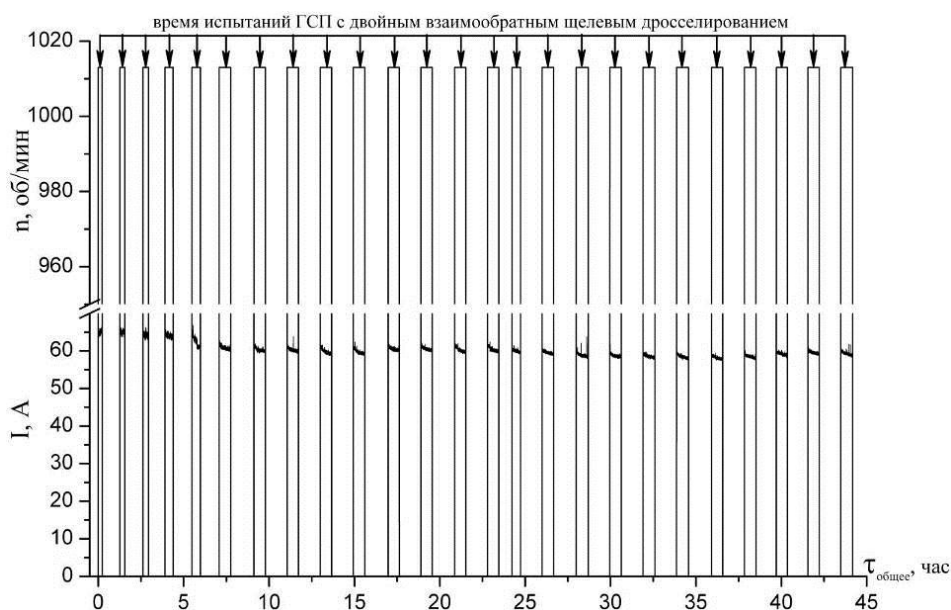


Рис. 3. Графическая зависимость  $n = f(\tau_{\text{общее}})$  и  $I = f(\tau_{\text{общее}})$ : общее время работы стенда  $44$  ч, время циклических испытаний ГСП –  $15$  ч.

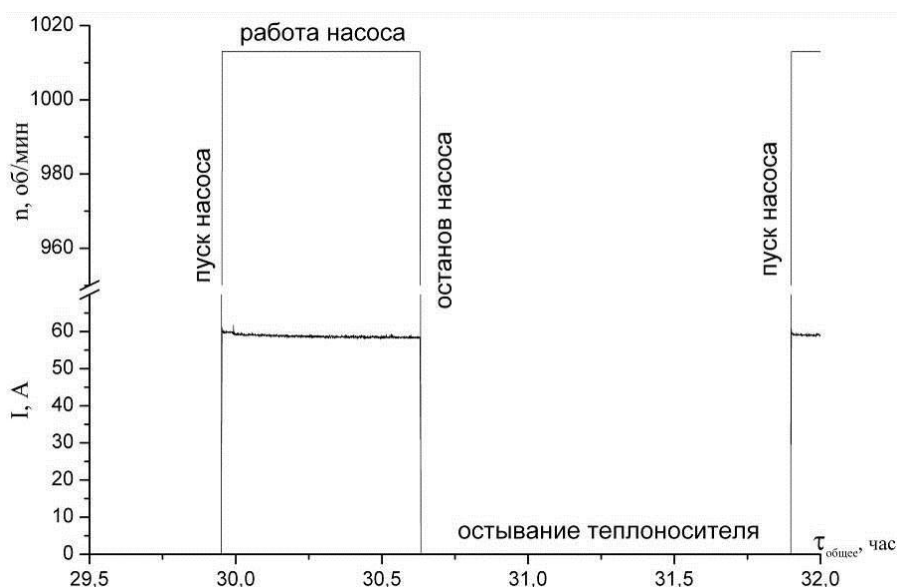


Рис. 4. Графическая зависимость  $n = f(\tau_{\text{общее}})$  и  $I = f(\tau_{\text{общее}})$  одного цикла работы (пуск – останов)

### Обсуждение результатов

В процессе проведения испытаний фиксировались значительные динамические нагрузки и вибрация установки вследствие специфичной гидродинамики контура циркуляции.

При ревизии установки был обнаружен заброс свинца в зазор между валом и штуцером крышки. На рабочем колесе (рис. 5) и выпрямляющем аппарате (рис. 6) следы эрозионных повреждений отсутствовали. Поверхность лопаток была темного цвета, характерного для сформированных оксидных покрытий, со следами свинцового теплоносителя, легко удаляемыми механическим путем.

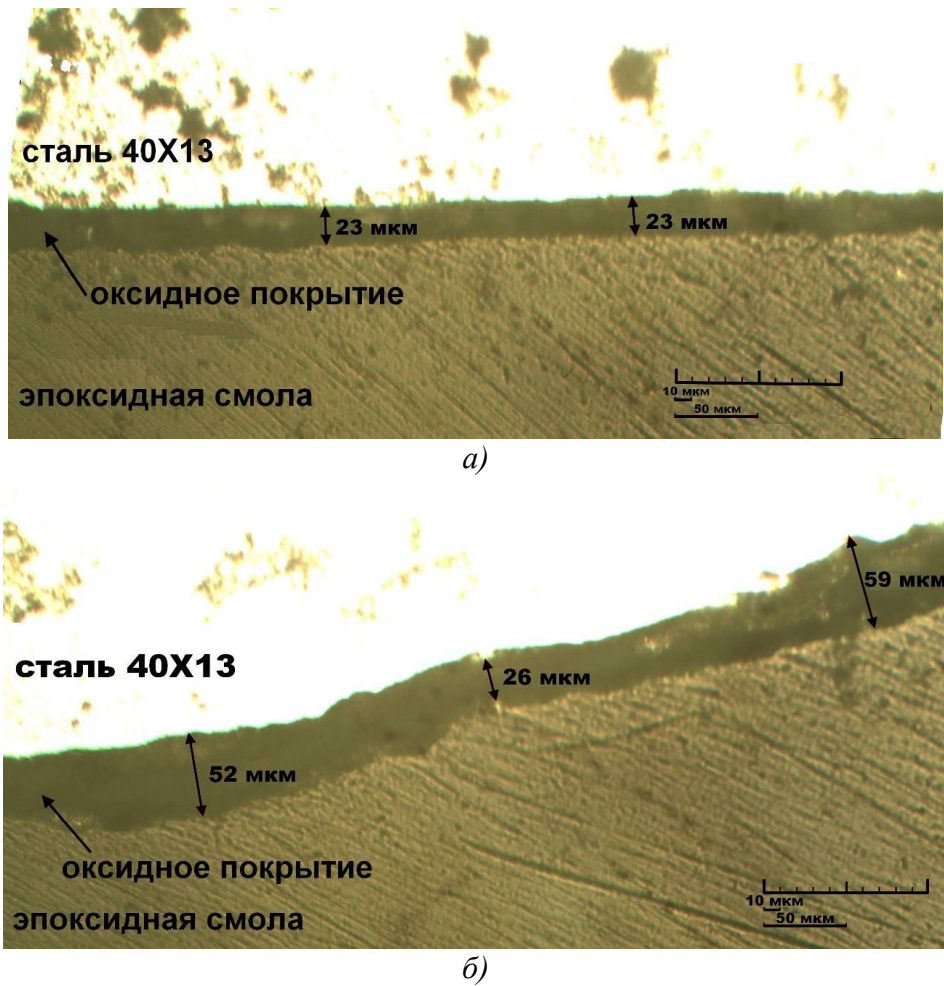


Рис. 5. Осевое колесо



Рис. 6. Выпрямляющий аппарат (без чехловой трубы) после этапа испытаний при активности кислорода в свинце  $10^{-5} \div 10^{-4}$

На контактных поверхностях гидростатического подшипника следы эрозионного или какого-либо другого износа отсутствовали. Поверхности контактной пары были темного цвета, характерного для сформированных оксидных защитных покрытий. Был произведен поперечный разрез и материаловедческий анализ шлифов (рис. 7). На последних видны оксидные покрытия толщиной  $20 \div 50$  мкм на контактных поверхностях из стали 40X13.



**Рис. 7. Фотографии шлифов корпуса подшипника после этапа испытаний при активности кислорода в свинце  $10^{-5} \div 10^{-4}$ :**

*а* – фотография шлифа межкамерной перемычки; *б* – фотография шлифа рабочей камеры

Основные результаты испытаний характеристик гидростатического подшипника показали следующее.

В условиях рассматриваемого экспериментального исследования подшипника скольжения при одинаковых скоростях вращения осевого колеса гидравлическое сопротивление свинцового потока в кольцевом зазоре между имитатором вала ГЦН и корпусом подшипника измеренное на разных этапах эксперимента значительно различается при различной термодинамической активности кислорода в свинце ( $a = 10^0$  и  $a = 10^{-3}$ ) (рис. 8). Различие в числах Рейнольдса достигает полупорядка. При испытаниях на свинце при различной термодинамической активности кислорода результаты испытаний располагаются практически на одной кривой.

Результаты исследований триботехнических характеристик контактных поверхностей исследуемого варианта конструкции гидростатического подшипника в циклических режимах пуска и останова в среде высокотемпературного ТЖМТ показали отсутствие следов износа поверхностей. Возможной причиной отсутствия износа элементов подшипника является антифрикционные свойства защитных оксидных покрытий и пристенного слоя.

При испытаниях конструкции ГСП в среде ТЖМТ с содержанием термодинамически активного кислорода в свинце  $a = 10^0$  и  $a = 10^{-3}$  фиксируется различие величины грузоподъемности подшипника  $G$  на одну камеру (рис. 9).

Одним из недостатков подшипника с взаимобратным щелевым дросселированием является возможность забивания твердой фазой оксидов теплоносителя винтовой канавки,

соединяющей регулировочную и рабочую камеры, при аварийных режимах эксплуатации (например, микротечь парогенератора).

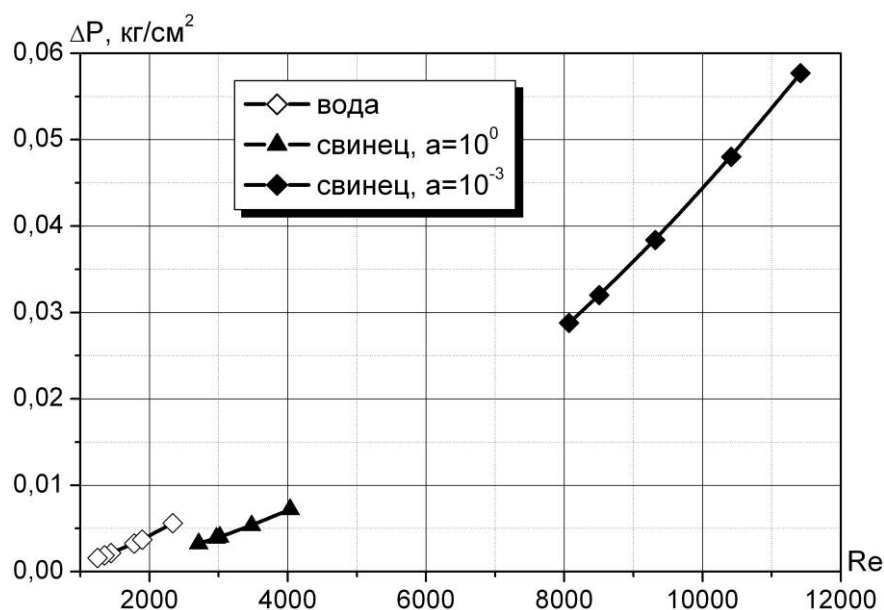


Рис. 8. Графическая зависимость  $\Delta P = f(Re)$

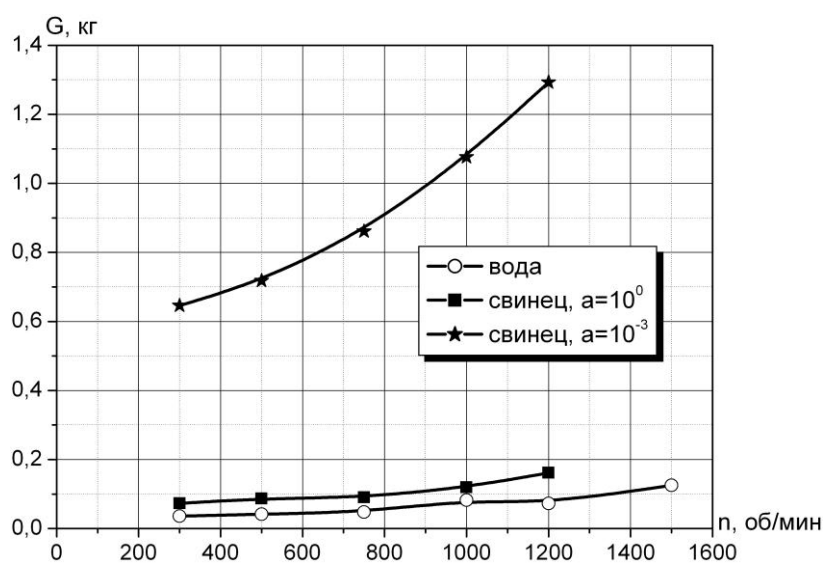


Рис. 9. Графическая зависимость грузоподъемности ГСП на одну камеру от скорости вращения его вала (диаметр вала 68 мм)

### Выводы

Подтверждена работоспособность модели осевого ГЦН РУ БРЕСТ-ОД-300, отсутствие кавитационного эрозионного износа лопаток в циклическом режиме (число циклов – 60) в течение 45 ч в свинцовом теплоносителе при температуре  $450 \div 550$  °С при окружной скорости 12,8 м/с, давлении на всасе колеса  $0,5 \div 0,8$  кгс/см<sup>2</sup> (ата) и активности кислорода в свинце  $10^{-5} \div 10^{-3}$ .

Подтверждена работоспособность гидростатического подшипника с взаимобратным щелевым дросселированием в свинцовом теплоносителе при температуре  $450 \div 550$  °С, скорости вращения вала  $300 \div 1200$  об/мин при многочисленных (60 циклов) пусках и остановках

модели ГЦН, в условиях значительных вибрациях и динамических нагрузок вала с гидростатическим подшипником и рабочим осевым колесом.

*Работа проводилась в рамках ФЦП «Ядерные энерготехнологии нового поколения на период 2010-2015 годов и на перспективу до 2020 года», а также при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашение 14.В37.21.0472*

#### Библиографический список

1. **Синев, Н.М.** Бессальниковые водяные насосы / Н.М. Синев, П.М. Удовиченко. – М.: Атомиздат, 1972. – 494 с.
2. **Безносков, А.В.** Тяжелые жидкометаллические теплоносители в атомной энергетике / А.В. Безносков, Ю.Г. Драгунов, В.И. Рачков. – М.: ИздАт. 2006. – 370 с.
3. **Безносков, А.В.** Экспериментальное исследование гидродинамики дросселей в потоке свинцового теплоносителя и воды / А.В. Безносков [и др.] // Известия вузов Ядерная энергетика. 2011. №2. С. 3.
4. **Безносков, А.В.** Экспериментальное исследование гидродинамики течения свинцового теплоносителя и воды через экспериментальный участок «дроссель-кольцевой зазор» / А.В. Безносков [и др.] // Известия вузов. Ядерная энергетика. 2012. №2.

*Дата поступления  
в редакцию 18.10.2013*

**A.V. Beznosov<sup>1</sup>, MA.. Antonenkov<sup>1</sup>, T.A. Bokova<sup>1</sup>, V.V. Lemehov<sup>2</sup>, A.V. Lvov<sup>1</sup>**

#### **PERFORMANCE CHARACTERISTICS OF FLOW MODEL AXIAL FLOW PUMP IN THE HIGH-LEAD COOLANT**

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev<sup>1</sup>,  
Research and development institute of power engineering, Moscow<sup>2</sup>

**Purpose:** The results of experimental and computational and theoretical work aimed at creating designs based hydraulic and hydrostatic slide bearings for the main circulation pumps innovative fast reactor cooled by lead-cooled .

**Design/methodology/approach:** The experiments were carried out under the following conditions: high- lead coolant (coolant circuit of the reactor) , the temperature of 450÷550°C , the average flow rate through the impeller and straightening machine - 100 m<sup>3</sup>/h (100 m/h) through the bearing to 0,1÷0,5% of the pump , the source of fluid pressure at the inlet to the bearing - axial pressure pump thermodynamically active oxygen content in lead coolant during testing: in the range of 10<sup>-5</sup> to saturation and solid oxides having coolant flow.

**Findings:** In the conditions of this experimental study of a plain bearing with the same axial wheel speeds lead hydraulic flow resistance in the annular gap between the MCP and the simulator shaft bearing body measured at different stages of the experiment varies significantly under different thermodynamic oxygen activity in the lead. The results of the tribological characteristics of the contact surface of the embodiment of the hydrostatic bearing in cycle start and stop in an environment of high temperature liquid heavy metal showed no signs of wear surfaces. When testing the design of SHG in a medium with liquid heavy metal content of thermodynamically active oxygen in the lead, a=10<sup>0</sup> and a = 10<sup>-3</sup> fixed difference of the load bearing G per cell. One of the drawbacks with reciprocal bearing slotted throttling is the possibility of clogging of the solid phase oxide carrier helix connecting and adjusting the working chamber, the emergency mode of operation (microleakage steam generator).

**Research limitations/implications:** Confirmed model efficiency axial MCP BREST -OD -300, the absence of cavitation erosion wear of the blades in cycle (number of cycles - 60) for 45 hours in the lead coolant at 450 ÷ 550°C at a peripheral speed of 12,8 m/s, the pressure suction wheels 0,5 ÷ 0,8 kgf/cm<sup>2</sup> (ata) and the oxygen activity in lead 10<sup>-5</sup> ÷ 10<sup>-3</sup>.

Confirmed operation of the hydrostatic bearing with reciprocal slotted throttling in the lead coolant at 450÷550°C, the speed of rotation of the shaft 300 ÷ 1200 rev/min with numerous (60 cycles) start and stop the model MCPs under heavy vibrations and dynamic loads of the shaft with a hydrostatic bearing and axial displacement wheel.

**Originality/value.** The experimental results can be used to design the main circulation pumps for reactor plants for fast breeder cooled by heavy liquid metal coolants.

*Key words:* MCP, lead cooled, Experimental Study, hydrostatic bearings, axial flow pump.

## ПРОБЛЕМЫ КОРАБЛЕСТРОЕНИЯ И ОКЕАНОТЕХНИКИ

---

---

УДК 629.01

М.Г. Шайдуллин<sup>1</sup>, В.С. Булаткин<sup>2</sup>

### РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ВНЕШНЕГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СУДНА В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева<sup>1</sup>  
ОАО «ЦКБ «Лазурит»<sup>2</sup>

Разработана методика обоснования дедвейта и скорости судна при различных условиях эксплуатации. Задача решалась с использованием классических критериев принятия решений. Методика предлагается для судов ограниченного района плавания и позволяет определять дедвейт и скорость судна в условиях неопределенности по грузам, маршрутам с учетом ветро-волновых потерь скорости. Разработана математическая модель, ядром которой является оптимизационная задача внешнего проектирования судна, решаемая как задача математического программирования. Расчеты по предлагаемой методике показали, что с увеличением скорости погрузки-выгрузки грузов растет также дедвейт и скорость судна.

*Ключевые слова:* оптимизация, дедвейт судна, матрица решений, грузопоток, скорость судна, метод наименьших квадратов, сухогрузные суда, математическая модель, прибыль, эффективность.

Эффективность судна является результатом обоснованного выбора его характеристик, исходя из задач, стоящих перед судном и условий работы. Существует две формы организации судоходства: трамповое и линейное. Трамповые суда не связаны с определенным районом плавания. Они направляются туда, где имеется в них потребность. Эти суда загружаются, в основном, однородным грузом, и их работа базируется на одиночных рейсах. При линейном судоходстве судовладелец организует регулярное движение судов по расписанию между портами и принимает на каждый рейс грузы от разных владельцев по тарифам линии.

Задача проектирования судна является многоуровневой и включает в себя, по крайней мере, две задачи:

- 1) задача внешнего проектирования (обоснование и выбор дедвейта  $DW$  (грузоподъемности), скорости судов  $V$  и их число  $N_c$ , удельной марочной кубатуры, автономности плавания по запасам и т.д.);
- 2) задача внутреннего проектирования (обоснование и выбор главных размерений и коэффициентов полнот, технико-эксплуатационных характеристик судна в целом и отдельных его подсистем).

Для того чтобы судно эффективно использовалось по своему назначению, необходимо обоснованное решение задачи внешнего проектирования, с учетом условий будущей эксплуатации судна: различный род перевозимого груза, различные маршруты плавания, инфраструктура порта, метеорологические условия (высоты волн и направления ветра), оказывающие влияние на скорость хода судна.

При плановом хозяйстве задача пополнения флота решалась в соответствующих министерствах на основе обоснований, разрабатываемых специализированными организациями, в частности, научно-исследовательскими институтами флота (на уровне государства).

Здесь основным критерием был минимум приведенных затрат при выполнении плана по перевозке грузов. Есть ряд работ, написанных в 60–80-е годы и посвященных разработке методов решения таких задач, – это работы В.М. Пашина, С.П. Арсеньева, В.И. Журилова, В.И. Краева, Л.Н. Мучника, В.В. Ашика, Е.П. Роннова и др. [1, 2, 3, 4, 5, 6].

В настоящее время основным показателем успешности работы судна является прибыль. В качестве критерия при решении оптимизационной задачи внешнего проектирования судна в работе принят максимум экономической эффективности. Экономическая эффективность в работе определяется как отношение прибыли от годовой эксплуатации судов к приведенным затратам на флот

$$\mathcal{E} = \frac{\Pi}{P_{np}} \rightarrow \max ; \quad (1)$$

$$\Pi = g(C; c; m_{гр}; N_{рейс}; V; L_{пл}); \quad (2)$$

$$P_{np} = f(C; Ц; T_o), \quad (3)$$

где  $\Pi$  – прибыль от годовой эксплуатации судов;  $P_{np}$  – приведенные затраты на флот;  $C$  – эксплуатационные затраты на содержание судна в эксплуатации;  $Ц$  – цена судна;  $T_o$  – срок окупаемости судна;  $c$  – стоимость перевозки 1 т груза на 1 милю;  $N_{рейс}$  – количество рейсов, которое совершает судно за 1 год;  $m_{гр}$  – грузоподъемность судна, т;  $V$  – скорость судна, узл;  $L_{пл}$  – длина маршрута, миль.

Судно проектируется, как правило, для перевозки разного рода груза и работает на разных линиях. Поэтому задача внешнего проектирования судна решается в условиях неопределенности как по маршрутам, условиям плавания, так и по грузам.

Целью работы является разработка метода, позволяющего определить оптимальные значения дедвейта, скорости хода сухогрузного судна ограниченного района плавания и их количества в условиях неопределенности. Используя эти суда, заданный объем груза ( $P_{гр}$ ) будет перевезен в рассматриваемый период наиболее эффективным, с экономической точки зрения, образом. Эти основные характеристики позволяют, наряду с оценкой полезной работы, выполняемой судном, рассчитать расходы по его содержанию, величину затрат на строительство, прибыль от эксплуатации и т.д.

Под неопределенностью здесь следует понимать заранее неизвестные условия будущей эксплуатации судна: различный род перевозимого груза, метеорологические условия, оказывающие влияние на скорость хода судна, а также различные маршруты эксплуатации.

При решении поставленной задачи выбора оптимального варианта судна с учетом перечисленных условий возможной его эксплуатации будем пользоваться принципами и математическим аппаратом теории принятия решений.

Задача внешнего проектирования судна решается в данной работе на примере линий Санкт-Петербург – порты Западной Европы. Считаем, что во время эксплуатации суда перевозят весь заданный объем груза ( $P_{гр} = 500\,000$  т) в течение года с равной вероятностью по одной из трех возможных линий перевозок, отличающихся расстоянием между конечными портами и метеорологическими условиями. Причём считаем, что груз из Санкт-Петербурга в один из портов Европы и обратно ввозится и вывозится в равном соотношении, т.е. по 250 000 т.

Линии перевозок:

- Санкт-Петербург – Амстердам (1055 миль);
- Санкт-Петербург – Лондон (1200 миль);
- Санкт-Петербург – Гавр (1290 миль).

Под метеорологическими условиями в данном случае подразумеваются высоты волн и направление ветра, оказывающие влияние на эксплуатационную скорость движения судна.

Проведенный анализ отчетных данных по грузу порта Санкт-Петербург показал, что весь груз условно можно разбить на шесть групп, в зависимости от скорости его погрузки и

выгрузки. Результаты анализа приведены в табл. 1, где по каждой группе указана средняя скорость погрузки и выгрузки и доля груза данной группы в общей массе.

Таблица 1

**Процентное соотношение перевозки различного рода груза по данным порта Санкт-Петербург**

Род груза	$V_{\text{ср погр/выгр}}$ , Т/ч	Процентное соотношение
Лесные грузы, генеральные грузы, продовольственные грузы	45	0,162
Контейнеры, руда	90	0,397
Металлы	110	0,177
Зерно	140	0,025
Сталь в рулонах, заготовки, чугун, чушки	170	0,176
Уголь	280	0,063

Если воспользоваться математической моделью оптимизации, можно найти оптимальные варианты судов для конкретных условий эксплуатации (типовой ситуации). Полученная информация не позволяет, однако, однозначно рекомендовать вариант судна для последующего проектирования из-за неопределенности исходных данных (возможности использования судна при других условиях, отличающихся от тех, для которых этот вариант судна будет оптимальным). По этой причине следует просчитать эффективность каждого варианта судна в других возможных ситуациях. Из совокупности полученных данных необходимо составить матрицу решений, а далее, используя классический критерий принятия решений [7–9], определить оптимальный вариант судна.

Таким образом, задача будет решаться в три этапа.

На первом этапе, используя пакет MS Office Exce», составляем математическую модель оптимизации, пользуясь которой будем находить оптимальные варианты проектируемого судна для каждого из вариантов внешних условий, отличающиеся дедвейтом, скоростью хода и количеством судов, обеспечивающие максимальные значения критерия эффективности  $\Pi/P_{\text{пр орт}}$ . С помощью этой математической модели будем также рассчитывать значения критерия эффективности каждого из этих оптимальных вариантов судов при других внешних условиях эксплуатации судна.

Задача ставится и решается как задача математического программирования.

Найти такие значения дедвейта ( $DW$ ), скорости ( $V$ ), числа судов ( $N_c$ ), которые максимизируют критерий оптимальности:

$$\Xi = \frac{\Pi}{P_{\text{пр}}} \rightarrow \max \quad (4)$$

при принятых ограничениях:

$$DW \geq 2500 \text{ т}, DW \leq 30000 \text{ т}; V \geq 9 \text{ узл}, V \leq 16 \text{ узл}; N_c - \text{целое число.}$$

Поскольку при решении поставленной задачи выбора оптимального варианта судна нужно учитывать не только такие факторы, как различные расстояние между портами и соответствующие им метеорологические условия, но и возможность перевозки судном различных родов груза, то для упрощения расчётов составление матрицы решений будем производить в два этапа (второй и третий этапы решения задачи).

На втором этапе необходимо составить промежуточные матрицы решений для различных родов перевозимого груза. Различный перевозимый груз будем учитывать через среднюю скорость погрузки/выгрузки  $V_{\text{ср погр/выгр}}$ .

Поскольку, согласно табл. 1, для представленной совокупности родов грузов можно выделить шесть различных значений  $V_{\text{ср погр/выгр}}$  (45, 90, 110, 140, 170, 280 т/ч), будем составлять шесть матриц решений.



Таким образом, для каждого фиксированного значения  $V_{\text{ср погр/выгр}}$  составляем матрицу решений для выбора оптимального варианта судна независимо от возможных условий его будущей эксплуатации (под условиями эксплуатации подразумеваются различные маршруты плавания и метеорологические условия (курсовые углы по отношению к волнению)). По диагонали в матрице располагаем оптимальные варианты судов с соответствующими им значениями эффективности  $\Pi/P_{\text{пр опт}}$  для каждого из возможных условия эксплуатации. А остальные элементы матрицы заполняем значениями критерия эффективности  $\Pi/P_{\text{пр}}$ , которые соответствуют оптимальным вариантам судов в иных условиях (в отличных от тех, при которых данное судно оптимально). Далее, используя классический критерий принятия решений – критерий Байеса-Лапласа, определяем оптимальный вариант судна и соответствующее ему значение эффективности. Такую процедуру производим для каждого из шести значений  $V_{\text{ср погр/выгр}}$ .

На третьем этапе необходимо из этих вариантов судов выбрать единственный, который будет оптимальным, независимо от того, какой род груза будет перевозить судно, а также независимо от того, на какой линии и при каких метеорологических условиях оно будет эксплуатироваться. Для этого необходимо просчитать эффективность каждого из этих вариантов при других значениях  $V_{\text{ср погр/выгр}}$ . Далее, используя критерий Байеса-Лапласа, определяем оптимальный вариант судна и соответствующее ему значение эффективности. Этот вариант судна и будет рекомендован к дальнейшей проработке на следующий этап проектирования.

Для составления математической модели эксплуатации судна надо найти зависимости полного водоизмещения проектируемого судна  $D_{\text{полн}}$  и мощности его энергетической установки  $N$  от дедвейта и скорости. Для этого используем данные по построенным судам. Определяющими при выборе судов являются район плавания, дедвейт и скорость. Все характеристики судов, необходимые для определения полного водоизмещения и мощности, представлены в табл. 2.

Таблица 2

## Характеристики судов

Суда	$D_{\text{полн}}$ , т	$DW$ , т	Скорость, узл	$N$ , кВт	$L_{\text{наиб}}$ , м	$B_{\text{наиб}}$ , м	$H_{\text{наиб}}$ , м	$LBH$ , м <sup>3</sup>
1	3230	2300	11,75	1000	81,4	11,38	5,4	5002
2	4492	3150	11	1600	96	13,2	6,9	8744
3	7190	5200	13,2	3000	98,7	14,5	9,1	13023
4	10236	7700	15	3840	129,45	15,85	9,75	20005
5	12800	8600	15	6030	127,4	21,5	11,5	31500
6	20445	14000	17,2	9650	157	22,96	13	46861
7	42500	33500	15,1	8800	198,72	24,4	14,6	70792

Зависимость  $D_{\text{полн}}=f(V,DW)$  будем искать в виде функции

$$D_{\text{полн}} = \alpha_1 \cdot DW^{\beta_1} \cdot V^{\gamma_1} . \quad (5)$$

Зависимость  $N=f(V,DW)$  будем искать в виде функции

$$N = \alpha_2 \cdot DW^{\beta_2} \cdot V^{\gamma_2} . \quad (6)$$

Применяя надстройку «Поиск решения» пакета MS Office Excel, методом наименьших квадратов, по данным табл. 2, находим значение коэффициентов  $\alpha_1, \beta_1, \gamma_1, \alpha_2, \beta_2, \gamma_2$ .

С учётом полученных коэффициентов можно записать

$$D_{\text{полн}} = 0,8617 \cdot DW^{0,9149} \cdot V^{0,4693} ; \quad (7)$$

$$N = 0,0246 \cdot DW^{0,3903} \cdot V^{3,2154} . \quad (8)$$

Математическая модель задачи внешнего проектирования включает в себя все пара-

метры работы судна на заданном маршруте, расходы, связанные с эксплуатацией судна, и серии судов в целом, а также предполагаемую прибыль от работы судов.

Определим значения грузоподъемности судна для каждого значения DW и скорости по формуле

$$m_{гр} = DW - m_t - m_m - m_{14}, \quad (9)$$

где  $m_t$ ,  $m_m$ ,  $m_{14}$  – массы топлива, масла и масса 14 раздела нагрузки (масса экипажа, провизии, пресной воды и пищевых и твердых отходов).

Число рейсов за год:

$$N_{рейс} = PP_n / t_{об}, \quad (10)$$

где  $PP_n$  – продолжительность навигации;  $t_{об}$  – время оборота, ч.

Необходимое число судов:

$$N_c = P_{гр} / (2N_{рейс} m_{гр} K_{гп}), \quad (11)$$

где  $P_{гр}$  – количество перевозимого груза за год, т/год;  $K_{гп}$  – коэффициент использования грузоподъемности.

Полученное значение  $N_c$  округляем до целого числа и дальнейшие расчёты производим с округлённым  $N_c$ .

Формула для расчёта эксплуатационных затрат на флот имеет вид

$$P_{ф} = CN_c, \quad (12)$$

где  $P_{ф}$  – суммарные эксплуатационные затраты на весь флот, руб;  $C$  – затраты на содержание судна в эксплуатации, руб/год.

Сумма эксплуатационных затрат состоит из затрат на топливо и масло в различных режимах движения судна, затрат на амортизацию, ремонт и страхование судна, затраты на экипаж и портовые сборы:

$$C = (C1 + C2 + C3 + C4) K_{пр} K_{кр}, \quad (13)$$

где  $C1$  – расходы на топливо и смазку, руб/год;  $C2$  – амортизационные отчисления и затраты на текущий ремонт и малоценные предметы, руб/год;  $C3$  – расходы на портовые сборы на одно судно, руб/год;  $C4$  – расходы на экипаж, руб/год;  $K_{пр}$  – коэффициент, учитывающий прямые расходы;  $K_{кр}$  – коэффициент, учитывающий косвенные расходы.

Формула для расчета приведенных затрат за год имеет вид

$$P_{пр} = P_{ф} + N_c Ц(1/T_o), \quad (14)$$

где  $P_{пр}$  – суммарные приведенные затраты на весь флот, руб;  $T_o$  – срок окупаемости судна (принимаем 6 лет);  $P_{ф}$  – суммарные эксплуатационные затраты на весь флот, руб.

Целевая отдача судов за год, т-мили:

$$B_r = 2L_{пл} N_{рейс} K_{гп} m_{гр} N_c, \quad (15)$$

где  $L_{пл}$  – расстояние между портами, мили;  $N_{рейс}$  – количество рейсов;  $K_{гп}$  – коэффициент использования грузоподъемности.

Доходы за 1 год, руб/год:

$$Д = B_r c. \quad (16)$$

Прибыль за год, руб/год:

$$П = Д - P_{ф}. \quad (17)$$

Экономическая эффективность:

$$Э = П / P_{пр}. \quad (18)$$

На основе разработанной методики произведено решение поставленной задачи. Рассмотрим кратко результаты решения.

После второго этапа в итоге получаем шесть различных вариантов оптимальных су-

дов (оптимальных для каждого рода груза), отличающихся дедвейтом, скоростью хода и количеством. Полученные результаты сведены в табл. 3.

**Таблица 3**

**Оптимальные варианты судов для различных значений  $V_{\text{ср.погр/выгр}}$ , т/ч**

$V_{\text{ср. погр/выгр}}$ , т/ч	Оптимальный вариант судна $E_i$	Эффективность $e_{ij}=(\Pi/P_{\text{пр}})_{ij}$
45	$DW_{\text{opt}}=3000$ т; $V_{\text{opt}}=9,00$ узл $N_c=7$	1,221
90	$DW_{\text{opt}}=3340$ т; $V_{\text{opt}}=9,25$ узл $N_c=5$	1,584
110	$DW_{\text{opt}}=3785$ т; $V_{\text{opt}}=9,55$ узл $N_c=4$	1,683
140	$DW_{\text{opt}}=4605$ т; $V_{\text{opt}}=9,70$ узл $N_c=3$	1,793
170	$DW_{\text{opt}}=5000$ т; $V_{\text{opt}}=9,90$ узл $N_c=3$	1,882
280	$DW_{\text{opt}}=7045$ т; $V_{\text{opt}}=10,45$ узл $N_c=2$	2,139

По данным табл. 3 на рис. 1 показано, как изменяются оптимальные варианты судов и соответствующие им эффективности  $\Pi/P_{\text{пр}}$  в зависимости от различных значений средней скорости погрузки/выгрузки перевозимого судном груза  $V_{\text{ср.погр/выгр}}$  (то есть от рода перевозимого груза).

Как видно из табл. 3 и на рис. 1, каждому из значений средней скорости погрузки/выгрузки груза  $V_{\text{ср.погр/выгр}}$  соответствуют различные варианты оптимальных судов ( $DW$ ,  $V$ ,  $N_c$ ), то есть значительное влияние на выбор оптимального варианта судна оказывает учёт в процессе решения задачи конкретного рода перевозимого груза. А поскольку в данной работе необходимо выбрать оптимальные дедвейт ( $DW$ ), скорость ( $V$ ) и количество судов ( $N_c$ ) с учётом неопределённости, под которой помимо разных  $L_{\text{пл}}$  и соответствующих им метеорологических условий понимается и неизвестный заранее род перевозимого груза (судно в процессе эксплуатации может перевозить разные грузы), то переходим к третьему этапу решения поставленной задачи.

На третьем этапе решения поставленной задачи из вариантов судов  $E_i$ , полученных на втором этапе для различных значений  $V_{\text{ср.погр/выгр}}$  (табл. 3), выбрать единственный, который будет оптимальным независимо от того, какой род груза будет перевозить судно.

Для этого составляют матрицу решений  $\|e_{ij}\|$  (табл. 4), в диагональ которой поместили полученные на втором этапе для разных родов груза (различных значений  $V_{\text{ср.погр/выгр}}$ ) оптимальные варианты судов (значения дедвейта  $DW$ , скорости  $V$ , количества судов  $N_c$  и значение критерия эффективности  $e_{ij}=(\Pi/P_{\text{пр}})_{ij}$ ) (табл. 4). Далее просчитываем эффективность  $e_{ij}$  каждого из этих вариантов судов при других типовых ситуациях  $F_j$  (в отличных от тех, при которых данное судно оптимально) и окончательно заполняем матрицу решений (табл. 4). Отметим, что под типовыми ситуациями  $F_j$  в данном случае подразумеваются различные варианты эксплуатации судов, отличающиеся родом перевозимого груза, то есть значениями  $V_{\text{ср.погр/выгр}}$ .

В итоге, на основании данных табл. 4, делаем вывод, что в случае с заданными, согласно табл. 1, вероятностями перевозки судном того или иного рода груза оптимальным независимо от условий будущей эксплуатации (различных  $L_{\text{пл}}$ , метеорологических условий и рода перевозимого груза), согласно критерию Байеса-Лапласа, будет вариант судна с  $DW = 3800$  т (округлено) и скоростью хода  $V = 9,55$  узл, число судов  $N_c=4$ . При этом ожидаемая эффективность составляет  $\Pi/P_{\text{пр}}=1,612$ .

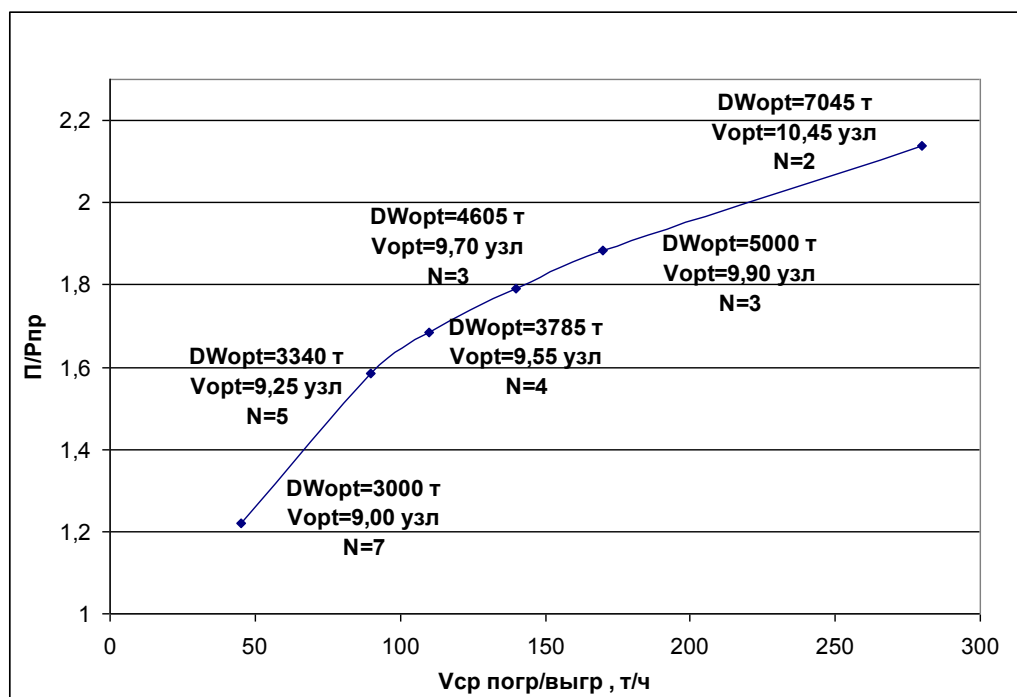


Рис. 1. Зависимость эффективности принятого решения от средней скорости погрузки/выгрузки груза

Таблица 4

Матрица решений  $\|e_{ij}\|$  (третий этап)

Вариант судна $E_i$	Средняя валовая норма погрузки/выгрузки груза $V_{ср.погр/выгр}$ , Т/ч						$e_{ir} = \sum_{j=1}^n e_{ij} P_j$
	45	90	110	140	170	280	
$DW_{opt}=3000$ Т $V_{opt}=9,00$ узл $N_c=7$	$\Pi/P_{прBL} = 1,221$	1,580	1,665	1,748	1,805	1,932	1,603
$DW_{opt}=3340$ Т $V_{opt}=9,25$ узл $N_c=5$	1,196	$\Pi/P_{прBL} = 1,584$	1,678	1,770	1,834	1,978	1,611
$DW_{opt}=3785$ Т $V_{opt}=9,55$ узл $N_c=4$	1,157	1,579	$\Pi/P_{прBL} = 1,683$	1,787	1,860	2,025	1,612
$DW_{opt}=4605$ Т $V_{opt}=9,70$ узл $N_c=3$	1,082	1,549	1,670	$\Pi/P_{прBL} = 1,793$	1,880	2,083	1,593
$DW_{opt}=5000$ Т $V_{opt}=9,90$ узл $N_c=3$	1,044	1,529	1,657	1,788	$\Pi/P_{прBL} = 1,882$	2,102	1,578
$DW_{opt}=7045$ Т $V_{opt}=10,45$ узл $N_c=2$	0,862	1,399	1,554	1,717	1,840	$\Pi/P_{прBL} = 2,139$	1,472
Вероятности $P_i$	0,162	0,397	0,177	0,025	0,176	0,063	

Выводы

В статье предлагается методика решения задачи внешнего проектирования судна в условиях неопределенности, связанных с учетом будущей его эксплуатацией (по роду перевозимого груза, грузопотокам, метеорологическим условиям и т.д.). В методике учет случай-

ных величин производится по математическому ожиданию, поэтому при решении данной задачи следует переходить на использование имитационного моделирования.

### Библиографический список

1. **Пашин, В. М.** Оптимизация судов / В. М. Пашин. – Л.: Судостроение, 1983.
2. **Добыш, С. А.** Оптимизация структуры морского транспортного флота в условиях неполной информации / С. А. Добыш, Л. Н. Мучник, В. М. Пашин // Экономика и математические методы, АН СССР. – М., 1979.
3. **Иванов, Е. А.** Методика расчета основных элементов и технико-экономических показателей универсальных сухогрузных судов / Е. А. Иванов, Е. П. Роннов, П. С. Цыбин. – Горький: ГИИВТ, 1981.
4. **Арсеньев, С. П.** Выбор типа судов транспортного флота. / С. П. Арсеньев // Труды ЦНИИЭВТ, Транспорт, 1968. Вып. 50.
5. **Ашик, В.В.** Проектирование судов / В.В. Ашик. – Л.: Судостроение, 1985.
6. **Краев, В. И.** Экономические обоснования при проектировании морских судов / В. И. Краев - Л.: Судостроение, 1981.
7. **Нарусбаев, А.А.** Введение в теорию обоснования проектных решений / А.А. Нарусбаев. – Л.: Судостроение, 1976.
8. **Мушик, Э.** Методы принятия технических решений: [пер. с нем.] / Э. Мушик, П. Мюллер.– М., 1990.
9. **Гайкович, А.И.** Основы теории проектирования сложных технических систем / А.И. Гайкович. – СПб.: НИЦ «МОРИНТЕХ», 2001. – 432 с.
10. **Шайдуллин, М.Г.** Классические критерии принятия решений в задаче внешнего проектирования судов в условиях неопределённости // Современные технологии в кораблестроительном и энергетическом образовании, науке и производстве: материалы Всероссийской научно-технической конференции. – Н. Новгород, 2006.
11. **Зуев, В.А.** Оптимизационные задачи проектирования судов: учеб. пособие / В.А. Зуев. – Нижний Новгород, 1991.
12. **Мартыненко, В.Т.** География морского судоходства: справочник / Мартыненко В.Т. – Одесса: Феникс, 2006. – 248 с.
13. **Лоция Балтийского моря: справочник.** – СПб: ГУН и О, 2007. – 656 с.
14. **Бухановский, А.В.** Справочные данные по режиму ветра и волнения Балтийского, Северного, Черного, Азовского и Средиземного морей / Бухановский А.В. [и др.]. - Российский Морской регистр судоходства. СПб. 2006. – 450 с.

*Дата поступления  
в редакцию 15.10.2013*

**M.G. Shaydullin<sup>1</sup>, V.S. Bulatkin<sup>2</sup>**

### **VESSEL EXTERNAL DESIGN SOLUTION UNDER CONDITIONS OF UNCERTAINTY**

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev<sup>1</sup>,  
Lazurit CDB Open JSCo, Nizhny Novgorod<sup>2</sup>

**Purpose:** The substantiation method of vessels deadweight and speed under different operating condition is developed.

**Design/methodology/approach:** A theoretical framework is proposed based on classical criteria of decision theory.

**Findings:** The present study allows to determine the vessels deadweight and speed under uncertainty for goods and routs. In addition the wind-wave vessels speed losses are taken into account

**Research limitations/implications:** Method for limited navigation area ships is proposed

**Originality/value:** By the way the mathematical model is also developed. The model core is the vessel external design optimization problem, which is formulated and solved after a mathematical programming problem. The calculations show that with the increase in the rate of goods loading and unloading is also increasing tonnage and speed of the vessel.

*Key words:* optimization, deadweight, decision matrix, freight flow, least-squares method, dry-cargo vessel, mathematical model, benefit, effectiveness.

УДК 629.12.011

В.С. Антонов<sup>1</sup>, Е.М. Грамузов<sup>2</sup>, В.А. Зуев<sup>2</sup>, А.Г. Ларин<sup>2</sup>, Ю.М. Трапезников<sup>1</sup>

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗМОЖНОСТИ ПОГРУЖЕНИЯ ПОДВОДНОГО СУДНА, ВМЕРЗШЕГО В ЛЕД

ЦКБ «Малахит»<sup>1</sup>,Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева<sup>2</sup>

Описана экспериментальная установка для исследования возможности погружения подводного судна, вмёрзшего в лед. Представлены теоретические основы для пересчета результатов модельного эксперимента в естественном льду на натурное судно. Показано влияние отдельных параметров на величину проломного усилия.

*Ключевые слова:* ледяной покров, ледовый опытовый бассейн, модель естественного льда, проломная нагрузка, теория моделирования, Арктика.

В настоящее время активно разрабатываются проекты подводных судов для обустройства и эксплуатации месторождений углеводородов на шельфе арктических морей. Это связано с желанием уйти от взаимодействия инженерных сооружений и судов с дрейфующими льдами. Тем не менее, при всплытии не удастся до конца исключить воздействие льда и отрицательных температур наружного воздуха.

Настоящая статья посвящена изучению условий погружения подводного судна вмёрзшего при отрицательных температурах в ледяной покров, определению минимальной толщины льда, при которой погружение становится невозможным. Заметим, что теоретическое решение этой задачи пока не получено из-за сложности физических процессов полного пролома ледяного покрова.

В качестве схематизированные модели подводных судов были выполнены из стальных труб диаметром  $\varnothing 168$  мм, толщиной  $t = 4$  мм и разных длин  $l_1 = 500$  мм;  $l_2 = 750$  мм;  $l_3 = 1000$  мм;  $l_4 = 1500$  мм с возможностью уточнения масштаба моделей в ходе проектирования натуре. С торцов трубы закрывались водонепроницаемыми заглушками, а внутри заполнялись вспенивающимся пенопластом. Сверху на трубах устанавливались площадки для крепления моделей к динамометру и ручки для переноса модели. Схемы моделей приведены на рис. 1 и рис. 2. Модели закреплялись к штоку пресса и вмораживались в лед при разной осадке, что соответствовало форме борта, близкой к вертикальной, наклонной и соответственно запасу плавучести для этих случаев 20%, 35%, 50%.

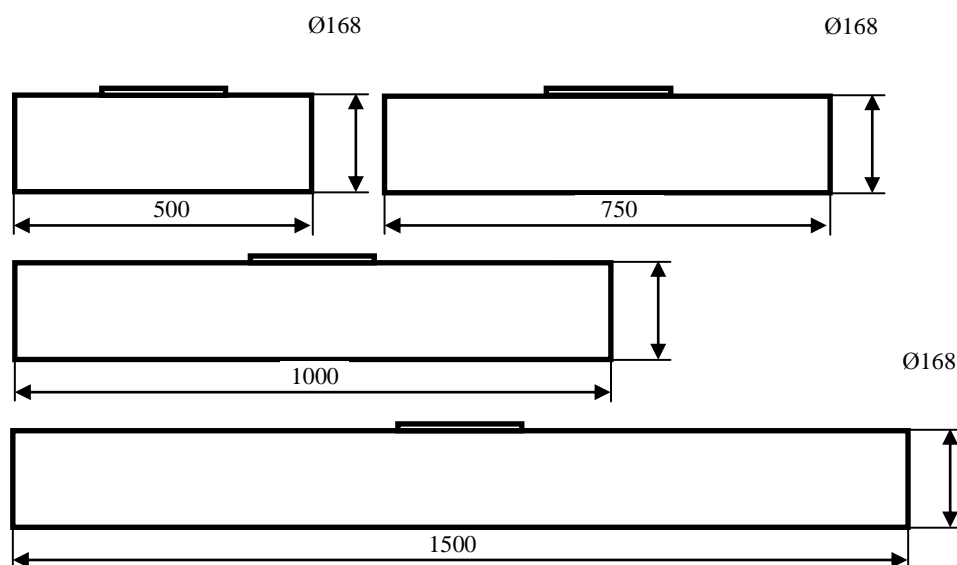


Рис. 1. Схемы моделей энерго модуля

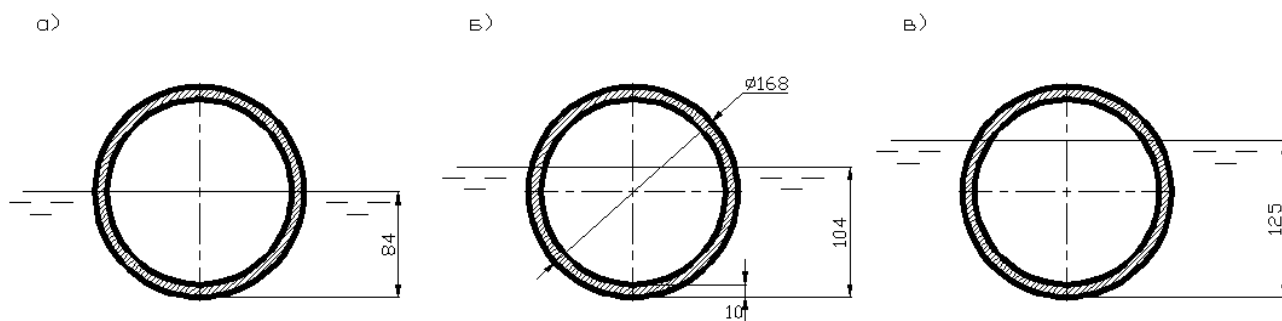


Рис. 2. Схема вмораживания моделей в лед

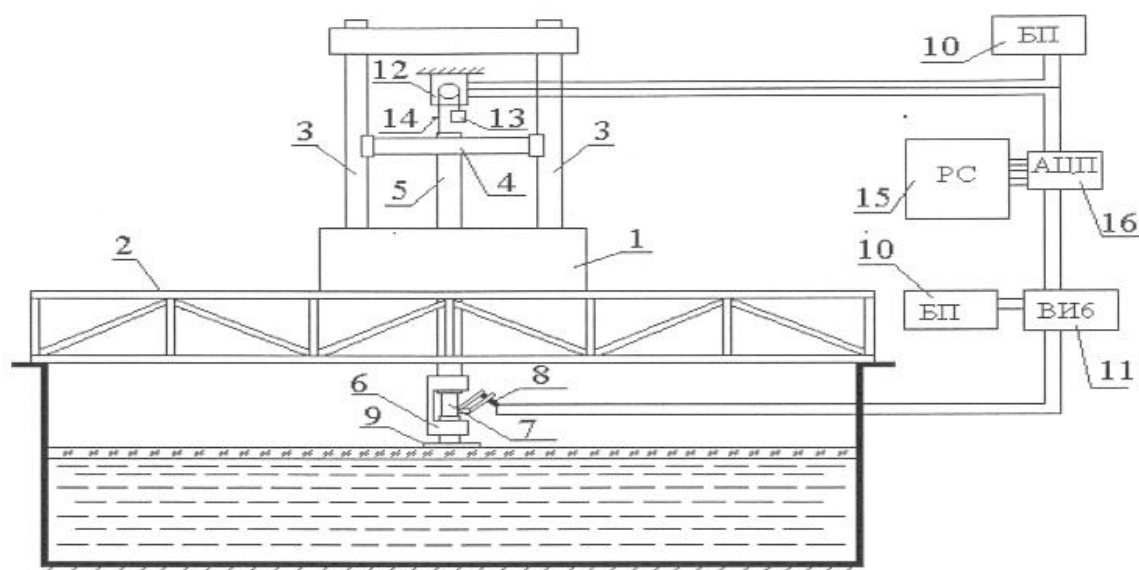


Рис. 3. Экспериментальная установка для проведения испытаний (разрушение сверху):

1 – станина; 2 – опорная ферма; 3 – колонны; 4 – подвижная траверса; 5 – винт; 6 – силоизмеритель; 7 – динамометр типа ДОС-1 системы Н.Г. Токаря; 8 – датчик перемещения ДП-2СМ; 9 – сменный штамп; 10 – блок питания; 11 – виброизмерительная аппаратура; 12 – датчик прогиба потенциометр ПТП—11С; 13 – грузик; 14 – нить; 15 – персональный компьютер; 16 – аналого-цифровой преобразователь

Положительная плавучесть моделей роли не играла, поскольку погружение и всплытие осуществлялись установленным на стенде прессом через динамометр системы Токаря. Шток прессы мог перемещаться с переменной скоростью, но в опытах использовалась минимальная скорость перемещения, равная 10 мм/мин.

Модельные испытания проводились в специальном ледовом опытовом стенде, расположенном на открытом воздухе. Схема ледового стенда представлена на рис 3.

Стенд ледовых испытаний представляет собой стальной бак диаметром 4,5 м и высотой 1,0 м. На баке вдоль оси главного диаметра расположена приваренная мощная балка ферменной конструкции, на которой установлен пресс (универсальная испытательная машина УММ-5 с предельной нагрузкой 50 кН).

Машина имеет пять скоростей нагружения 2; 4; 10; 20; 50 мм/мин. Машина жестко закреплена на ферме. Для привода прессы используется двухскоростной реверсивный асинхронный электродвигатель А032 мощностью 0,75 кВт при 1420 об/мин и 1,00 кВт при 2850 об/мин. Управление прессом осуществляется непосредственно с пульта на машине или выносного пульта.

При испытаниях измерялись:

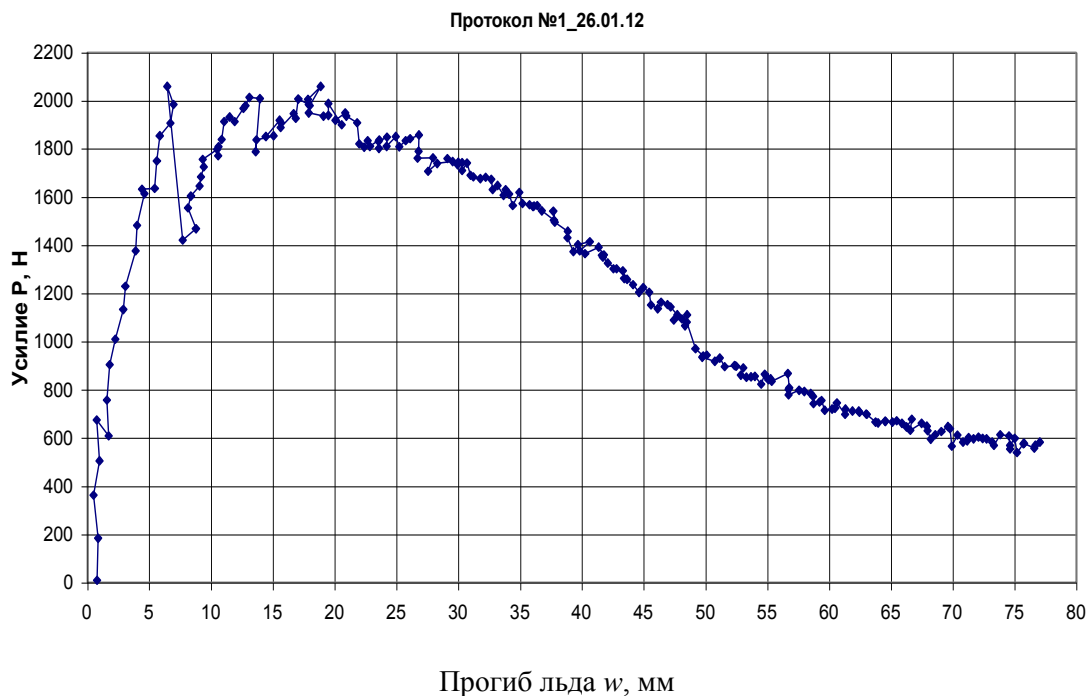
- температура воздуха,

- осадка модели,
- толщина льда после испытания в 5-7 различных точках поля льда,
- вертикальная сила в зависимости от вертикального перемещения модели. Велась непрерывная запись величины силы от вертикального перемещения (диаграмма разрушения ледяного покрова),
- изгибная прочность ледяных балок «клавиш», выпиливаемых в ледяном поле и остающихся на плаву;
- При испытаниях фиксировалось время испытаний, состояние погоды, проводились фото- и видеосъемка.

После пролома ледяного покрова и определения средней толщины обломков проводилась очистка ледового бассейна ото льда: вода доливалась до необходимого уровня и снова происходило намораживание ледяного покрова.

Для регистрации сигналов датчиков перемещения, силы и прогибов разработан программно-аппаратный комплекс. Комплекс включает в себя модуль калибровки датчиков силы и прогиба, модуль автоматической записи показаний датчиков, позволяющий регистрировать показания без участия экспериментатора, и модуль обработки результатов опыта, который производит пересчет безразмерных показаний алфавитно-цифрового преобразователя (АЦП) к размерным величинам, вычисление максимума нагрузки, интегральных характеристик диаграмм разрушения (работы на разрушение льда), вычерчивает диаграмму разрушения и экспортирует результаты обработки в текстовые файлы. Пример диаграммы разрушения показан на рис. 4.

Испытания проводились в пресном льду естественного состава при отрицательных температурах воздуха. Ледовый бассейн заполнялся пресной водой, под пресс устанавливалась модель энергомодуля, закреплялась к штоку прессы и оставалась в воде (для заданной осадки) при намораживании льда требуемой толщины.



**Рис. 4. Пролом льда 26.01.12 г.:**

длина модели  $L=750$  мм; осадка  $T=84$  мм; толщина льда  $h = 28$  мм

После образования ледяного покрова перед началом эксперимента во льду сверлилось отверстие для предварительной оценки толщины намороженного льда. Окончательно



толщина обломков льда определялась холодным штангенциркулем в 5-7 местах разных обломков после каждого проведенного опыта.

После окончания опыта лед из бассейна удалялся, бассейн доливался водой, при необходимости модель вновь устанавливалась на заданную осадку, закреплялась к штоку, и процесс повторялся после замораживания нового льда.

Испытания проводились для толщин модели льда ~10 мм, ~20 мм, ~30 мм, ~40 мм.

Одним из очевидных путей экспериментальной оценки напряженно деформированного состояния (НДС) ледяного покрова является определение карты прогибов  $w(x, y)$ , по которой можно полностью определить вертикальную нагрузку  $P = \rho_B g \iint_S w dx dy$ , а

далее по известным из теории изгиба пластин зависимостям углы поворота, изгибающие и крутящие моменты, перерезывающие силы и соответствующие компоненты напряжений. Причем определению поддается не только ненарушенная (сплошная) ледяная пластина, но и пластина магистральной с трещиной, для чего необходимо определить коэффициент податливости повороту в трещине как отношение угла раскрытия трещины к моменту в вертикальной плоскости нормальной трещине:

$$a = \frac{\left(\frac{\partial w}{\partial n}\right)_- - \left(\frac{\partial w}{\partial n}\right)_+}{M_n} \quad (1)$$

Однако экспериментальное определение функции  $w(x, y)$  встречает значительные технические трудности, связанные с необходимостью измерения прогибов в огромном числе точек на поверхности льда, сложностью устройств баз отсчета и т.д. Непосредственное изменение полей углов поворота, моментов, перерезывающих сил и напряжений, сложнее еще на порядок.

В связи с этим, в число измеряемых были включены наиболее важные величины, характеризующие одновременно и состояние взаимодействующей со льдом конструкции. К ним относятся вертикальное перемещение штампа, деформирующего ледяной покров, и контактное усилие их взаимодействия.

Непрерывная запись во времени этих величин позволяет получить диаграмму деформирования ледяного покрова  $P=f(w)$ , т.е. зависимость между прогибом в месте приложения нагрузки и вертикальным усилием. Причем наиболее полную информацию дает диаграмма, полученная при кинематическом нагружении. В этом случае на всем протяжении деформирования (вплоть до полного пролома) сила, приложенная к ледяному полю, равна реакции пластины на инициированный прогиб. По такой диаграмме можно определить и рассчитать предельные прогиб и нагрузку, энергию разрушения, интегральные упругие характеристики, энергию образования трещин и т.д.

Если производится силовое нагружение (например, наливом воды в баки, стоящие на ледяном покрове, или отсыпкой грунта), как это делалось в большинстве опытов, можно зарегистрировать лишь восходящую ветвь диаграммы, а информация о ее нисходящей ветви теряется. Это показано на рис. 4.

Для решения поставленных вопросов была разработана оригинальная высокопроизводительная методика проведения опытов. Экспериментальная установка описана выше.

Анализ диаграмм показал, что все они достаточно однотипны и имеют общие участки, состоящие из восходящей и нисходящей (закритической) ветвей. В количественном отношении эти диаграммы можно характеризовать максимальным усилием  $P_p$  и прогибом при этом усилии  $w_p$ , а также прогибом, при котором исчерпана несущая способность ледяного покрова  $w_R$ . Кроме того, к числу параметров, характеризующих разрушение, отнесем работу, затраченную на деформацию льда  $A_p$  и полную работу разрушения  $A_R$ .

$$A_p = \int_0^{w_p} Pdw, \quad A_R = \int_0^{w_R} Pdw, \quad (2)$$

Для аппроксимации проломного усилия предложена формула.

$$P = k' \cdot \sigma_{\text{И}} \cdot f(L/b, \alpha \cdot \sqrt{S}) \cdot \beta \cdot h^2, \quad (3)$$

где  $k = k' \cdot \sigma_{\text{И}}$  – коэффициент удельной энергии разрушения льда при погружении вмерзшего энергомодуля, кПа;  $k = k' \cdot \sigma_{\text{И}}$  – коэффициент удельной энергии разрушения льда при всплывании энергомодуля, кПа;  $f(L/b, \alpha \cdot \sqrt{S}) = (1 + 0,02 \cdot \frac{L/b}{\alpha \cdot \sqrt{S}})$  – коэффициент, учитывающий влияние отношения длины нагрузки к ширине нагрузки;  $\beta = (1 + 1,3 \cdot \alpha \cdot \sqrt{S})$  – коэффициент, учитывающий влияние площади нагрузки;  $\sigma_{\text{И}}$  – средняя прочность льда на изгиб в условиях опыта, МПа.

Структурную формулу для прогиба бесконечной пластины  $w_p$ , учитывая близкую к линейной зависимость  $P_p(w)$  для восходящей ветви диаграммы, можно получить, используя решение для упругой области:

$$w_p = \frac{P}{8D\alpha^2} = k_w \frac{P}{D\alpha^2}. \quad (4)$$

Очевидно коэффициент  $k_w > 1/8$  вследствие растрескивания ледяной пластины в процессе нагружения.

По данным опытов, при доверительной вероятности 0,95 получена оценка  $k_w = 0,28 \pm 0,04$ .

Для ориентировочных расчетов, когда известна лишь толщина льда, можно использовать упрощенную зависимость:

$$w_p = k_w \sqrt{h}, \quad (5)$$

где  $k_w = (0,42 \pm 0,05)^2$ .

Классическая теория моделирования, разработанная Ю.А. Шиманским и Л.М. Ногидом, предъявляет к модели ледяного покрова следующие требования:

$$\frac{h_{\text{Н}}}{h_{\text{М}}} = \frac{\sigma_{\text{Н}}}{\sigma_{\text{М}}} = \frac{E_{\text{Н}}}{E_{\text{М}}} = \lambda; \quad \rho_{\text{Н}} = \rho_{\text{М}}; \quad \mu_{\text{Н}} = \mu_{\text{М}}, \quad (6)$$

где  $\lambda$  – модуль геометрического подобия объекта взаимодействующего со льдом;  $h$  – толщина ледяного покрова;  $\sigma$  – предел прочности льда на изгиб;  $E$  – изгибный модуль упругости льда;  $\rho$  – плотность льда;  $\mu$  – коэффициент Пуассона льда.

Индексами «н» и «м» обозначены натура и модель соответственно.

Кроме того, материал модели льда должен иметь сходственную с натурой реологическую модель деформирования.

Нетрудно заметить, что требования к материалу модели ледяного покрова многогранны, а прочность и упругость должны управляться в зависимости от масштаба модели. Модель ледяного покрова, полностью удовлетворяющая условия моделирования, пока не найдена. Актуальным остается вопрос частичного подобия и связанного с ним метода пересчета результатов на натуре.

Рассмотрим методы пересчета ледового сопротивления, полученного в результате испытаний в модели ледяного покрова, частично удовлетворяющего условиям моделирования.

Необходимым условием моделирования разрушения является геометрическое подобие картин разрушения льда в плане, при выполнении которого число и расположение точек контакта льда с корпусом при движении модели будет соответствовать натуре.

Подобие картин разрушения определяется подобием НДС ледяных пластин, для определения которого воспользуемся дифференциальным уравнением изгиба пластин, на упругом основании, приведенном к безразмерному виду:

$$\frac{D}{\rho g L^4} \nabla^4 \bar{w} + \bar{w} = 0, \quad (7)$$

где  $\bar{w} = w/L$  – безразмерный прогиб;  $L$  – характерный линейный размер в плане;  $D$  – цилиндрическая жесткость ледяной пластины.

НДС ледяного покрова для природы и модели будет подобным, если

$$\frac{D}{\rho g L^4} = idem. \quad (8)$$

Так как  $\rho_f = \rho_m$  и  $g = const$ , выражение (12) можно преобразовать к виду

$$\frac{D_H}{D_M} = \frac{L_H^4}{L_M^4} = \lambda^4. \quad (9)$$

Таким образом, при соблюдении условия (9) будет обеспечено подобие картин разрушения льда в плане.

Следует отметить, что для определения масштаба  $\lambda_{R_p}$  нет необходимости знать значения  $A_{z_i}$  для каждого вида конфигурации пластин в точке контакта. Требуется лишь знать отношение (масштаб) энергий ломки ледяного покрова природы и модели  $\lambda_{A_z}$ , который, очевидно, при подобной геометрии ломки зависит только от свойств льда. Поэтому при экспериментальном определении  $\lambda_{A_z}$  можно использовать испытания ледяных пластин различной конфигурации, например бесконечных или полубесконечных.

Нетрудно заметить, что условия (8) и (9) предъявляют к модели ледяного покрова более легкие требования, чем классическая теория моделирования а, следовательно, упрощается выбор материала для модели льда.

Отметим, что формула (8) не противоречит строгой теории моделирования. Так, при  $\lambda_{A_z} = \lambda^3$   $\lambda_{R_p} = \lambda^3$ .

Однако использование формул (8) и (9) позволяет расширить поиски модели льда.

Современные ледовые бассейны представляют собой сложные и дорогостоящие сооружения. Размеры моделей испытываемых в них ограничены. Поэтому представляет интерес поиск методов моделирования ледового сопротивления в открытых бассейнах с естественным охлаждением и природных водоемах.

Сразу следует заметить, что естественный лед обладает повышенной прочностью, чем требует строгая теория моделирования, поэтому широкое распространение получило мнение о невозможности его использования в качестве модели ледяного покрова.

Идея использования натурального льда состоит в попытке компенсации повышенной прочности меньшей толщиной.

Для определения масштаба пересчета толщины льда воспользуемся условием (4), тогда

$$\frac{E_H h_H^3 (1 - \mu_M^2)}{E_M h_M^3 (1 - \mu_H^2)} = \lambda^4. \quad (10)$$

Учитывая, что в естественном льду равенство  $\mu_f = \mu_m$  выполняется автоматически, получим выражение для масштаба пересчета толщины льда:

$$\lambda_h = \frac{h_H}{h_M} = \lambda^{4/3} \lambda_E^{-1/3}; \quad \lambda_E = \frac{E_H}{E_M}. \quad (11)$$

Таким образом, если толщина модели льда

$$h_m = h_h \lambda^{-4/3} \lambda_E^{1/3}, \quad (12)$$

то картина разрушения льда в плане будет подобна, а следовательно, одинаковыми будут число и расположение точек контакта объекта со льдом.

Зависимость энергии ломки пресноводного ледяного покрова от толщины и механических характеристик приведена ранее. Выражение для масштаба энергии ломки ледяного покрова имеет вид

$$\lambda_{A_z} = \frac{h_h^4 D_m \alpha_m^2}{h_m^4 D_h \alpha_h^2} = \lambda_h^4 \lambda^{-2}. \quad (13)$$

Проведенные в бассейне измерения модуля деформации  $E$  тонкого пресноводного льда и сопоставления с натурными данными, указывают на его зависимость от толщины льда. Эту зависимость в широком диапазоне можно аппроксимировать формулой

$$E = a \sqrt[3]{h}, \quad (14)$$

где  $a$  – коэффициент пропорциональности.

Поэтому будем полагать, что масштаб  $\lambda_E$  при испытании в естественном льду равен

$$\lambda_E = \lambda_h^{-1/3}. \quad (15)$$

Модуль пересчета сил сопротивления разрушению льда получим, подставляя в формулу (10) выражения для  $\lambda_{A_z}$ ,  $\lambda_h$  и  $\lambda_E$  по формулам (12), (9) и (15),

$$\lambda_{R_p} = \lambda^3. \quad (16)$$

Следовательно, составляющая сопротивления  $R_p$ , связанная с разрушением льда, пересчитывается на натуру по кубу линейного масштаба модели  $\lambda^3$  и естественным образом совпадает с модулем пересчета сил моделирующихся по критерию Фруда.

С использованием формул (4), (16), (7) и (14) можно показать, что, несмотря на несовпадение масштаба толщины  $\lambda_h$  с геометрическим модулем подобия  $\lambda$ , масштаб прогибов льда  $\lambda_w = \lambda$ .

Справедливость изложенного метода моделирования проверялась на моделях речных ледоколов проекта Р-47, выполненных в масштабах 1:27, 1:18, 1:13,5, и проекта 1105 в масштабе 1:50, морского ледокола R-класса в масштабе 1:40 и некоторых других.

Испытания показали удовлетворительную сходимость с натурными данными.

Пересчет сопротивления для широкого диапазона масштабов моделей судов  $\lambda = 1 \div 50$ , а также для масштабной серии ледокола проекта Р-47 не выявили, сколь угодно заметного масштабного эффекта.

Отметим, что описанный метод моделирования не противопоставляется более строгому методу, основанному на подборе материала модели льда. Однако он позволяет расширить объемы модельных исследований, используя для них открытые бассейны и естественные водоемы, а также производить испытания крупномасштабных и полунатурных моделей.

При вычислениях было принято

$$\alpha = \sqrt[4]{\frac{12 \rho g (1 - \mu^2)}{E h^3}} \text{ - параметр упругого основания при изгибе ледяной пластины;}$$

$E$  – модуль упругости льда, принято  $E = 5 \cdot 10^6$  МПа;

$\mu$  – коэффициент Пуассона для льда,  $\mu = 0,36$ ;

$\rho$  – плотность воды, т/м<sup>3</sup>;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

Полученные данные при определении влияния  $L/B$  и площади объекта использовались для определения проломной нагрузки энергомодуля.

При испытаниях было отмечено, что при кинематическом погружении и вертикальном перемещении всех моделей вначале возникают радиальные трещины, а затем при

дальнейшем перемещении – кольцевые последовательно от периферии к центру. И после этого наступает полный пролом ледяного поля, когда обломки практически не взаимодействуют между собой.

Методика пересчета испытаний моделей объекта с систематически изменяемыми характеристиками базируется на теории моделирования деформирования и разрушения ледяного покрова с помощью пресноводной модели льда

Планирование эксперимента в полном объеме затруднено. Это связано с неизбежной случайностью толщины ледяного поля в момент проведения испытания. Грубый прогноз толщины намораживаемого льда базируется на времени и температуре воздуха. Но случайные метеорологические факторы (влажность, давление, динамика температуры, ветер) вносят свой вклад в фактическую толщину модели ледяного покрова, которая определяется сразу после разрушения ледяной пластины. Они же вместе с аппаратными случайными погрешностями приводят к некоторому разбросу измеряемых величин и наблюдаемых картин разрушения ледяных пластин. Фактически опыты не обладают высокой степенью повторяемости.

Соотношения геометрических параметров моделей имеют необходимый диапазон изменчивости, но конкретные соотношения параметров проектируемого объекта могут не совпадать с дискретным рядом моделей.

Поэтому экспериментальные данные сначала подвергаются предварительной обработке. Строятся диаграммы в координатах «сила – прогиб». Численные характеристики диаграмм аппроксимированы полуэмпирическими зависимостями, учитывающими существенные факторы процесса деформирования и разрушения льда. Например, проломное усилие описывается уравнениями вида (3). Затем рассчитываются кривые для моделей с параметрами вариантов натуры. Затем в заданном диапазоне проектируемого объекта, заданных его характеристиках выполняется пересчет данных на натуру.

Пересчет толщины ледяного покрова и проломного усилия выполняется по формулам (12) и (16).

Физико-механические характеристики льда при пересчете берутся для модели и натуры соответственно.

Для учета влияния ледовых условий на облик и конструктивные особенности подводного судна воспользуемся формулой расчета проломного усилия полученной на основе анализа ледовых испытаний (3).

Коэффициент удельной энергии разрушения льда при погружении вмерзшего энерго модуля, по данным опытов, равен  $k = k' \cdot \sigma_{II} = 1378$  кПа. Средняя прочность льда на изгиб в условиях опыта  $\sigma_{II} = 1,54$  МПа.

Погружение в ледовых условиях может быть затруднено из-за смерзания корпуса с плавающим ледяным покровом. При наличии вертикального борта усилие, приводящие к сдвигу корпуса относительно льда  $Z$  по поверхности контакта, прямо пропорционально касательному напряжению адгезии морского льда с корпусом, периметру судна и толщине льда:

Эти усилия кратно превышают усилия ломки ледяного покрова изгибом. Адгезия стали корпуса со льдом настолько велика, что в любом случае удерживающие от погружения энерго модуля усилия определяются проломной нагрузкой ледяного покрова.

Уравнение (3) показывает, что к снижению проломной нагрузки или увеличению толщины проламываемого ледяного покрова при погружении приводит уменьшение площади ватерлинии надводного положения, а также уменьшение отношения длины к ширине  $L/B$ . Эта формула описывает экспериментальные данные. Для пересчета на натуру необходимо определить масштаб пересчета по длине натуры и модели и воспользоваться формулами (12) и (16).

Получены нижние пределы толщин проламываемого льда. Это связано с тем, что методы пересчета не в полной мере адекватно отражают современное состояние вопроса.

Эксплуатационная документация на подводное судно должна содержать инструкцию по эксплуатации в ледовых условиях. Необходимо контролировать соленость воды, температуру воздуха и толщину ледяного покрова.

Для конкретного проекта подводного судна должны быть разработаны таблицы и графики, позволяющие принимать эксплуатационные решения о необходимости погружения при вмерзании в лед.

### Библиографический список

1. **Богородский, В.В.** Лёд / В.В. Богородский, В.П. Гаврило. – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – 383 с.
2. **Богородский, В.В.** Разрушение льда / В.В. Богородский, В.П. Гаврило, О.А. Недошивин. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 232 с.
3. **Богородский, В.В.** Физика пресноводного льда / В.В. Богородский, А.В. Гусев, Г.П. Хохлов. – Л.: Гидрометеиздат, 1971.
4. **Бутягин, И.П.** Прочность льда и ледяного покрова / И.П. Бутягин. – Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1966. – 154 с.
5. **Доронин, Ю.П.** Морской лед / Ю.П. Доронин, Д.Е. Хейсин. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 320 с.
6. **Зуев, В.А.** Средства продления навигации на внутренних водных путях / В.А. Зуев. – Л.: Судостроение, 1986. – 207 с.
7. **Ионов, Б.П.** Ледовая ходкость судов / Б.П. Ионов, Е.М. Грамузов. – СПб.: Судостроение, 2001. – 512 с.
8. **Романов, А.А.** Ледяной покров Арктического бассейна / А.А. Романов. – СПб.: ААНИИ, 1992. – 211 с.
9. Физика и механика льда: [пер. с англ.] / под ред. П. Трюде. – М.: Мир, 1987. – 352 с.
10. **Алексеев, Ю.Н.** Ледотехнические аспекты освоения морских месторождений нефти и газа / Ю.Н. Алексеев [и др.]. – СПб.: Гидрометеиздат, 2001.

*Дата поступления  
в редакцию 15.10.2013*

**V.C. Antonov<sup>1</sup>, E.M. Gramuzov<sup>2</sup>, V.A. Zyeu<sup>2</sup>, A.G. Larin<sup>2</sup>, U.M. Trapeznikov<sup>1</sup>**

### EXPERIMENTAL STUDY OF THE POSSIBILITY OF DIVE THE SUBMARINE FROZEN IN THE ICE

СКБ Malahit<sup>1</sup>,

Nizhny Novorod state technical university n.a. E.E. Alexeev<sup>2</sup>

**Purpose:** This article describes the experimental data and theoretical base to investigate the possibility of the submarine frozen into the ice to dive.

**Design/methodology/approach:** The article provides a methodology for calculating the possibilities submarine dive frozen into the ice. The method is based on the theory of modeling. In order to convert to a full-scale ship used experimental data.

**Findings:** As a result, studies have received a methodology for the calculation opportunities of immersion for different ice thicknesses, different size of the ship and the salinity of the ice. Chart breaking force from of the deflection of the ice cover were obtained as result the test. The typical form of this dependence is shown. Values failure force depending on the ratio of length to width of the load, waterline area for power module were obtained.

**Research limitations/implications:** The size of the article doesn't allow to present detailed results of end-use measurements.

**Originality/value:** First studies have been conducted and the results obtained for this type of vessel.

*Key words:* ice cover, ice breaking technology, a model of natural ice, failure load, the theory of modeling, Arctic.

## ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

УДК 62-83:621.313

А.Ю. Смирнов

### ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУИРОВАНИЯ И АНАЛИЗА ВЫСОКООБОРОТНЫХ СИНХРОННЫХ МАШИН С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ НА РОТОРЕ

Опытное конструкторское бюро машиностроения «Африкантов»

Рассмотрены особенности конструкции электрических машин с постоянными магнитами на роторе, предназначенных для привода высокооборотных механизмов. Предлагаются конструктивные решения, направленные на ограничение диаметра ротора и осевой длины, необходимые для уменьшения механических нагрузок, обусловленных высокой частотой вращения ротора. По сеточной модели варианта двигателя рассчитана угловая характеристика и анализируется влияние на её форму реактивных моментов, обусловленных различием магнитного сопротивления ротора по продольной и поперечной осям.

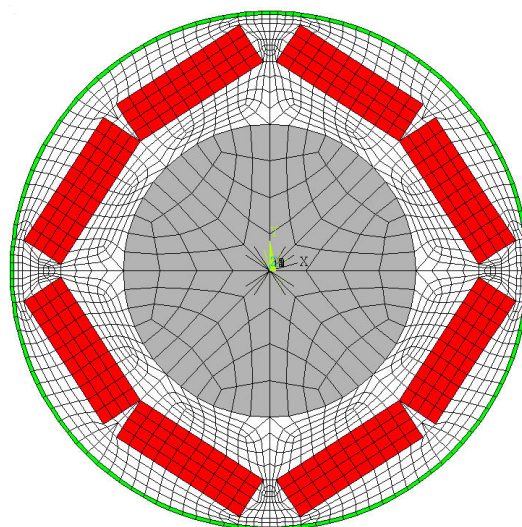
*Ключевые слова:* синхронная машина, постоянные магниты, ротор, угловая характеристика.

В последние годы, благодаря разработке и промышленному освоению новых магнитотвёрдых материалов, обладающих высокими удельными энергетическими показателями и относительно умеренной ценой, электрические машины с постоянными магнитами (с магнитоэлектрическим индуктором) получают всё более широкое применение. Использование высокооборотных магнитоэлектрических машин совместно с частотным преобразователем обеспечивает рост единичной мощности агрегата, высокую надёжность за счёт бесконтактного исполнения, стабильность частоты вращения и качество энергетических характеристик за счёт незначительного потребления реактивной мощности.

Преимущество синхронных машин с постоянными магнитами на роторе, обеспечивающими чередование вдоль его окружности полюсов противоположной полярности, перед индукторными машинами с расположением магнитов на статоре и/или на роторе состоит в модуляции потока по направлению, а не только по величине. За счёт этого переменно-полюсная машина, как и обычная, с электромагнитным возбуждением, в принципе, способна обеспечить более высокие удельные показатели по мощности и моменту, чем индукторные аналоги.

Конструктивными признаками высокооборотных машин являются:

- ограниченный внешний диаметр ротора и большой диаметр отверстия под вал;



**Рис. 1. Ротор высокооборотной магнитоэлектрической машины (сеточная модель)**

- ограниченная осевая длина, во избежание возникновения резонансных частот изгибных колебаний вала на частотах, равных или ниже синхронной;
- относительно большая протяжённость полюсного деления.

Указанные признаки относятся к машинам с частотой вращения ротора до нескольких десятков тысяч об/мин.

Вследствие небольшого числа полюсов магнитной системы, не превышающего четырёх, магниты каждого приходится делать составными, повернутыми друг относительно друга на некоторый угол, так что они не образуют общей плоскости. В отличие от многополюсных низкооборотных машин с  $V$ -образным расположением двух магнитов на каждом полюсе [1], магниты высокооборотной машины целесообразно расположить с обратным  $V$ -образным профилем магнитов (рис. 1, сеточная модель). Так они занимают меньшее пространство между валом и внешней поверхностью ротора, что позволяет, с одной стороны увеличить диаметр вала, повышая тем самым механическую прочность ротора, а с другой стороны, уменьшить его внешний диаметр, ограничивая тем самым способные его разрушить радиальные усилия.

Особенностью конструкции роторов с  $V$ -образным расположением магнитов является наличие перемычек из магнитомягкого материала, замыкающих в магнитной цепи «южные» и «северные» полюса магнитов. С одной стороны, они увеличивают поток рассеяния, который ограничен лишь участками локального насыщения этих перемычек в области стыка полюсов противоположной полярности, что ухудшает использование магнитов. Однако, с другой стороны, наличие дополнительных путей рассеяния предохраняет магниты от размагничивания упрощает сборку ротора и улучшает форму кривой индукции в зазоре под полюсами, приближая её к синусоидальной.

Свойства магнита в составе магнитной системы электрической машины описываются кривой размагничивания (кривая 2 на рис. 2). Кроме остаточной индукции  $B_r$ , её характеристикой является коэрцитивная сила по индукции  $H_{CB}$ , в отличие от характерной точки петли гистерезиса (кривая 1), которая называется

коэрцитивной силой по намагниченности и обозначается как  $H_{CJ}$ . При этом  $H_{CB}$  всегда меньше, чем  $H_{CJ}$ . Кривые размагничивания характеризуются значением максимальной энергии  $(BH)_{max}$  [кДж/м<sup>3</sup>]. Этот параметр позволяет сравнивать по энергонасыщенности материалы различных марок, структуры и химического состава [2].

Наиболее распространённым и доступным материалом для изготовления постоянных магнитов электрических машин в настоящее время являются ферриты (бария и стронция). Однако в единичных ответственных изделиях и миниатюрных машинах также нашли применение значительно более энергонасыщенные, но и весьма дорогие магниты на основе сплавов  $SmCo_5$  и  $NdFeB$ , характеризующиеся возможностью создания сильных магнитных полей в малых габаритах.

Несмотря на то, что существует немало методов расчёта электрических машин с постоянными магнитами, наиболее полную детализацию расчётной модели, осо-

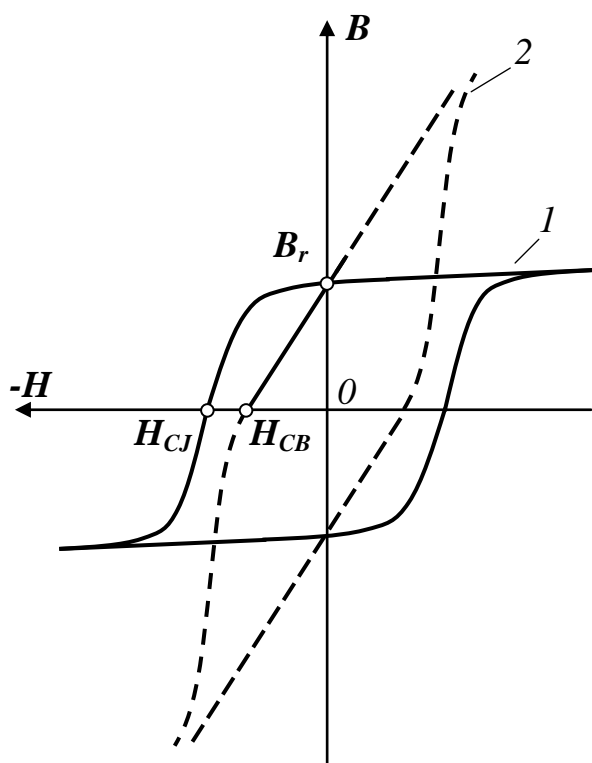
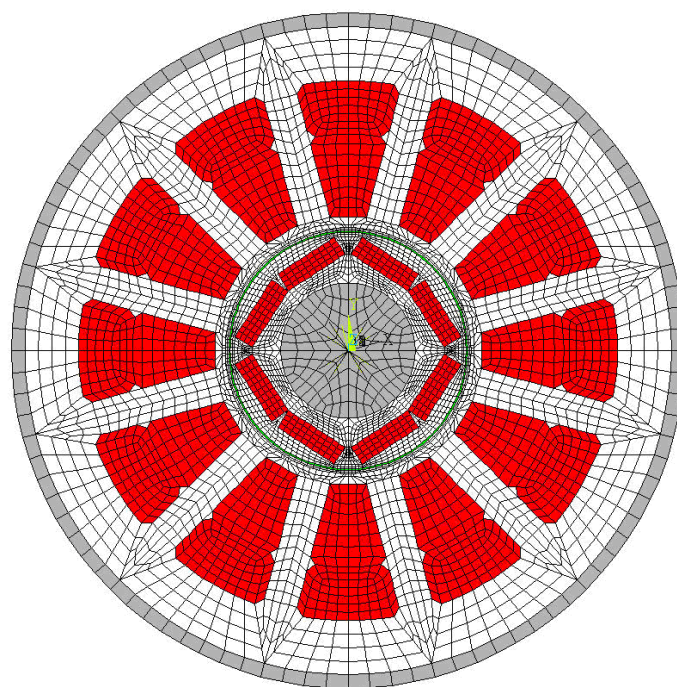


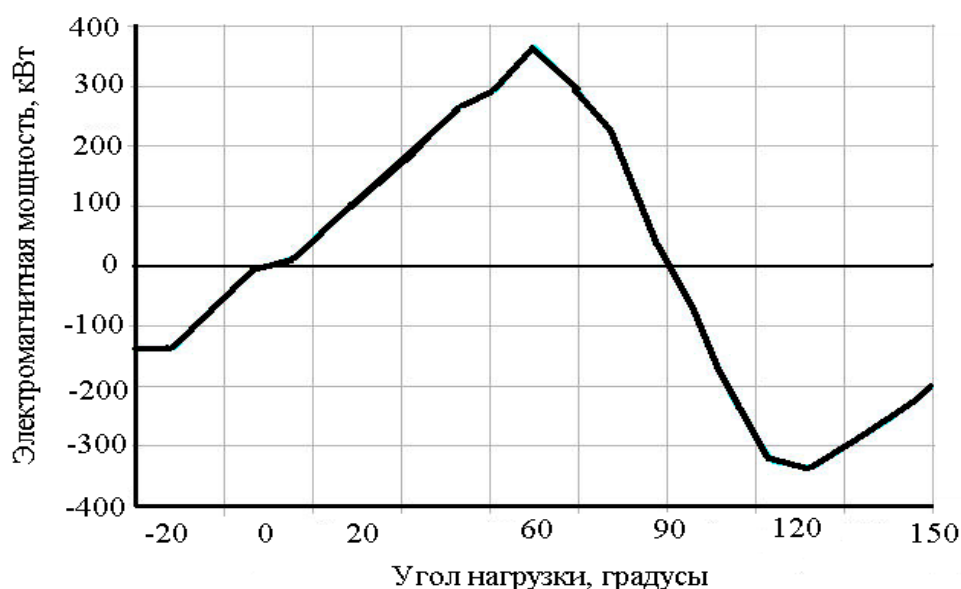
Рис. 2. Петли гистерезиса магнитотвёрдого материала по намагниченности (кривая 1) и индукции (кривая 2)



бенно в зонах локального насыщения ферромагнитных участков ротора, а следовательно, и точность вычислений, обеспечивает метод конечных элементов и сеточная модель магнитной цепи машины, реализующая этот метод.



а)



б)

**Рис. 3. Угловая характеристика высокооборотной магнитоэлектрической синхронной машины с обратным расположением V-образных магнитов на полюсах и её сеточная модель**

Постоянные магниты в сеточной модели электромагнитного устройства могут быть представлены двумя способами:

1) посредством характеристик собственно магнитотвёрдого материала в виде кривой размагничивания или прямой магнитного возврата;

2) посредством эквивалентного электромагнита. В этом случае он замещается катушкой без потерь, охватывающей сердечник той же формы, что и замещаемый магнит. Проводимость сердечника следует принять равной проводимости магнитотвёрдого материала  $\Lambda_M$

$$\Lambda_M = \frac{B_r}{H_{CB}} \frac{S_M}{l_M} = \frac{B_r S_M}{F_M},$$

где  $l_M$  – длина магнита в направлении намагничивания;  $S_M$  – площадь поперечного сечения магнита в направлении, перпендикулярном направлению намагничивания.

Расчёты показывают, что в обоих случаях достигаются примерно одинаковые, в пределах методической погрешности, результаты [1].

Для сокращения длины вылета лобовых частей статора, а следовательно, и общей осевой длины, чтобы заблокировать влияние высших изгибных частот колебаний вала, можно прибегнуть к большему укорочению шага, чем это принято в обычных машинах переменного тока. Для этого следует задать укорочение шага  $\beta$  не таким, каким его принимают в обычных двухслойных обмотках машин переменного тока: не более  $\beta > 2/3$  полюсного деления, а  $\beta=2/3$ ,  $\beta=1/2$  полюсного деления и менее. В пределах шаг катушек обмотки статора пазам может быть выбран равным одному зубцовому делению  $\beta = 1$ , т.е. обмотка может быть явнополюсной. Однако такое решение уместно лишь при очень ограниченном числе пазов на полюс и фазу  $q$ , поскольку уже при  $q = 2$  коэффициент укорочения становится недопустимо малым. В трёхфазной машине он составляет  $K_y = 0,5$ , а в обмотках с числом фаз, превышающим три, принимает ещё меньшие значения, что приведёт к избыточному расходу обмоточной меди и росту потерь.

Особенностью магнитоэлектрических машин с высококоэрцитивными постоянными магнитами является заметно бóльшая магнитная проводимость для поперечного потока, по сравнению с проводимостью для продольного потока, имеющего место при совпадении осей полюсов ротора и фазы обмотки статора, так что

$$X_d < X_q,$$

с образованием соответствующего реактивного момента, пропорционального разности указанных индуктивных сопротивлений. Под его влиянием угол нагрузки, соответствующий максимуму развиваемого момента и мощности, на угловой характеристике смещается в область значений  $\theta_m > \frac{\pi}{2}$ , а сама характеристика имеет более пологую восходящую, в отличие от характеристик неявно- и явнополюсной машин с электромагнитным возбуждением (рис. 3, б).

Избыточное действие поля реактивного момента приведёт к искажению результирующей угловой характеристики, в ней возможно появление локальных минимумов и даже участков с противоположным значением мощности и момента. Для уменьшения влияния реактивного момента путём выравнивания параметров  $X_d$  и  $X_q$  следует ограничивать радиальный размер полюсных наконечников, а воздушный зазор не должен быть чрезмерно малым. Его следует выбирать в два-три раза большим, чем в машинах с электромагнитным возбуждением такой же мощности и момента. Последнее условие удачно вписывается в конструкцию высокооборотных машин, где для обеспечения высокой механической прочности целесообразно укрепить ротор внешней оболочкой (рубашкой) из титана или других высокопрочных материалов.

В показанной на рис. 3, а машине был задан зазор между статором и ротором 3 мм. Несмотря на значительную его величину, благодаря применению магнитов из сплава NdFeB, удалось достичь приемлемого значения постоянной Арнольда  $S_A$  (она характеризует использование объёма внутри расточки статора),

$$C_A = \frac{D^2 l_\delta \Omega}{P} \approx \frac{1}{AB_\delta} = 0,00014 \left[ \frac{\text{М}^2}{\text{Н}} \right],$$

где  $D$  - диаметр расточки статора;  $l_\delta$  - пакета статора в осевом направлении (осевая длина воздушного зазора);  $\Omega$  - частота вращения ротора, об/мин;  $A$  - линейная нагрузка, А/м;  $B_\delta$  - индукция в зазоре, Тл.

### Выводы

1. Создание высокооборотных машин с использованием современных магнитотвёрдых материалов на основе сплавов NdFeB, SmCo<sub>5</sub>, Sm<sub>2</sub>Co<sub>17</sub>, СА (феррит стронция), несомненно, является одним из перспективных направлений современного электромашиностроения.

2. Наряду с низкой величиной индуктивных сопротивлений, особенностью параметров машин с высококоэрцитивными постоянными магнитами является обратное соотношение  $X_d$  и  $X_q$ , и связанная с этим соотношением форма угловой характеристики, с углом нагрузки, соответствующим максимуму момента и мощности, смещённым за пределы  $\pi/2$ .

3. В условиях ограниченного по условиям прочности объёма роторного пространства высокооборотной машины под установку постоянных магнитов может оказаться перспективной конструкция ротора с обратным V-образным профилем магнитов на полюсах, с катушками обмотки якоря, более укороченными, чем это принято в обычных машинах переменного тока.

### Библиографический список

1. Смирнов А.Ю. Исследование момента герметичной индукторной машины // Электротехника. 2007. №1. С. 51–55.
2. Постоянные магниты: справочник / под ред. Ю.М. Пятиня. – М.: Энергия, 1971. – 376 с.

*Дата поступления  
в редакцию 15.10.2013*

**A. Yu. Smirnov**

### **THE DESIGN AND ANALYSIS FEATURES OF HIGH RPM WITH ROTOR-PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS MACHINES**

OKBM Afrikantov

The design features of high rpm permanent magnet synchronous machines are examined. Design solution to limit rotor diameter and axial overall axial length are proposed to reduce mechanical loads from high speed rotation. By FEM of motor release usage was calculated angle load characteristic and analyzing the influence due to different magnetic resistance of rotor: along lengthwise and cross axis on it's shape.

*Key words:* synchronous machine, permanent magnet, rotor, load angle characteristic.

УДК 004.72

А.Б. Лоскутов, А.И Чивенков, Е.Н. Соснина, А.А. Лоскутов, Д.В. Зырин

## ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАТОРНАЯ ПОДСТАНЦИЯ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ С АВТОМАТИЧЕСКИМ ПЛАВНЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ НАПРЯЖЕНИЯ И МОЩНОСТИ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Рассмотрен проект цифровой трансформаторной подстанции (ЦТП) напряжением 10/0,4 кВ с активно-адаптивной системой управления и автоматическим плавным регулированием напряжения. Приведены результаты исследований параллельной работы регулируемого и нерегулируемого трансформаторов. Разработаны основная конструкторская документация на устройства тиристорного регулятора, технологическая система управления регулятором, активно-адаптивная система управления и мониторинга ЦТП, электротехнические и компоновочные решения. Предложен вариант реализации проекта на территории НГТУ.

*Ключевые слова:* цифровая трансформаторная подстанция, активно-адаптивная система управления, трансформаторно-тиристорный регулятор напряжения и мощности с ключами однонаправленного тока, технологическая система управления, параллельная работа трансформаторов, PLC модем, интерфейс, интеллектуальные сети.

В настоящее время регулирование напряжения трансформаторов в распределительных сетях 6-10 кВ осуществляется переключением отпаек ПБВ с помощью контактных схем ПБВ. Они недороги, но имеют существенные недостатки:

- организационные сложности переключений, используются только сезонные переключения;
- отсутствие динамического регулирования напряжения и др.

Сравнивая стандартный трансформатор с ПБВ с трансформатором, оснащенным тиристорным регулятором напряжения и мощности с ключами однонаправленного тока (ТТРН ОТ), можно сделать вывод о существенном расширении функций регулирования.

Таблица 1

	Стандартный тр-р с ПБВ	ТТРН ОТ
Устройства регулирования напряжения	ПБВ	РПН
Способ регулирования напряжения	Ступенчатое	Ступенчатое и плавное
Возможность автоматизации регулирования	Невозможно	Возможно
Возможность симметрирования напряжений и токов в фазах	Невозможно	Возможно

Новое направление развития электрических сетей – интеллектуальные сети или Smart Grid – направлено на модернизацию не только сетей, но и всех ее элементов.

Концепция Smart Grid предусматривает следующие основные задачи:

- обеспечение и повышение надежности распределительной сети;
- автоматическое управление элементами сети по адаптивным алгоритмам;
- управление режимами сети.

Единая технологическая и информационная платформа позволяет реализовать такие функции элементов, которые были недоступны для систем автоматического управления (например, переключение отпаек трансформаторов ПБВ).

Ключевым элементом цифровой трансформаторной подстанции является трансфор-

матор с возможностью регулирования напряжения. В статье рассматривается интеллектуальная цифровая трансформаторная подстанция (ЦТП) 10/0,4 кВ, в состав которой входит альтернативное устройство регулирования: трансформаторно-тиристорный регулятор напряжения и мощности с ключами однонаправленного тока (ТТРНМ ОТ) [1].

Трансформаторно-тиристорный регулятор напряжения и мощности представляет новое поколение установок с расщепленными обмотками высокого напряжения трансформаторов. Применение тиристорных контакторов в цепях расщепленных обмоток трансформаторов (рис.1) позволило ограничить величины токовых перегрузок в коммутационных режимах и исключить возможность возникновения контуров короткого замыкания контактора, тем самым обеспечивая безаварийную работу ТТРНМ ОТ [1, 2]. Выпускаемые промышленностью типовые тиристоры, применённые в контакторе с входным рабочим напряжением 10 кВ, позволяют осуществлять работу установки даже при внешних коротких замыканиях на стороне напряжения 0,4 кВ.

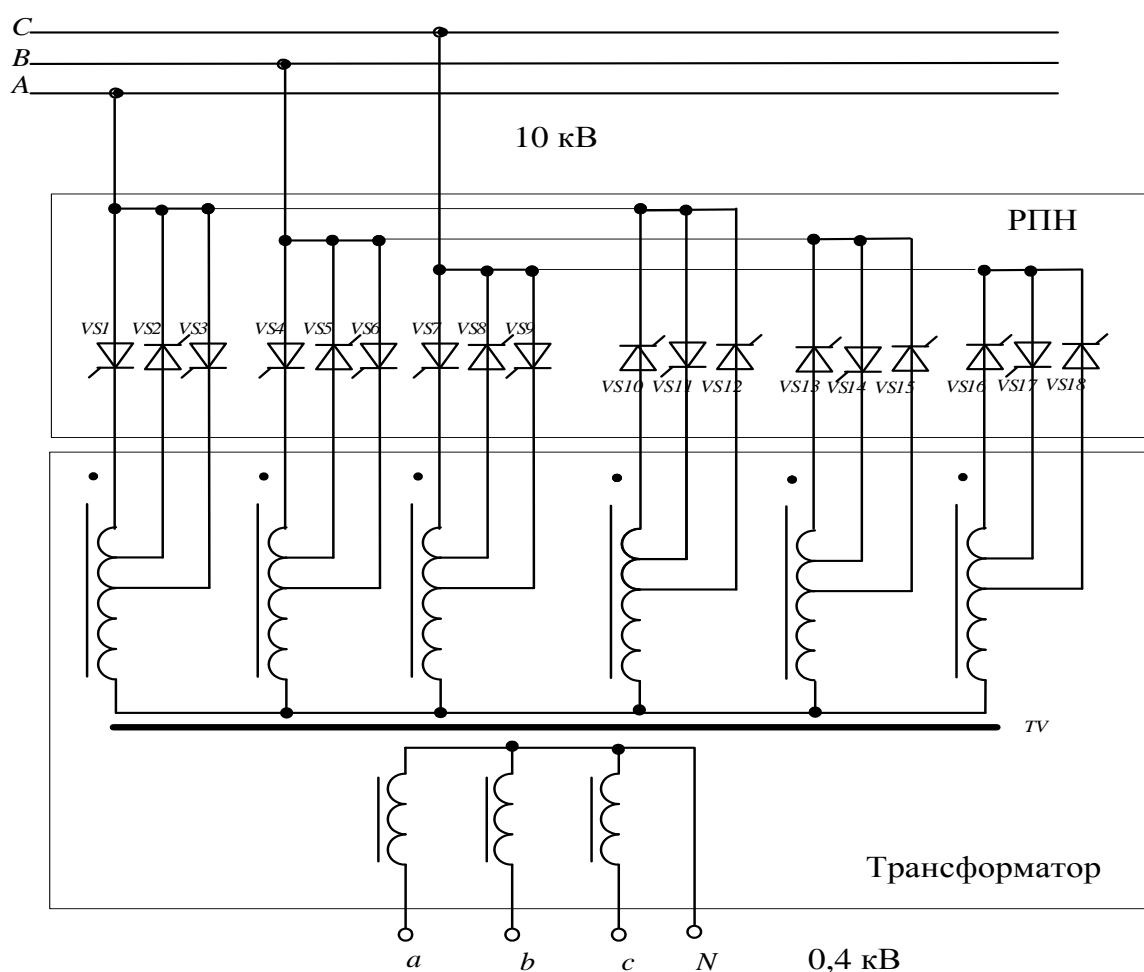


Рис. 1. Принципиальная схема ТТРНМ ОТ

Применение ТТРНМ ОТ в системах электроснабжения позволит осуществлять дискретное и плавное пофазное регулирование переменного выходного напряжения при параллельной работе с другим трансформатором или генерирующей установкой напряжением 0,4 кВ. В системе управления тиристорными ключами использован алгоритм двухзонного последовательного управления [3] на интервалах положительной и отрицательной мгновенных мощностей (рис. 2). При этом обеспечивается возможность регулирования перераспределения как активных, так и реактивных составляющих токов параллельно работающих установок. Что при сохранении величины полной передаваемой мощности удаленных транс-

форматоров позволит перераспределять реактивную составляющую мощности, а следовательно, повысить напряжение потребителей перегруженных линий электропередачи, не увеличивая мощности установленного оборудования.

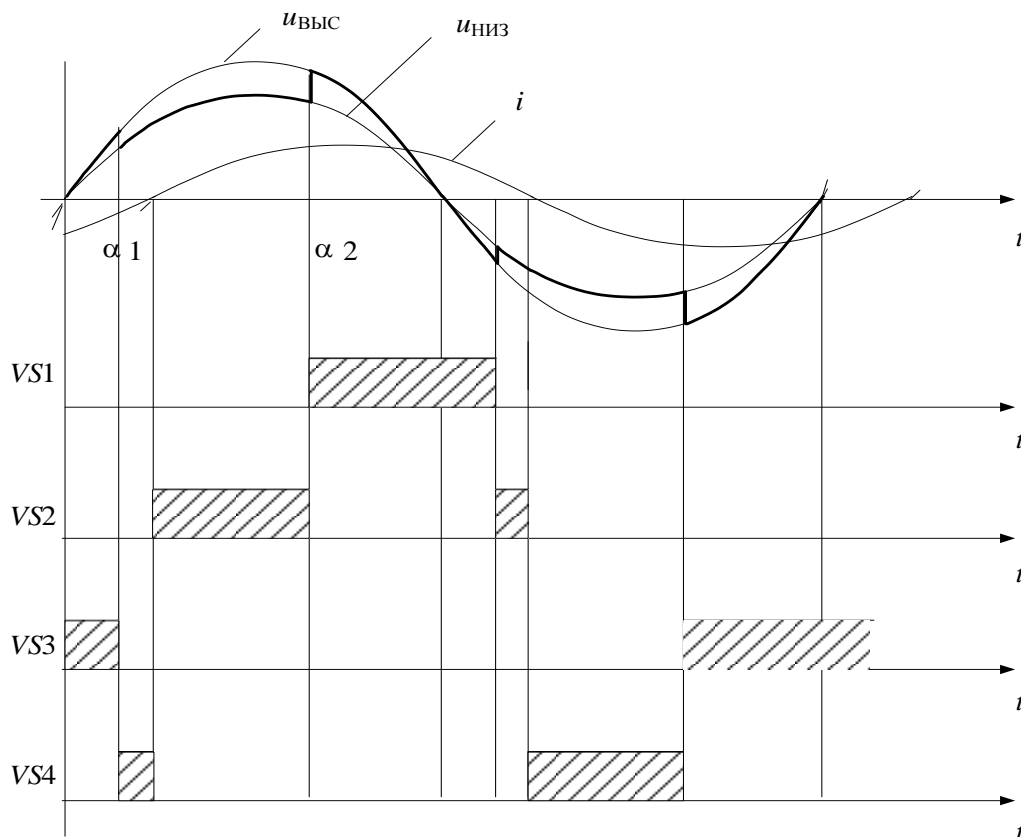


Рис. 2. Интервалы электропроводности вентилях при импульсно-фазовом управлении ТТРМ ОТ

Таблица 2

Режим	Характер нагрузки, $\cos\phi$	Максимальные значения амплитуд высших гармоник в % от амплитуды первой гармоники				
		3-я	5-я	7-я	9-я	11-я
напряжение на выходе регулятора	1	0,002	0,8	0,6	0,002	0,4
	0,7	0,006	0,8	0,5	0,007	0,4
	0,4	0,003	0,8	0,5	0,004	0,3
	0,1	0,002	0,8	0,7	0,003	0,3
сетевой ток	1	0,004	1,8	1,3	0,003	0,8
	0,7	0,007	1,8	1,3	0,006	0,8
	0,4	0,008	1,9	1,3	0,008	0,8
	0,1	0,007	1,9	1,4	0,007	0,8

Существует мнение, что при импульсно фазовом управлении ТТРН ОТ происходят значительные изменения несинусоидальности токов и напряжений. В табл. 2 приведены максимальные значения амплитуд высших гармоник токов и напряжений, которые свидетельствуют о допустимости искажений при всех возможных  $\text{Cos } \varphi$ .

В состав разрабатываемого опытного образца ТТРНМ ОТ вошли:

- трехфазный трансформатор 10/0,4 кВ мощностью 400 кВА сухого исполнения, имеющий две ступени регулировочных обмоток  $\pm 5\%$  номинального напряжения;
- тиристорный коммутатор переключения отводов регулировочных обмоток;
- система измерения входных и выходных напряжений и токов ТТРНМ ОТ;
- система управления, контроля, защиты, сбора и обработки информации;
- система сопряжения по цепям управления с внешними устройствами защиты и контроля.

На рис. 3 и рис. 4 приведены структурная и технологическая схемы ТТРНМ ОТ с активно-адаптивным управлением.

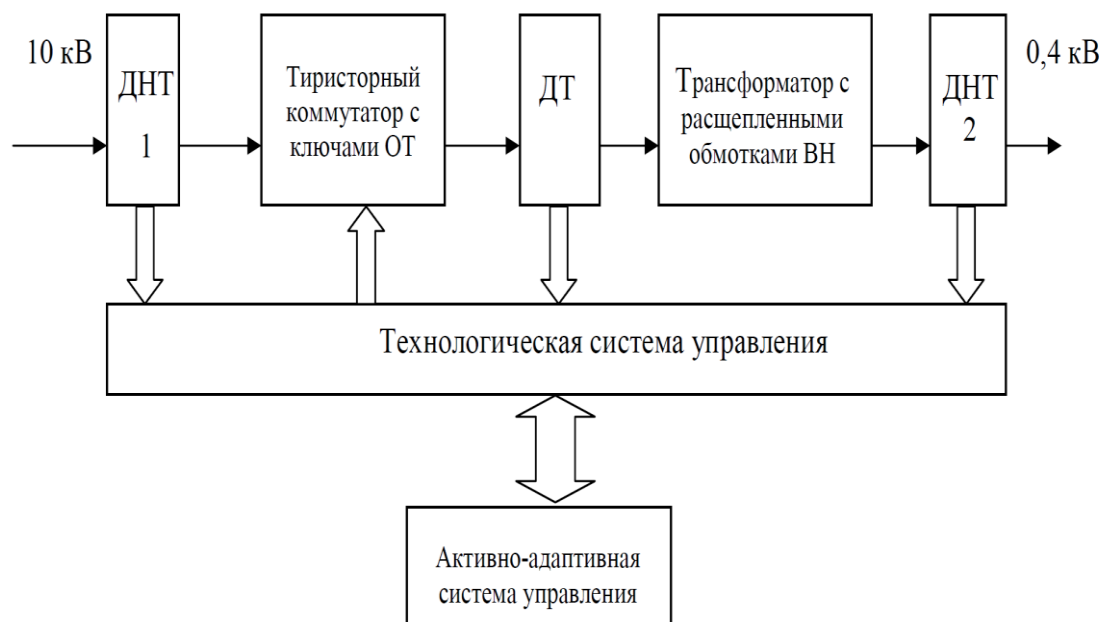


Рис. 3. Структурная схема ТТРНМ ОТ с активно-адаптивным управлением

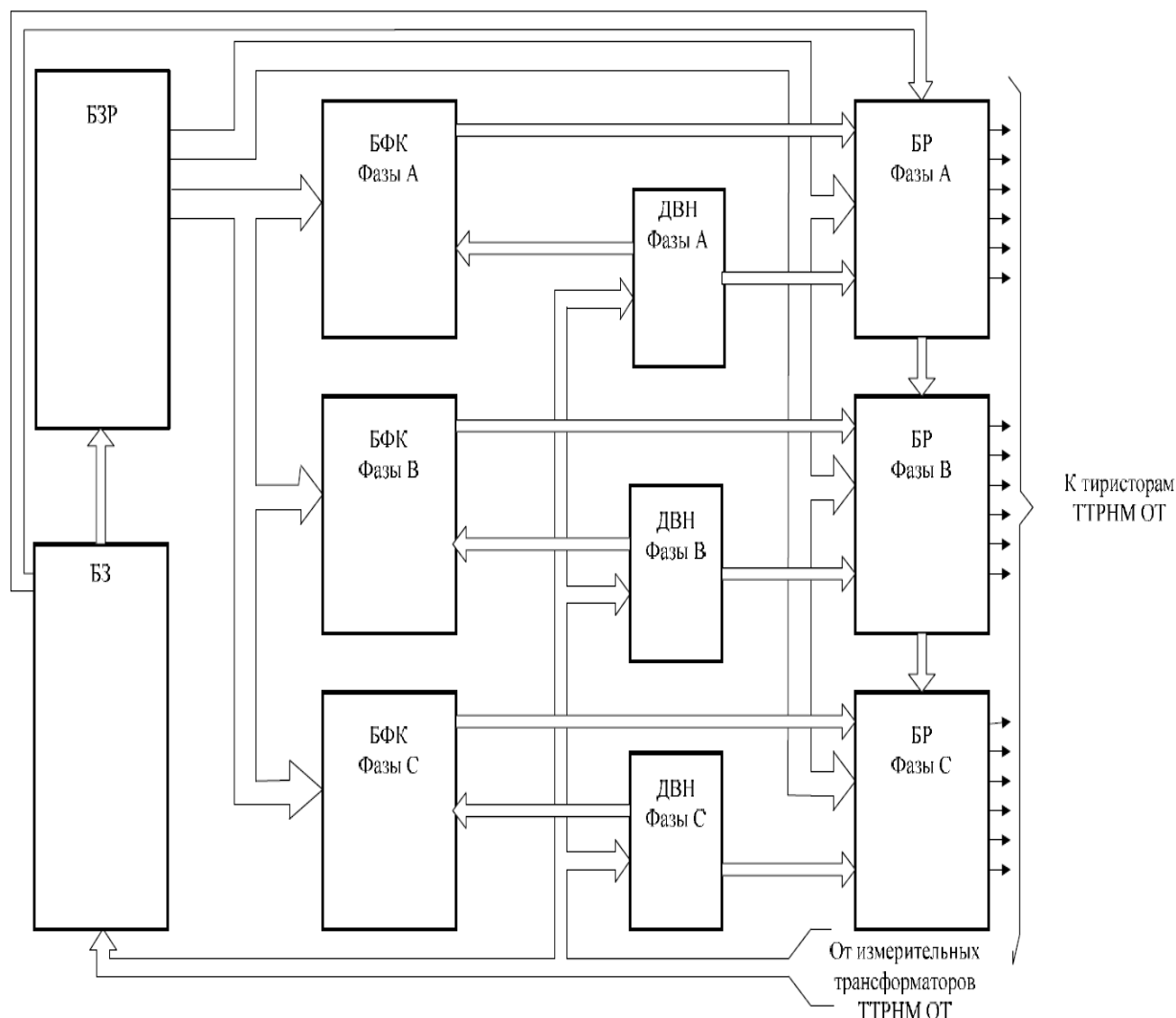
Технологическая система управления (ТСУ) представляется в виде отдельных блоков (блок задания режимов, блок защиты, блок формирования команд, датчик измерения напряжений, блок регулирования). Схема ТСУ реализована на базе промышленного контроллера Compact RIO.

Технологическая схема управления реализована на базе промышленного контроллера.

Результаты исследований показали, что при использовании импульсно-фазового способа регулирования с применением алгоритма двухзонного последовательного управления тиристорными ключами возможно добиться:

- максимального диапазона регулирования на интервале 0–180 электрических градусов при активно-индуктивном характере нагрузки;

- регулирования величины реактивной мощности линий электропередачи в широком диапазоне;
- удовлетворительных параметров электромагнитной совместимости при величине ступени регулировочной обмотки трансформатора 5%.



**Рис. 4. Технологическая система управления ТТРН ОТ:**

БЗР – блок задания режимов; БЗ – блок защиты; БФК – блок формирования команд;  
ДВН – датчик измерения напряжений; БР – блок регулирования

Реализация проекта ЦТП в составе с опытным образцом ТТРНМ ОТ планируется на территории НГТУ им. Р. Е. Алексеева (рис. 4 и рис. 5). ЦТП комплектуется следующим силовым оборудованием:

- трансформатор сухой мощностью 400 кВА типа ТСЗН-400/10 УХЛ2 с тиристорным коммутатором КТ-400/10;
- трансформатор сухой мощностью 400 кВА типа ТСЗН-400/10;
- трансформатор масляный мощностью 630 кВА типа ТМГ-630/10-У1(ХЛ1);
- компактное распределительное устройство 10 кВ RM6 с элегазовой изоляцией производства Schneider Electric;



- распределительное устройство 0,4 кВ производства Schneider Electric;
- вспомогательное оборудование (рис. 6).

В режиме неравномерности нагрузок между секциями трансформаторов Т1 и Т2 возможен режим параллельной работы трансформаторов при этом ТСУ и ААСУ настраивают регулятор на равномерную загрузку трансформаторов (рис. 7).

Разработана активно-адаптивная система управления (ААСУ), позволяющая собирать оперативную информацию о текущих процессах на подстанции и передавать ее с помощью PLC модемов. ААСУ имеет интерфейсы, позволяющие опрашивать устройства, управлять ими и объединять в интеллектуальную сеть. ААСУ позволяет реализовать любые алгоритмы работы распределительной сети (рис. 8).

Предполагается, что данная ЦТП в будущем будет являться узловым элементом активно-адаптивной равномерно-распределенной электрической сети [5]. Поэтому данный проект – это первый шаг к созданию гибких интеллектуальных электрических сетей.

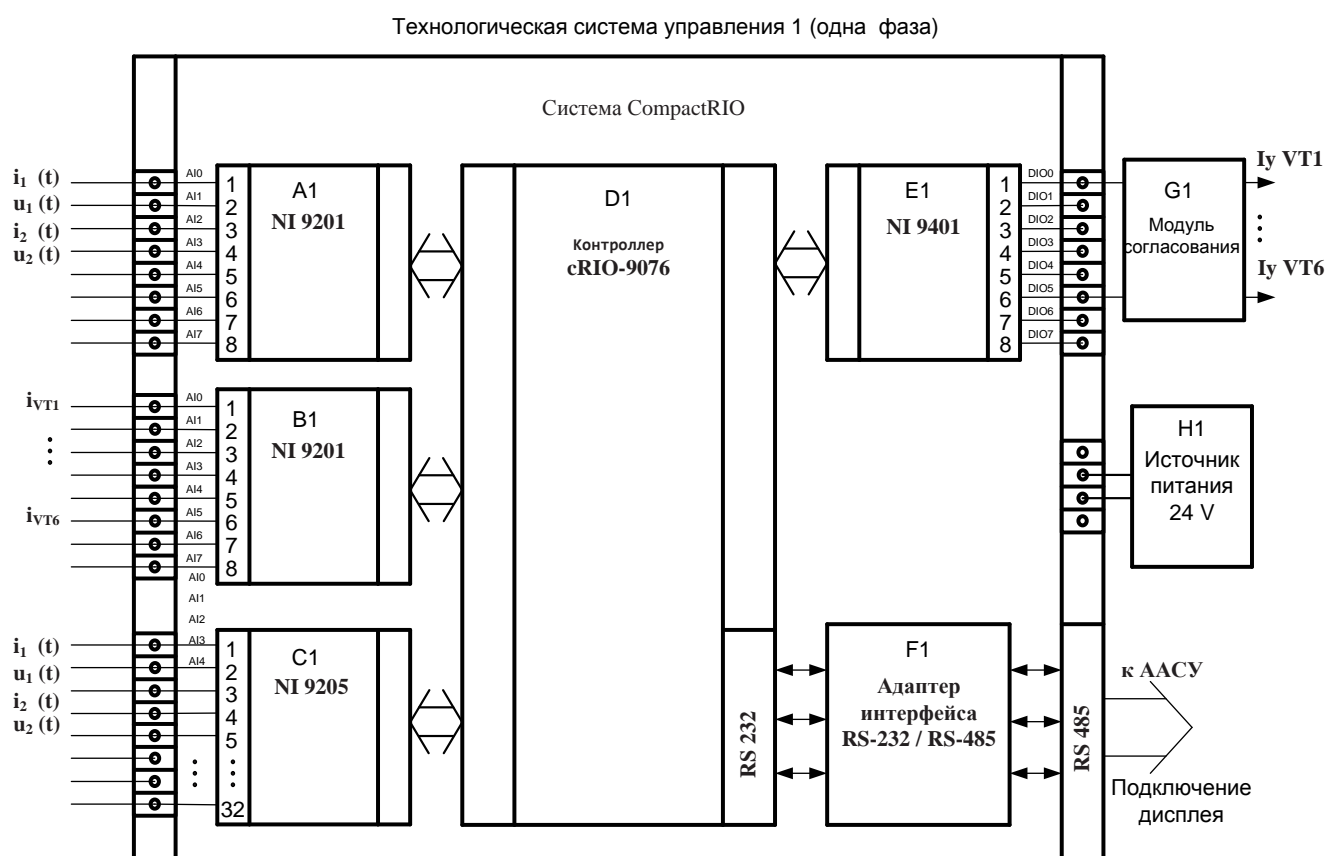


Рис. 5. Технологическая схема управления на базе промышленного контроллера

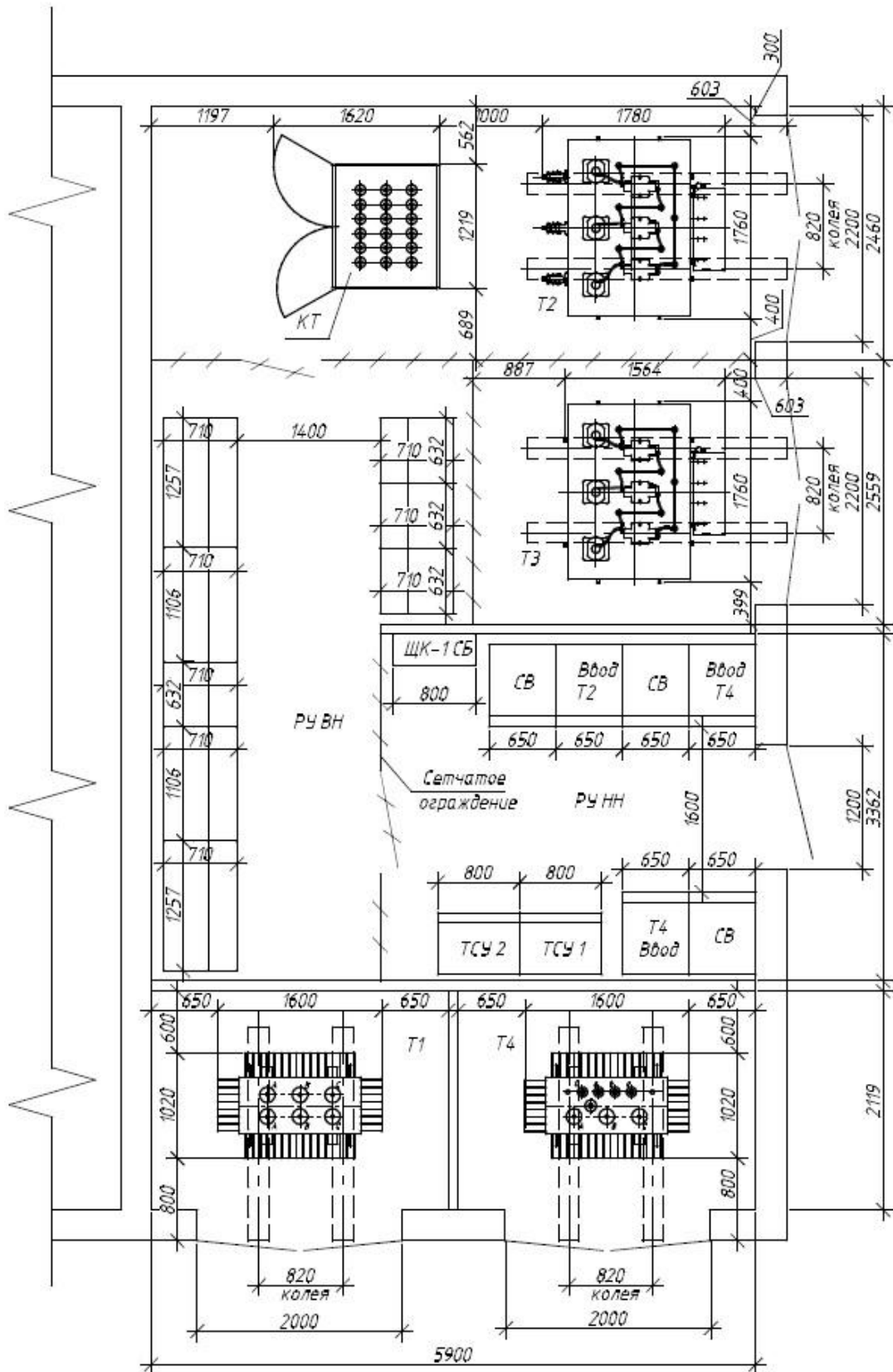


Рис. 6. Проект привязки ЦТП с ТТРМ ОТ (компановка)

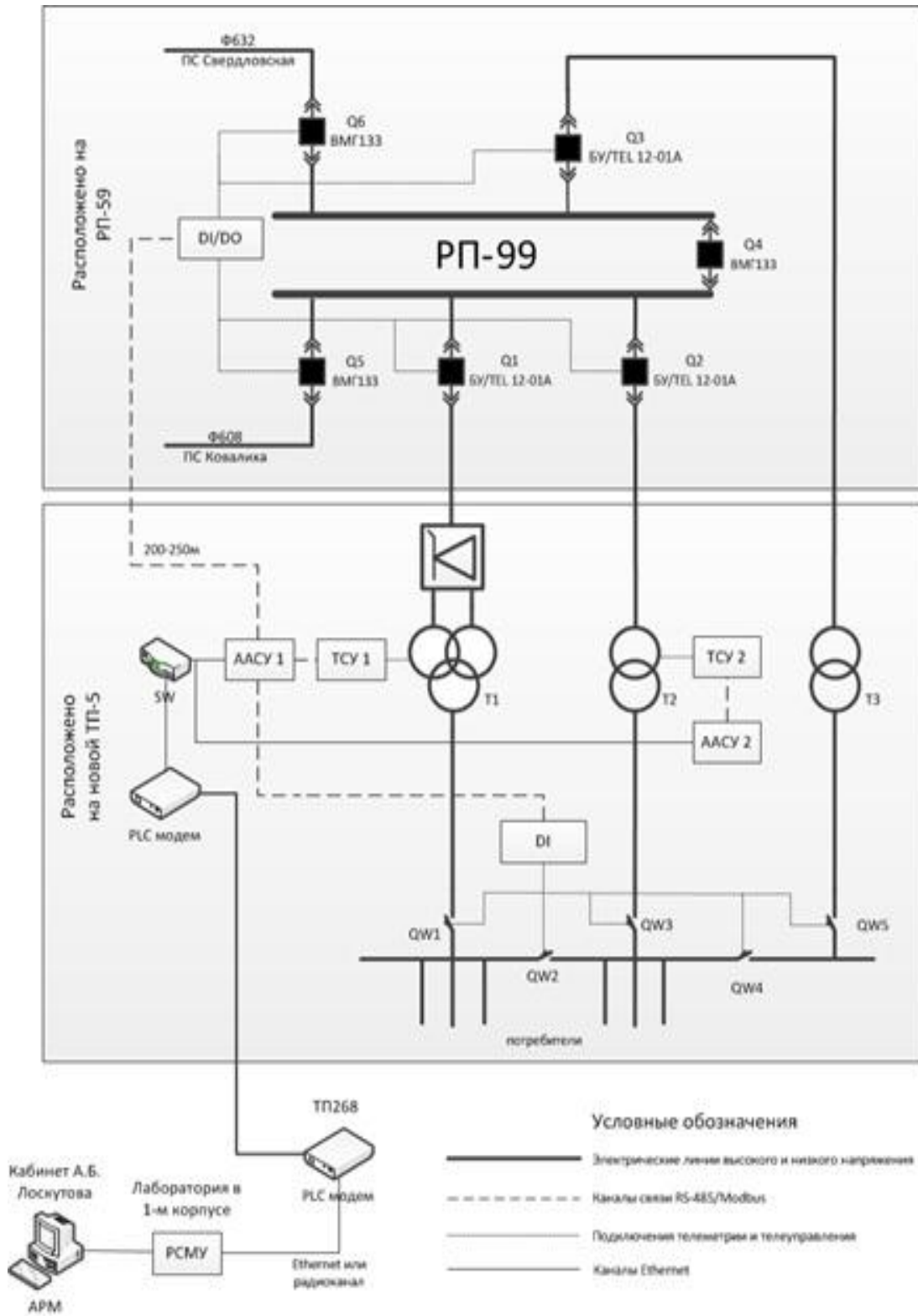
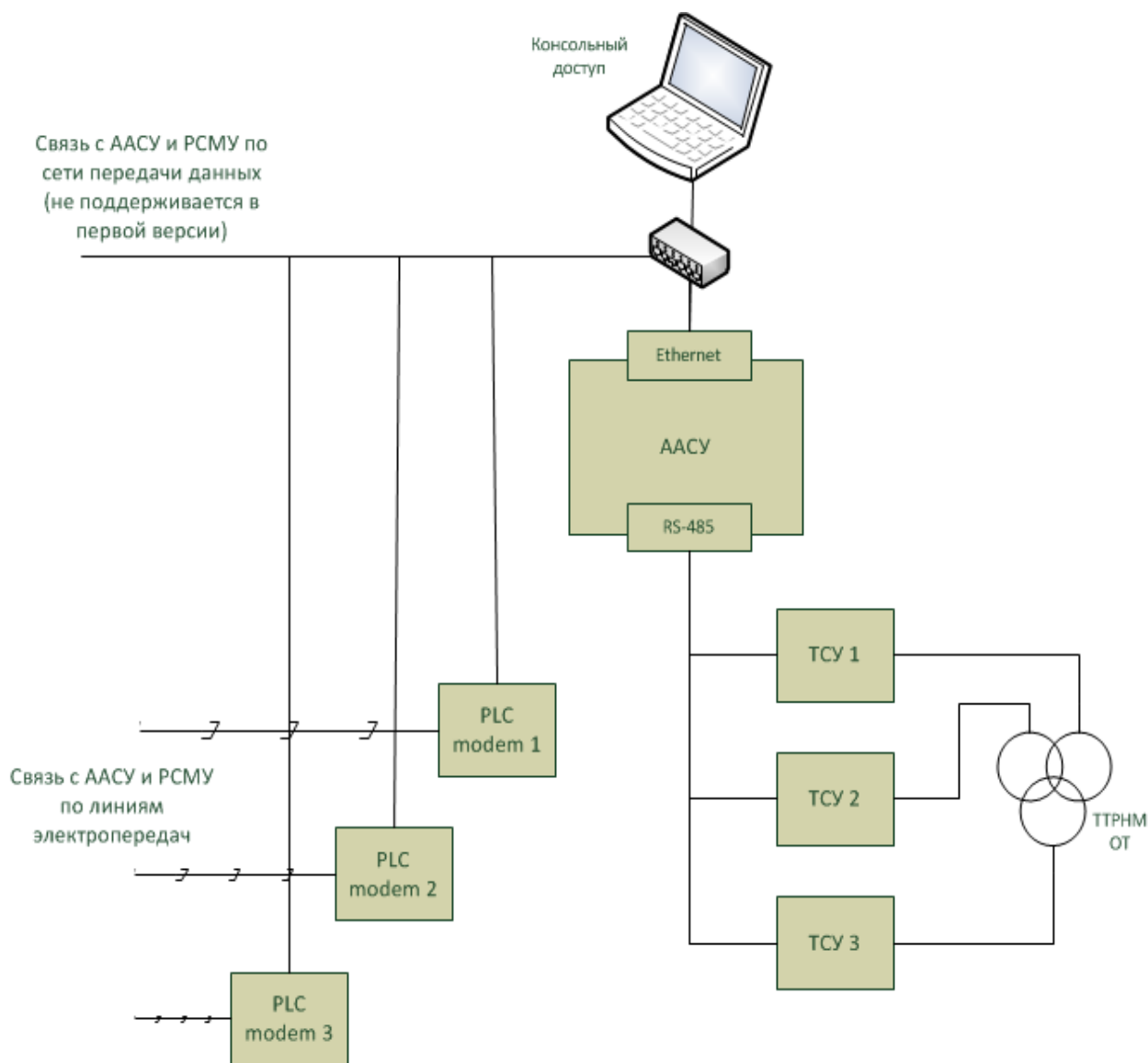


Рис. 7. Схема подключения ЦТП с ТТРМ ОТ



**Рис. 8. Активно-адаптивная система управления ТТРМ ОТ**

*В статье использованы материалы Государственного контракта от 11.10. 2011 г. № 16.526.12.6016 (11/692) с Министерством образования и науки РФ.*

#### Библиографический список

1. **Нажимов, А.В.** Тиристорный регулятор напряжения трансформаторов 6-10 кВ / А.В. Нажимов [и др.] // Промышленная энергетика. 2010. №8. С. 30–33.
2. **Лоскутов, А.Б.** Снижение токовых коммутационных перегрузок в трансформаторно-тиристорных регуляторах переменного напряжения / А.Б. Лоскутов [и др.] // Промышленная энергетика. 2010. №9. С. 38–41.
3. Пат. №2398342. Способ управления тиристорным регулятором напряжения трансформатора / А.А. Асабин. Зарегистрирован 27. 08. 2010.
4. **Лоскутов, А.Б.** Разработка и создание типового ряда трансформаторно-тиристорных регуляторов напряжения и мощности с расщепленной первичной обмоткой трансформатора и ключами однонаправленного тока. Этап 3: Разработка рабочей конструкторской документации / А.Б. Лоскутов [и др.] // Научно-технический отчет № госрегистрации: 01201177951 (ГК от 11.10.2011 №16.526.12.6016). Н.Новгород: НГТУ, 2012. – 80 с.

5. **Соснина, Е.Н.** Топология городских распределительных интеллектуальных электрических сетей 20 кВ / Е.Н. Соснина, А.Б. Лоскутов, А.А. Лоскутов // Промышленная энергетика. 2012. № 5. С. 11–17.

*Дата поступления  
в редакцию 15.10.2013*

**A.B. Loskutov, A.I. Chyvenkov, E.N. Sosnina, A.A. Loskutov, D.V. Zyrin**

## **DIGITAL TRANSFORMER SUBSTATION IN INTELLECTUAL POWER GRIDS WITH AUTOMATIC SMOOTH ADJUSTMENT OF VOLTAGE AND POWER**

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

**Purpose:** The project of digital transformer substation with voltage 10/0,4 kV with active-adaptive control system and automatic smooth adjustment of voltage are created.

**Design/methodology/approach:** Development of smart grid which designed to modernize electric grids and elements of grid.

**Findings:** The project includes the following developments: the results research of parallel operation regulated and unregulated transformers, the main design documentation for the device thyristor controller, technological control system of controller, active-adaptive control system and monitoring system of digital transformer substation, solutions in electro technical part and decisions in arrangement of equipment.

**Research limitations/implications:** The digital transformer substation will be the main element of active-adaptive uniformly distributed power network in the future.

**Originality/value:** As a result was a project of digital transformer substation on the territory of the NSTU.

*Key words:* digital transformer substation, active-adaptive control system, transformer-thyristor controller of voltage and power with the keys unidirectional current, technological control system, parallel operation of transformers, PLC modem, interface, smart grid.

## МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

УДК 620.179.1+534.6+539.32+537.624.8

К.В. Курашкин, В.В. Мишакин

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ И МАГНИТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ НАПРЯЖЕНИЙ БЕЗ РАЗГРУЗКИ МАТЕРИАЛА

Институт проблем машиностроения Российской академии наук,  
Нижний Новгород

Описан метод, позволяющий получить распределение напряжений в материале конструкции в условиях эксплуатации. Метод основывается на совместном использовании результатов ультразвуковых и магнитных исследований: на анализе коэффициентов Пуассона и коэрцитивной силы. Приведен пример практического применения разработанного метода для определения остаточных напряжений в трубе газопровода из стали 09Г2С в полевых условиях.

*Ключевые слова:* контроль напряжений, коэффициенты Пуассона, коэрцитивная сила.

#### Введение

Определение напряженного состояния и прочности материала осуществляется в целях обеспечения надежности и безопасности машин и конструкций на всех стадиях их жизненного цикла. Высокая концентрация напряжений различного происхождения является одним из факторов, ограничивающих ресурс материала.

Для решения задач по оценке напряжений широкое распространение получили ультразвуковой и магнитный методы исследований, обладающие приемлемой точностью, высокой скоростью и простотой измерений, низкой стоимостью проведения работ, удобством использования в полевых условиях, безопасностью для обслуживающего персонала. Однако существующие методики и технические средства ультразвукового и магнитного контроля напряженного состояния требуют проведения измерений как в нагруженном, так и в свободном от напряжений материале, либо используют образцы-эталон. Разгрузка конструкции, как правило, экономически невыгодна, а, зачастую, невозможна ввиду условий работы. Использование образцов-эталон может приводить к большим ошибкам. В связи с этим, востребованы методы контроля напряжений, позволяющие получать информацию непосредственно на конструкциях в условиях эксплуатации. Задача определения напряжений непосредственно на нагруженной конструкции тесно переплетается с проблемой определения параметров, характеризующих начальное состояние материала. Решение этой задачи хотя бы в ряде частных случаев чрезвычайно важно для ответственных дорогостоящих объектов нефтегазовой промышленности, авиационной и космической техники, ядерной энергетики, непроектные нагрузки на которых могут вызвать их разрушение, материальные потери и человеческие жертвы.

Цель настоящей работы – разработка метода оценки напряжений по результатам ультразвуковых и магнитных исследований без разгрузки конструкции.

## Теоретическая часть.

## Разработка метода оценки напряжений без разгрузки конструкции

Ультразвуковой контроль напряжений основан на акустоупругом эффекте – зависимости скорости распространения упругой волны от напряженного состояния [1, 2]. Для плоских элементов конструкций с односторонним доступом измерение длины акустического пути представляет серьезную проблему, поэтому точность измерения скорости распространения ультразвука невысока. В качестве информативных параметров акустического метода контроля напряжений в таких случаях целесообразно использовать относительные величины, измеряемые через времена распространения объемных упругих волн различного типа. Например, можно определить коэффициенты Пуассона  $\nu_{31}$  и  $\nu_{32}$  материала:

$$\nu_{31} = \frac{0.5 - (V_1/V_3)^2}{1 - (V_1/V_3)^2} = \frac{0.5 - (t_3/t_1)^2}{1 - (t_3/t_1)^2}, \quad \nu_{32} = \frac{0.5 - (V_2/V_3)^2}{1 - (V_2/V_3)^2} = \frac{0.5 - (t_3/t_2)^2}{1 - (t_3/t_2)^2}, \quad (1)$$

где  $V_1, V_2$  – скорости поперечных волн, поляризованных вдоль соответствующих осей ортотропного материала;  $V_3$  – скорость продольной волны;  $t_1, t_2$  – времена распространения поперечных волн;  $t_3$  – время распространения продольной волны.

Коэффициент  $\nu_{31}$  характеризует величину деформации в направлении  $n_3$  от напряжения  $\sigma_1$ , коэффициент  $\nu_{32}$  – величину деформации в направлении  $n_3$  от напряжения  $\sigma_2$  [3]. Для изотропного материала  $\nu_{31} = \nu_{32}$ .

Из уравнений акустоупругости можно получить зависимости коэффициентов Пуассона  $\nu_{31}$  и  $\nu_{32}$  от напряжений. Для ортотропного материала в плоском напряженном состоянии получены следующие соотношения [4,5]:

$$\nu_{31} = \nu_{031} + m_{11}\sigma_1 + m_{12}\sigma_2, \quad \nu_{32} = \nu_{032} + m_{21}\sigma_1 + m_{22}\sigma_2. \quad (2)$$

где  $\sigma_1, \sigma_2$  – главные напряжения, действующие вдоль осей  $n_1$  и  $n_2$  ортотропного материала;  $\nu_{031}, \nu_{032}$  – значения коэффициентов Пуассона в материале без напряжений;  $m_{ij}$  – коэффициенты, выражаемые через упругие модули второго и третьего порядка.

Коэффициенты  $m_{ij}$  легко могут быть определены в результате акустомеханических испытаний образцов.

Для примера на рис. 1 представлены зависимости изменений коэффициентов Пуассона  $\nu_{31}$  и  $\nu_{32}$  от напряжения, полученные при одноосном растяжении плоского образца из стали 09Г2С.

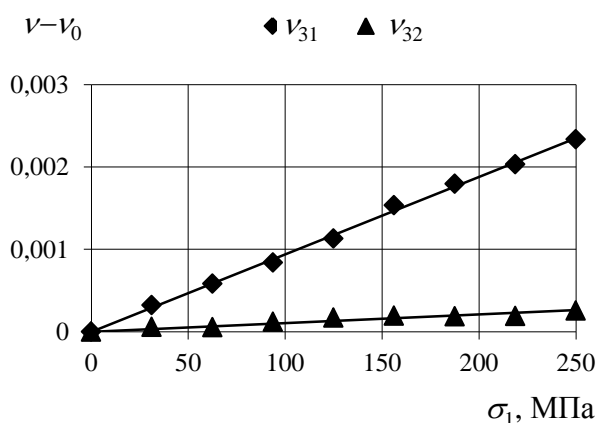


Рис. 1. Зависимости коэффициентов Пуассона от напряжения

Проведенные ультразвуковые исследования плоских образцов и элементов труб из листовых сталей 08пс, 15, 20, 09Г2С и 15Г2СФ [4,5] показали, что в отсутствии остаточных напряжений между коэффициентами Пуассона  $\nu_{031}$  и  $\nu_{032}$  существует линейная зависимость:

$$\nu_{032} = B\nu_{031} + Q, \quad (3)$$

где  $B, Q$  – коэффициенты.

Корреляционное поле коэффициентов Пуассона  $\{v_{031}; v_{032}\}$  для каждого исследованного плоского образца без напряжений близко к прямой (коэффициент корреляции более 0,9). В материале труб с остаточными напряжениями связи между коэффициентами Пуассона не прослеживается, но после разрезки труб и снятия остаточных напряжений наблюдается линейная зависимость между коэффициентами Пуассона.

Таким образом линейная зависимость между коэффициентами Пуассона  $v_{031}$  и  $v_{032}$  свидетельствует об отсутствии неоднородных напряжений. На основании полученных экспериментальных результатов предлагается использовать найденную зависимость между коэффициентами Пуассона  $v_{031}$  и  $v_{032}$  при оценке напряжений в конструкциях из листовой стали.

Из системы уравнений (2) с учетом зависимости (3) можно исключить  $v_{031}$  и  $v_{032}$ :

$$v_{32} - Bv_{31} - Q = (m_{21} - Bm_{11})\sigma_1 + (m_{22} - Bm_{12})\sigma_2 = c_1\sigma_1 + c_2\sigma_2. \quad (4)$$

Для оценки напряжений может быть использован параметр  $\delta v$ :

$$\delta v = v_{32} - Bv_{31} - Q. \quad (5)$$

Определение коэффициентов  $c_1$  и  $c_2$  для образцов из сталей 08пс, 15, 20, 15Г2СФ, 09Г2С показало, что они фактически равны по абсолютной величине даже для материала с существенной анизотропией и отличаются знаком. С учетом значений  $c_1$  и  $c_2$  из (4) и (5) можно получить формулу для оценки разности главных напряжений:

$$\sigma_2 - \sigma_1 = k_v \delta v, \quad (6)$$

где  $k_v$  – коэффициент. Значения коэффициента  $k_v$  для исследованных сталей лежат в диапазоне 200÷240 ГПа.

На рис. 2 показаны результаты ультразвуковых измерений коэффициентов Пуассона в материале сварной плиты из листовой стали 20 до и после снятия остаточных напряжений. Остаточные напряжения в нескольких точках измерялись с помощью тензорезисторов.

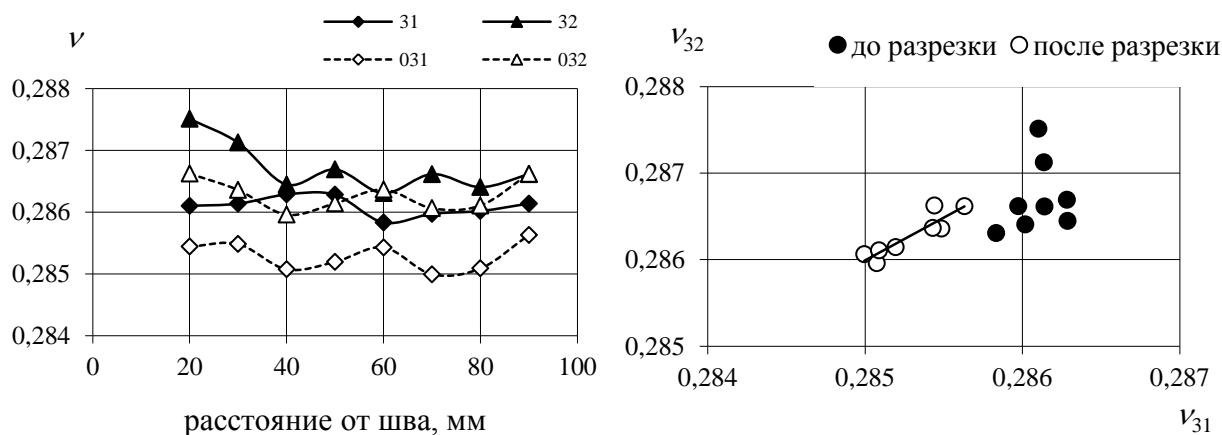


Рис. 2. Коэффициенты Пуассона в сварной плите из стали 20

Коэффициенты линейной зависимости (белые точки)  $B = 0,9898$  и  $Q = 0,0039$  были получены в результате регрессионного анализа. По формуле (5) были рассчитаны значения отклонения  $\delta v$  в каждой зоне. Затем с помощью соотношения (6) при  $k_v = 224 \pm 12$  ГПа определялась разность напряжений  $\sigma_2 - \sigma_1$ .

Результаты ультразвуковых и электротезометрических исследований находятся в хорошем соответствии (рис. 3). Таким образом, соотношение (6) может быть использовано для оценки напряжений в материале без разгрузки конструкции. При одностороннем доступе к плоскому элементу конструкции с помощью ультразвука можно определить разность главных напряжений  $\sigma_2 - \sigma_1$ , но для того чтобы получить значения  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$  в отдельности, нужны дополнительные исследования другими методами.



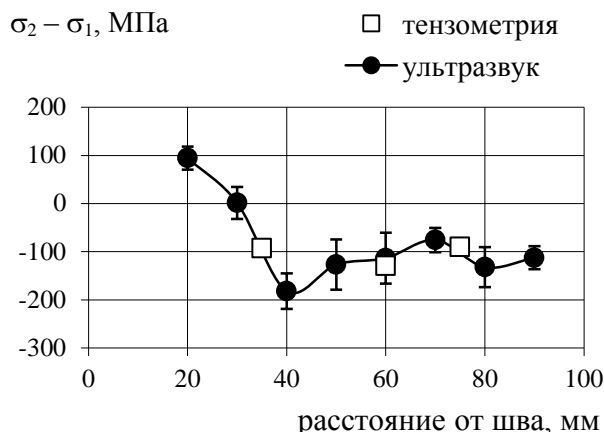


Рис. 3. Разность главных напряжений в зависимости от расстояния от сварного шва

Для определения напряженного состояния ферромагнитных материалов перспективным представляется использование магнитного индукционного метода, основанного на измерении коэрцитивной силы. Согласно теории процессов намагничивания и перемагничивания, величина коэрцитивной силы определяется факторами, задерживающими необратимое смещение границ между доменами, среди которых механические напряжения [6]. Аналитических зависимостей коэрцитивной силы от приложенных нагрузок не существует, для оценки напряжений используются эмпирические тарировочные зависимости [7, 8, 9].

Результаты проведенных магнитных исследований образцов и элементов конструкций из сталей 20, 09Г2С и 13Г1С-У позволяют предложить для описания зависимости коэрцитивной силы от напряжений следующие соотношения:

$$H_{C1}^{\sigma} = H_{C1}^0 + q_{11}\sigma_1 + q_{12}\sigma_2, \quad H_{C2}^{\sigma} = H_{C2}^0 + q_{21}\sigma_1 + q_{22}\sigma_2, \quad (7)$$

где  $H_{C1}$ ,  $H_{C2}$  – значения коэрцитивной силы при измерениях вдоль осей  $n_1$  и  $n_2$  ортотропного материала соответственно,  $q_{ij}$  – коэффициенты, значения которых зависят от вида напряженного состояния и от магнитных свойств материала. Уравнения (7) хорошо описывают наблюдаемые зависимости коэрцитивной силы от одно- и двухосных напряжений для сталей 20, 09Г2С и 13Г1С-У.

В результате регрессионного анализа экспериментальных зависимостей коэрцитивной силы от напряжений были получены коэффициенты  $q_{ij}$ .

Для стали 09Г2С в условиях одноосного растяжения:  $q_{11} = 0,0005 \pm 0,0002$ ,  $q_{21} = 0,0051 \pm 0,0002$ . Исследованный образец обладал выраженной анизотропией коэрцитивной силы:  $H_{C1}^0 = 4,0$  А/см,  $H_{C2}^0 = 4,6$  А/см.

Для стали 20 в условиях одноосного растяжения:  $q_{11} = -0,0011 \pm 0,0001$ ,  $q_{21} = 0,0016 \pm 0,0002$ . Исследованный образец не обладал анизотропией коэрцитивной силы:  $H_{C1}^0 = 2,45$  А/см,  $H_{C2}^0 = 2,45$  А/см.

Для стали 20 в условиях плоского напряженного состояния:  $q_{11} = -0,0065 \pm 0,0001$ ,  $q_{21} = 0,0015 \pm 0,0002$ ,  $q_{12} = 0,0007 \pm 0,0002$ ,  $q_{22} = 0,0094 \pm 0,0002$ . Исследованный образец не обладал анизотропией коэрцитивной силы:  $H_{C1}^0 = 2,3$  А/см,  $H_{C2}^0 = 2,3$  А/см.

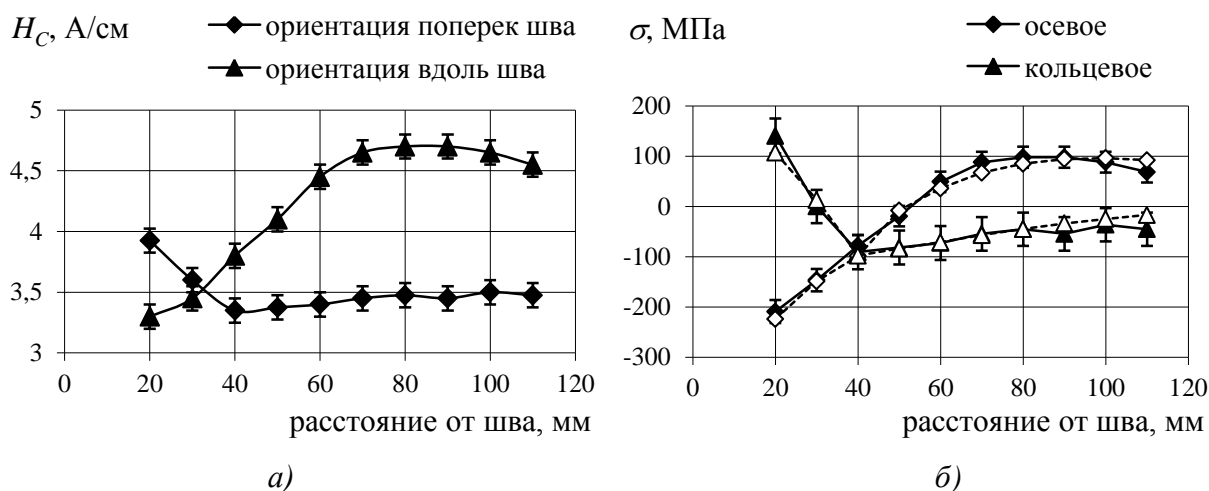
Для стали 13Г1С-У в условиях плоского напряженного состояния:  $q_{11} = -0,0002 \pm 0,0001$ ,  $q_{21} = 0,0046 \pm 0,0003$ ,  $q_{12} = 0,0025 \pm 0,0002$ ,  $q_{22} = 0,0002 \pm 0,0006$ . Исследованный элемент трубы обладал выраженной анизотропией коэрцитивной силы:  $H_{C1}^0 = 3,6$  А/см,  $H_{C2}^0 = 4,2$  А/см.

Анализ полученных результатов показал, что для трубных сталей 09Г2С и 13Г1С-У характерна анизотропия магнитных свойств: коэрцитивная сила, измеряемая в двух взаимно

перпендикулярных направлениях, отличается более чем на 15%, а  $q_{ii} \ll q_{ij}$ . Таким образом, для оценки напряжений в конструкциях из сталей 09Г2С, 13Г1С-У и подобных можно использовать следующие соотношения:

$$\sigma_1 = \frac{H_{C2}^\sigma - H_{C2}^0}{q_{21}}, \quad \sigma_2 = \frac{H_{C1}^\sigma - H_{C1}^0}{q_{12}}. \quad (8)$$

В качестве примера на рис. 4 представлены распределения величин  $H_{C1}^0$  и  $H_{C2}^0$  и распределения остаточных напряжений от кольцевого сварного шва в трубе из стали 13Г1С-У. Измерения коэрцитивной силы проводились с помощью магнитного структуроскопа КРМ-Ц-К2М с малогабаритным датчиком в направлении перпендикулярном кольцевому шву. Для оценки напряжений по данным измерений коэрцитивной силы использовались соотношения (8). Также проведен аналитический расчет остаточных напряжений от кольцевого сварного шва по формулам теории сварочных деформаций и напряжений [10]. Результаты расчета с использованием предложенного алгоритма и аналитического расчета находятся в хорошем соответствии (рис. 4).



**Рис. 4. Зависимость коэрцитивной силы от расстояния от шва (а),  
распределение остаточных напряжений (б):  
расчет по данным измерений коэрцитивной силы – черные точки,  
аналитический расчет – белые точки**

Чтобы оценить напряжения с помощью (8), необходимо знать значения  $H_{C1}^0$  и  $H_{C2}^0$ . Для определения  $H_{C1}^0$  и  $H_{C2}^0$  требуется либо разгрузить конструкцию, либо найти участки без напряжений. Разгрузка конструкции не всегда возможна ввиду условий работы и, как правило, сопряжена с существенными экономическими потерями. В связи с этим, целесообразно применить дополнительные исследования, чтобы определить участки материала, свободные от напряжений. Эта задача решается путем ультразвуковых измерений и последующего анализа коэффициентов Пуассона  $\nu_{31}$  и  $\nu_{32}$ .

Таким образом, используя результаты магнитных и ультразвуковых исследований, можно получить распределение напряжений в материале без разгрузки конструкции. Алгоритм действий выглядит следующим образом. Ультразвуковым эхо-методом измеряются коэффициенты Пуассона  $\nu_{31}$  и  $\nu_{32}$  на участке, где требуется получить распределение напряжений. В тех же зонах измеряются величины  $H_{C1}$  и  $H_{C2}$ . Затем анализируется корреляционное поле коэффициентов Пуассона  $\{\nu_{31}; \nu_{32}\}$ , выделяются участки, где влияние напряжений минимально ( $\sigma_1 \approx 0$ ;  $\sigma_2 \approx 0$ ). В этих зонах наблюдается линейная зависимость между коэффици-

ентами Пуассона (3). Коэффициенты  $B$  и  $Q$  определяются в результате регрессионного анализа данных методом наименьших квадратов.

Для остальных зон по формуле (5) вычисляется отклонение  $\delta v^i$  и по формуле (6) оценивается разность напряжений  $\sigma_2 - \sigma_1$ . Далее определяются значения  $H_{C1}^0$  и  $H_{C2}^0$ , соответствующие ненагруженным областям материала, и с помощью (8) рассчитываются напряжения  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$ . Затем значения разности напряжений, полученные в результате ультразвуковых и магнитных исследований, сравниваются между собой.

### Объект исследования и методика измерений

Апробация разработанного метода проводилась в полевых условиях. Объект исследований – участок трубы магистрального газопровода вблизи соединения кольцевого и продольного сварных швов. Диаметр трубы – 1420 мм, толщина стенки трубы – 16 мм, материал – сталь 09Г2С. Давление в трубе отсутствовало. Ультразвуковые и магнитные измерения проводились вблизи стыка кольцевого и продольного сварных швов согласно схеме на рис. 5. Всего исследовались 19 зон, шириной 10 мм каждая. В сварном шве исследования не проводились.



Рис. 5. Схема измерений

Ультразвуковые исследования проводились с помощью установки АИП, разработанной в ИПМ РАН. Время распространения упругих волн измерялось импульсным эхо-методом с помощью пьезоэлектрических преобразователей продольных и поперечных упругих волн V110 и V156 Panametrics. Диаметр преобразователей – 6 мм, частота – 5 МГц. Для обеспечения ввода упругих волн в материал поверхность в месте установки преобразователя шлифовалась и обезжиривалась спиртом. В качестве контактной жидкости использовалась эпоксидная смола без отвердителя. Измерения в каждой зоне повторялись 12 раз. Исследования проводились при комнатной температуре.

Для получения амплитудно-временной диаграммы серии отраженных импульсов использовался цифровой осциллограф PCS500 Velleman. Полученные данные обрабатывались в программе MathCad. Время распространения упругих волн измеряли между первым и четвертым отраженными импульсами. Погрешность измерения времени на базе 20 мкс для поперечных волн и на базе 10 мкс – для продольных волн составляла 1÷3 нс. Максимальная относительная погрешность измерения времени распространения упругих волн составляла 0,02% для поперечных волн и 0,04% – для продольных волн.

Значения коэффициентов Пуассона  $\nu_{31}$  и  $\nu_{32}$  рассчитывались через времена распространения упругих волн по формулам (1). Абсолютная погрешность определения коэффициентов Пуассона не превышала  $3 \cdot 10^{-4}$ , относительная погрешность не превышала 0,1%. Погрешности рассчитывались по следующей формуле:

$$\Delta v_{3i} = \frac{t_i^2 t_3^2}{(t_i^2 - t_3^2)^2} \sqrt{\varepsilon_{t_1}^2 + \varepsilon_{t_2}^2}, \quad (9)$$

где  $i = 1, 2$  – индекс;  $\varepsilon_i$  – относительная погрешность измерения времени распространения упругих волн.

Измерения коэрцитивной силы проводились с помощью магнитного структуроскопа КРМ-Ц-К2М. В приборе реализован компенсационный метод измерения. Фиксируемое значение тока размагничивания пропорционально коэрцитивной силе контролируемого участка изделия. Значение тока подается на вход АЦП, цифровая индикация производится в А/см. Погрешность прибора при комнатной температуре составляет  $(0,025/H_C + 0,03)$  А/см. При проведении исследований использовался малогабаритный приставной датчик. Расстояние между полюсами – 10 мм. Определялись показания коэрцитиметра в четырех направлениях:  $H_C^{0^\circ}$ ,  $H_C^{90^\circ}$ ,  $H_C^{180^\circ}$  и  $H_C^{270^\circ}$ , где верхний индекс обозначает угол, под которым ориентировался датчик по отношению к выбранному внешнему направлению. Абсолютная погрешность измерения коэрцитивной силы не превышала 0,1 А/см.

В качестве информативных параметров вычислялись средние значения показаний прибора вдоль и поперек заданного внешнего направления:

$$H_{C1} = \frac{1}{2}(H_C^{0^\circ} + H_C^{180^\circ}), \quad H_{C2} = \frac{1}{2}(H_C^{90^\circ} + H_C^{270^\circ}). \quad (10)$$

Погрешности оценивались по следующим формулам:

$$\Delta H_{C1} = \frac{1}{2} \sqrt{(\Delta H_C^{0^\circ})^2 + (\Delta H_C^{180^\circ})^2}, \quad \Delta H_{C2} = \frac{1}{2} \sqrt{(\Delta H_C^{90^\circ})^2 + (\Delta H_C^{270^\circ})^2}. \quad (11)$$

### Экспериментальная часть.

#### Апробация метода оценки напряжений без разгрузки конструкции

В результате ультразвуковых исследований были получены распределения коэффициентов Пуассона  $\nu_{31}$  и  $\nu_{32}$  вдоль оси трубы (рис. 6, а). На рис. 6, б представлено корреляционное поле  $\{\nu_{31}; \nu_{32}\}$ . Значения коэффициентов Пуассона определяются особенностями структуры материала и влиянием остаточных напряжений. На рис. 6 белые точки соответствуют зонам, в которых отсутствуют напряжения.

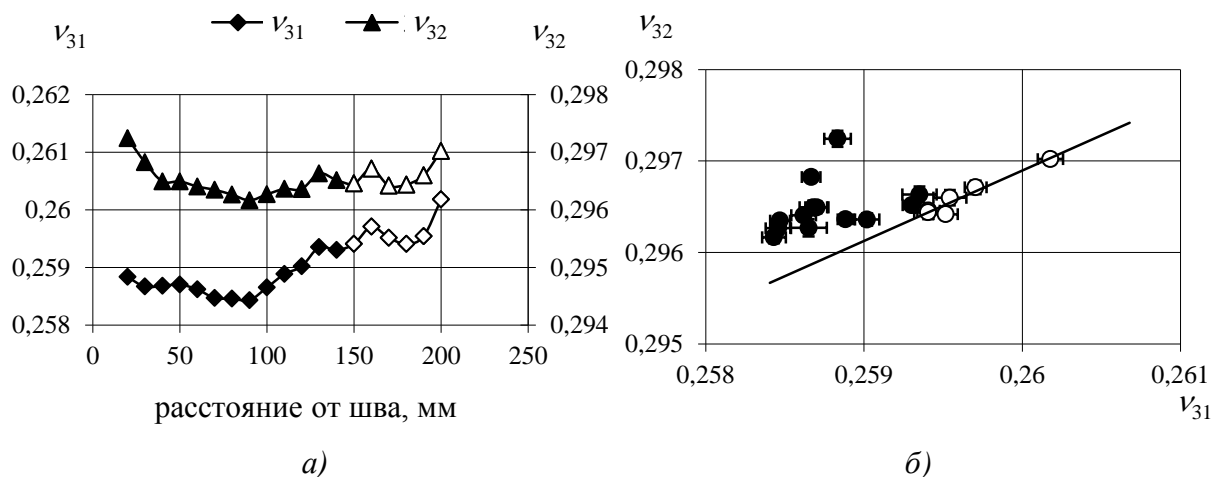


Рис. 6. Коэффициенты Пуассона в трубе из стали 09Г2С

В результате регрессионного анализа были получены коэффициенты линейной зависимости, показанной на рис. 6, б:  $B = 0.7701$ ,  $Q = 0.0967$ . Далее для каждой зоны по формуле (5) рассчитывался параметр  $\delta v$ . Значение разности главных напряжений  $\sigma_2 - \sigma_1$  в каждой зоне оценили по формуле (6) при  $k_v = 210 \pm 14$  ГПа. Погрешности вычислили, используя следующее соотношение:

$$\Delta(\sigma_2 - \sigma_1) = \sqrt{(k_v \Delta \delta v)^2 + (\delta v \Delta k_v)^2}, \quad (12)$$

где  $\Delta \delta v$ ;  $\Delta k_v$  – погрешности определения параметра  $\delta v$  и коэффициента  $k_v$ .

Наибольшая абсолютная погрешность составила 34 МПа при значении разности напряжений 262 МПа. Измеренные с помощью ультразвука напряжения являются средними по толщине материала.

Для получения распределения напряжений  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$  были проведены измерения коэрцитивной силы. Распределения средних показаний коэрцитиметра при ориентации датчика вдоль и поперек оси трубы представлены на рис. 7, а.

Так как по данным ультразвуковых исследований, на расстоянии 150÷200 мм от сварного шва остаточные напряжения отсутствуют, в этих зонах были определены значения  $H_{C1}^0 = 3,3 \pm 0,1$  и  $H_{C2}^0 = 3,8 \pm 0,1$ . Далее по формулам (8) при  $q_{21} = 0,0051 \pm 0,0002$ ,  $q_{12} = 0,0027 \pm 0,0003$  были рассчитаны напряжения  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$ . Полученные распределения напряжений представлены на рис. 7, б.

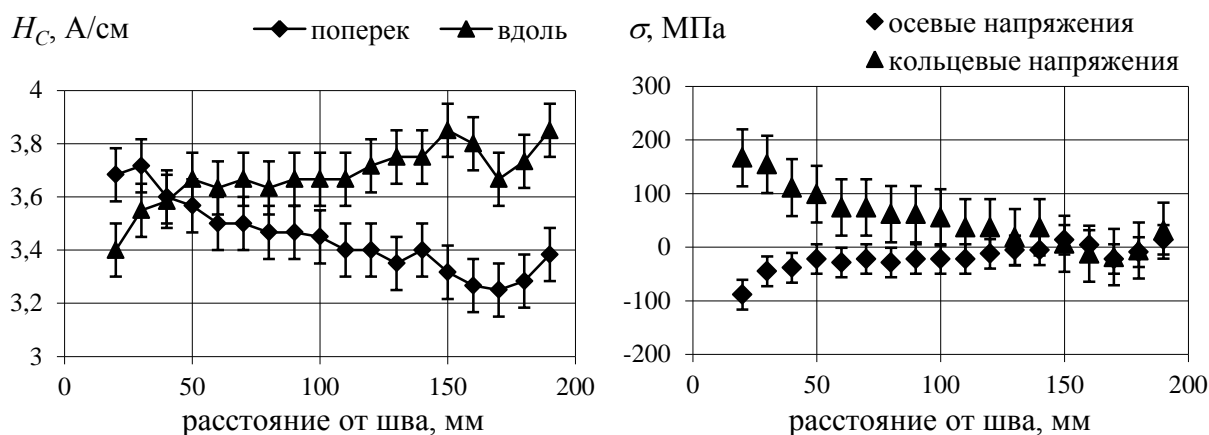


Рис. 7. Распределение коэрцитивной силы (а), распределение остаточных напряжений (б)

Погрешность определения напряжений по данным измерений коэрцитивной силы оценили, используя следующее соотношение:

$$\Delta \sigma_i = \sqrt{\left(\frac{\Delta H_{Cj}}{q_{ji}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H_{Cj}^0}{q_{ji}}\right)^2 + \left(\frac{H_{Cj} - H_{Cj}^0}{q_{ji}^2} \Delta q_{ji}\right)^2}, \quad (13)$$

где  $\Delta H_C$  – погрешность измерения коэрцитивной силы;  $\Delta q$  – погрешность определения коэффициента  $q$ .

Для осевых напряжений погрешность составила 28 МПа, для кольцевых – 53 МПа. Предел текучести стали 09Г2С – 343 МПа.

На рис. 8 для сравнения приведены зависимости разности напряжений  $\sigma_2 - \sigma_1$  от расстояния от сварного шва, полученные в результате ультразвуковых и магнитных исследований. Наблюдается хорошее совпадение кривых, полученных обоими методами.

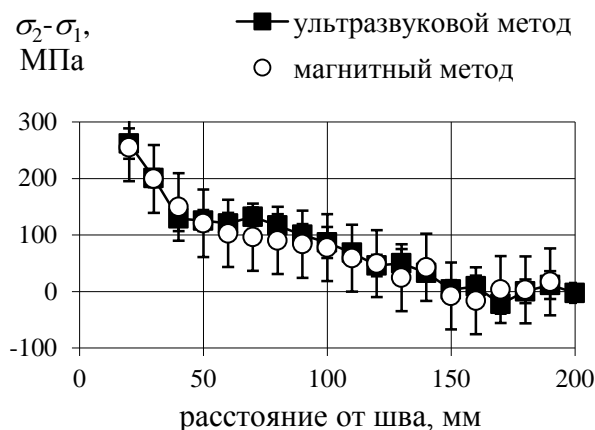


Рис. 8. Распределения разности остаточных напряжений в трубе из стали 09Г2С, полученные в результате ультразвуковых и магнитных исследований

### Выводы

Разработан метод определения неоднородных напряжений без разгрузки конструкции, основанный на совместном использовании результатов ультразвуковых и магнитных исследований: на анализе коэффициентов Пуассона и коэрцитивной силы материала. Разработанный метод пригоден для оценки остаточных напряжений в элементах конструкций, выполненных из магнитных листовых сталей 09Г2С, 13Г1С-У и других, обладающих выраженной анизотропией коэрцитивной силы и неоднородностью распределения упругих свойств.

Для осуществления измерений не требуется разгрузки материала, то есть предложенный метод позволяет проводить контроль напряженного состояния в условиях эксплуатации конструкции. Разработанный метод удовлетворяет общим требованиям контроля напряженного состояния объектов промышленности и транспорта, регламентированных ГОСТ Р 52330-2005 [11]. Проведена апробация разработанного метода определения напряжений в полевых условиях на трубе газопровода из стали 09Г2С.

### Библиографический список

1. **Chatellier J.-Y., Touratier M.** A new method for determining acoustoelastic constants and plane stresses in textured thin plates // J. Acoust. Soc. Am. 1988. V. 83. №1. P. 109–117.
2. **Allen D.R., Sayers C.M.** The Measurement of Residual Stress in Textured Steel Using an Ultrasonic Velocity Combinations Technique // Ultrasonics. 1984. V. 22. P. 179–188.
3. **Теребушко О.И.** Основы теории упругости и пластичности / О.И. Теребушко. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1984. – 320 с.
4. **Курашкин, К.В.** Метод ультразвукового контроля остаточных напряжений на основе измерений коэффициентов Пуассона / К.В. Курашкин, В.В. Мишакин // Контроль. Диагностика. 2013. №6. С. 14–18.
5. **Курашкин, К.В.** Оценка остаточных напряжений в сварных соединениях с помощью ультразвука / К.В. Курашкин, В.В. Мишакин // Заводская лаборатория. 2013. №4. С. 54–58.
6. **Бида, Г.В.** Коэрцитиметрия в неразрушающем контроле / Г.В. Бида, А.П. Ничипурук // Дефектоскопия. 2000. №10. С. 3–28.
7. **Горкунов, Э.С.** Влияние магнитоупругого эффекта на гистерезисные свойства среднеуглеродистой стали при одноосном нагружении / Э.С. Горкунов [и др.] // Дефектоскопия. 2010. №9. С. 17–25.

8. **Бердник, М.М.** Исследование влияния плоского напряженного состояния на изменение магнитных характеристик трубных сталей / М.М. Бердник, Ю.В. Александров, Р.В. Агинец // Наука в нефтяной и газовой промышленности. 2010. № 3. С. 2–6.
9. **Агинец, Р.В.** Оценка напряженного состояния стальных трубопроводов по анизотропии магнитных свойств металла / Р.В. Агинец, А.С. Теплинский, Ю.А. Кузьбожев // Контроль. Диагностика. 2004. №8. С. 22–24.
10. **Винокуров, В.А.** Теория сварочных деформаций и напряжений / В.А. Винокуров, А.Г. Григорьянц. – М.: Машиностроение, 1984. – 280 с.
11. ГОСТ Р 52330-2005. Контроль неразрушающий. Контроль напряженно-деформированного состояния объектов промышленности и транспорта. Общие требования. – Введ. 2005–19–04. – М.: Стандартиформ, 2005. – 7 с.

*Дата поступления  
в редакцию 13.09.2013*

**K.V. Kurashkin, V.V. Mishakin**

## **USE OF RESULTS OF ULTRASONIC AND MAGNETIC INVESTIGATIONS FOR EVALUATION OF STRESSES WITHOUT UNLOADING THE MATERIAL**

Institute problems of mechanical engineering  
the Russian academy of science

The article describes the method, which allows to obtain the distribution of stresses in the material of construction under service conditions. The method is based on the combined use of ultrasonic and magnetic investigations: on the analysis of Poisson's ratios and coercive force.

An example of the practical application of the developed method for the evaluation of residual stresses in the pipe from steel 09G2C in the field is presented.

*Key words:* determining of stresses, Poisson's ratios, coercive force.

УДК 621.789

Д.Ю. Магин, С.В. Костромин

**ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ВЫСОКОПРОЧНОЙ ТЕПЛОСТОЙКОЙ СТАЛИ ПОСЛЕ ОБЪЕМНОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ И ЛАЗЕРНОГО ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Рассмотрены структура и свойства высокопрочной теплостойкой стали 20ХЗНЗМФБА после нормализации, высокого отпуска и дополнительного лазерного упрочнения. Установлено, что лазерная закалка позволяет получить поверхностный слой толщиной 0,38 мм с микротвердостью до 7300 МПа. Предлагаемая технология может быть использована в производстве зубчатых колёс малого диаметра.

*Ключевые слова:* легированная сталь, цементация, лазерное упрочнение, зубчатые колеса.

Одной из главных задач современного машиностроения является повышение долговечности и надежности деталей машин. Ресурс работы многих высоконагруженных деталей в значительной степени определяется усталостной прочностью, а также способностью сопряженных пар трения сопротивляться изнашиванию. Достижения современной науки и техники позволяют решать эти проблемы путём создания материалов с заданными структурой и свойствами за счёт традиционной термообработки и новых эффективных способов упрочнения. На сегодняшний день распространенными способами упрочнения высоконагруженных деталей машин, таких как зубчатые колеса, являются [1]:

- объёмная закалка;
- закалка токами высокой частоты;
- химико-термическая обработка (цементация, нитроцементация, азотирование).

Цементацию применяют в технологии изготовления зубчатых колёс небольших размеров, при этом твёрдость поверхностного слоя должна составлять 56-60HRC, а толщина цементованного слоя – 0,1-0,15 от толщины зуба [1]. Показано [2, 3], что использование лазерного излучения для упрочнения и легирования поверхности конструкционных инструментальных сталей позволяет получить сходные толщины модифицированных слоёв при большей твёрдости. Подобная обработка обеспечивает получение заданных технических условий, но имеет ряд недостатков. Прежде всего это длительность процесса цементации, а также то, что цементованные зубчатые колеса из традиционных сталей не могут эксплуатироваться при температурах, превышающих температуру низкого отпуска [4].

В настоящее время разработаны и внедрены в промышленность технические условия ТУ 0958-011-08627614-95 «Поковки, прокат крупного сечения»; блюмы (болванки обжатые), заготовки квадратные из высокопрочной стали марки 20ХЗНЗМФБ для тяжело нагруженных улучшаемых, азотируемых, цементуемых деталей, производящихся на ОАО «НМЗ». В условиях Нижегородского машиностроительного завода сталь используется для производства зубчатых колёс, применяемых в угольных комбайнах. Традиционная технология термообработки этих изделий включает в себя нормализацию, высокий отпуск, цементацию, закалку и низкий отпуск.

В настоящей работе изучалось влияние различных режимов лазерной обработки на структуру и свойства стали 20ХЗНЗМФБА и возможность замены цементации зубчатых колёс лазерным упрочнением.

Взаимодействие лазерного излучения с материалом сопровождается нагревом поверхностных слоев и в случае необходимости – расплавлением их. При этом наблюдается слож-



ный комплекс фазовых превращений, в результате которых на поверхности изделий образуются закаленные зоны, слабо травящиеся обычными травителями.

Эффект упрочнения сталей при лазерном воздействии достигается не только мартенситным превращением, но и достижением оптимального сочетания насыщенности твердых растворов углеродом и легирующими элементами с их неоднородностью, возникающей при частичном растворении исходных карбидов, повышением плотности дефектов кристаллического строения и, в том числе, пластическими сдвигами, происходящими в условиях мощного теплового импульса.

Таким образом, воздействие лазерного излучения на материалы представляет собой уникальный способ изменения субмикроструктуры. Облученные зоны на поверхности стальных образцов имеют гетерогенное строение вследствие неравномерного распределения энергии по сечению лазерного пучка, режима облучения, химического состава и структуры исходного металла, поэтому определенный интерес представляет изучение строения обработанных слоев, поскольку указанная гетерогенность может повлиять на показатели износостойкости и прочности облученных изделий.

Малоуглеродистые легированные стали, применяемые в конструкциях, должны обеспечивать необходимые показатели прочности, пластичности, усталостной прочности, ударной вязкости и твердости по всему сечению детали.

В качестве образцов для исследования были использованы заготовки из стали 20ХЗНЗМФБА после объемной термической обработки: нормализации с высоким отпуском. Микроструктура стали - сорбит отпуска с небольшим количеством дисперсных карбидов.

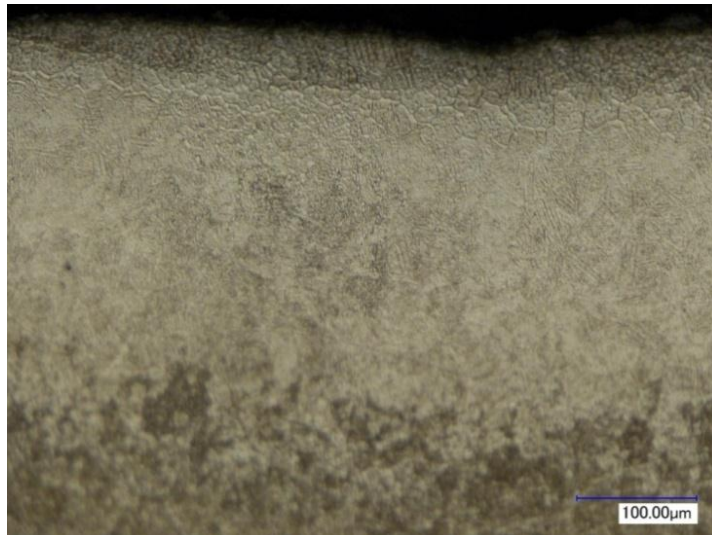
Лазерное упрочнение проводилось на установке «Латус-31». Мощность излучения лазера составляла 1100 Вт, диаметр пятна – 3 мм. Варьируемый параметр в исследовании – скорость обработки. Она составила 7, 14,21, 28 мм/с.



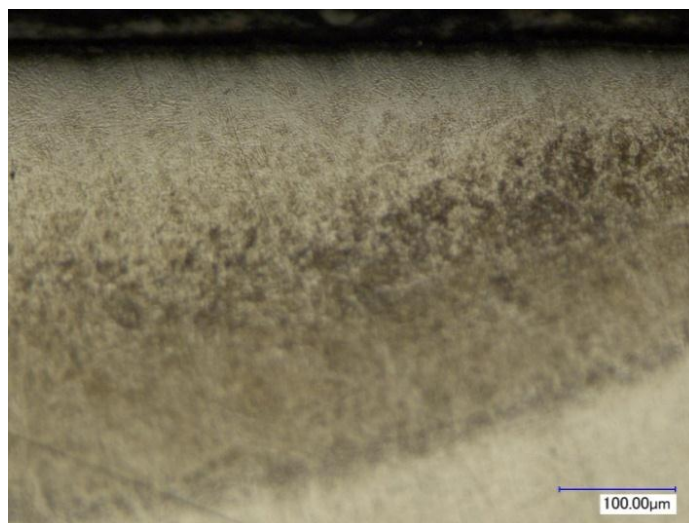
**Рис. 1. Микроструктура образца из стали 20ХЗНЗМФБА после объемной термической обработки, x500**

Сталь относится к мартенситному классу, так как она содержит большее количество легирующих элементов 9% и 0,2% углерода. В присутствии никеля, даже при общем количестве легирующих элементов не более 5%, сталь 20ХЗНЗМФБА относится к мартенситному классу. С-образные кривые диаграммы изотермического превращения аустенита этой стали сдвинуты вправо, поэтому охлаждение на воздухе приводит к переохлаждению аустенита до температур мартенситного превращения. После высокого отпуска образуется сорбит отпуска

с выделением дисперсных карбидов, повышающих твёрдость и износостойкость стали. Ванадий и ниобий, содержащиеся в стали 20Х3Н3МФБА, способствуют увеличению теплоустойчивости закалённой структуры по сравнению с традиционными цементуемыми сталями. Структура стали после объёмной термообработки приведена на рис. 1.



**Рис. 2.** Микроструктура образца из стали 20Х3Н3МФБА после лазерного упрочнения при  $d = 3$  мм,  $v=7$  мм/с,  $P=1100$  Вт,  $\times 500$



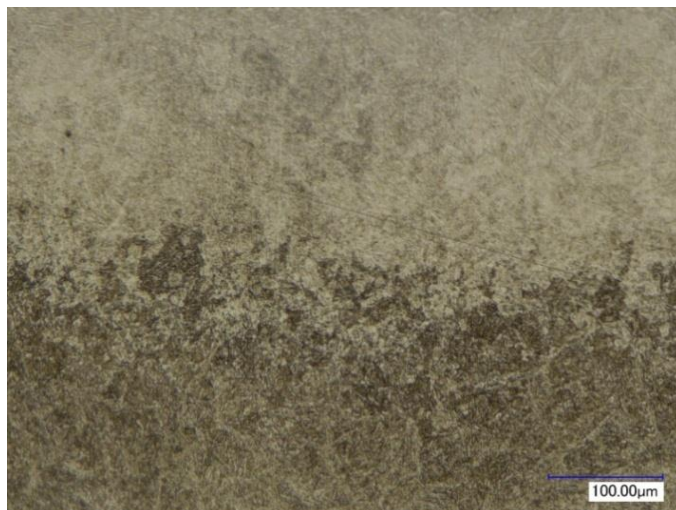
**Рис. 3.** Микроструктура образца из стали 20Х3Н3МФБА после лазерного упрочнения при  $d=3$  мм,  $v = 14$  мм/с,  $P=1100$  Вт,  $\times 500$

После лазерной закалки при скоростях 7, 14, 21 и 28 мм/с с выходной мощностью  $P = 1100$  Вт и диаметром луча 3 мм образцы стали 20Х3Н3МФБА имеют несколько зон лазерного воздействия, микроструктура и микротвёрдость каждой из которых в различной степени отличается от исходной.

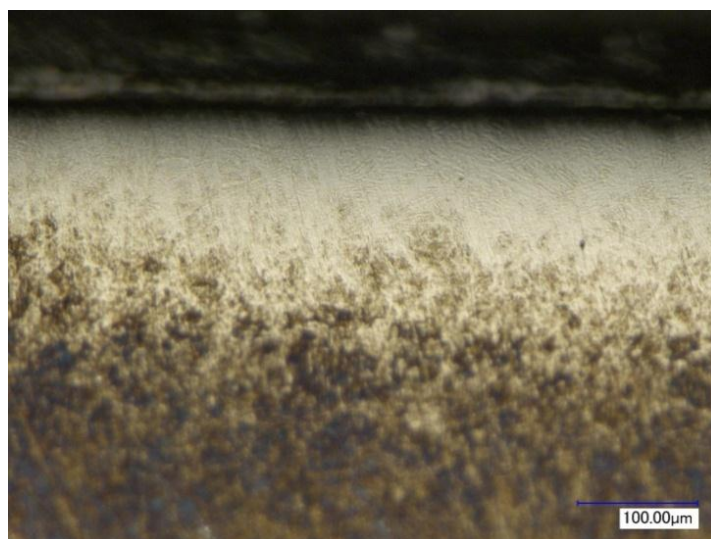
На поверхности расположена зона закалки из жидкой фазы, имеющая ярко выраженное дендритное строение; дендриты растут в направлении, обратном отводу тепла. Структура этой зоны представляет собой мартенсит. Ниже лежит зона закалки из твердой фазы, имеющая неоднородное строение. Непосредственно у зоны оплавления структура состоит из

мартенсита, а нижняя часть зоны имеет структуру мартенсит + тростит. Это связано с неоднородностью аустенита, полученного на этапе лазерного нагрева, в результате чего концентрация углерода в объеме аустенитного зерна становится неодинаковой. Переходная зона, представляющая собой в обычных среднеуглеродистых сталях спектр структур отпуска, не выявляется по причине того, что сталь 20Х3Н3МФБА является теплостойкой.

Микроструктуры всех четырех режимов лазерного упрочнения представлены на рис. 2 – рис. 5.



**Рис. 4.** Микроструктура образца из стали 20Х3Н3МФБА после лазерного упрочнения при  $d = 3$  мм,  $v = 21$  мм/с,  $P=1100$  Вт,  $\times 500$

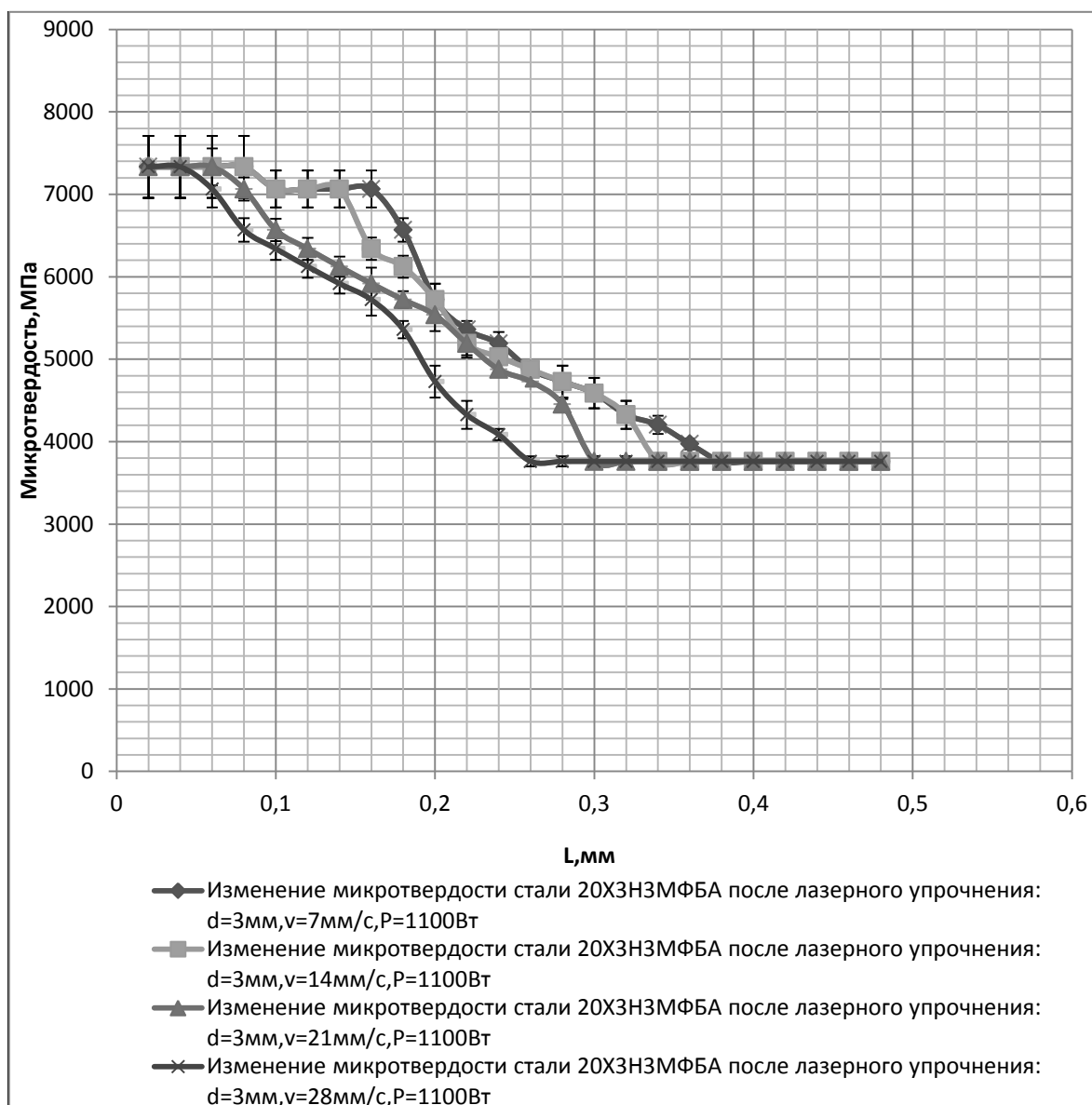


**Рис. 5.** Микроструктура образца из стали 20Х3Н3МФБА после лазерного упрочнения при  $d=3$  мм,  $v = 28$  мм/с,  $P=1100$  Вт,  $\times 500$

Микротвердость зон лазерного воздействия колеблется от 3970 до 7333 МПа, достигая максимума на поверхности упрочненного слоя.

Глубина упрочнения зависит от скорости перемещения лазерного луча и составляет 0,26, 0,30, 0,34 и 0,38 мм для скоростей 28, 21, 14 и 7 мм/с соответственно.

Влияние режимов лазерной обработки на микротвердость и глубину упрочненного слоя стали 20Х3Н3МФБА показано на рис. 6.



**Рис. 6. Влияние режимов лазерной обработки на микротвердость и глубину упроченного слоя стали 20Х3Н3МФБА**

### Выводы

1. Лазерная закалка стали 20Х3Н3МФБА приводит к образованию упроченного слоя, микротвердость которого превышает твердость стали после объемной термообработки.
2. Структура зон лазерного воздействия представляет собой мартенсит или мартенсит с трооститом.
3. При одинаковой мощности глубина зоны лазерного воздействия тем больше, чем меньше скорость обработки.
4. Оптимальный режим лазерного упрочнения достигается при  $d = 3$  мм,  $v = 7$  мм/с,  $P = 1100$  Вт, что позволяет получить на образцах из стали 20Х3Н3МФБА упроченный слой с микротвердостью до 7333 МПа максимальной глубины (0,38 мм) с более равномерным распределением твердости по глубине ванны по сравнению с другими режимами.
5. Предложенная технология лазерного упрочнения зубчатых колес в ряде случаев может заменить цементацию, при этом значительно сокращается продолжительность термической обработки.

## Библиографический список

1. **Куклин, Н.Г.** Детали машин / Н.Г. Куклин, Г.С. Куклина, В.К. Житков. – М.: Высш. шк., 2008. – 406 с.
2. **Костромин, С.В.** Лазерное легирование среднеуглеродистой конструкционной стали с использованием нанопорошковых обмазок / С.В. Костромин, Е.С. Беляев // Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производств, технология и надёжность машин, приборов и оборудования: материалы 8-й Международной научно-технической конференции. – Вологда: Изд-во ВоГТУ, 2013. С. 108–112.
3. **Костромин, С.В.** Влияние исходной структуры стали на несущую способность поверхностных слоев после лазерной обработки // Современные направления теоретических и прикладных исследований '2013: сб. научных трудов SWorld: материалы Международной научно-практической конференции. Вып. 1. Т. 6. – Одесса: КУПРИЕНКО, 2013. – ЦИТ 113-0664. – С. 37–40.
4. **Пряничников, В.А.** Разработка и внедрение высокопрочной теплостойкой стали для азотируемых и цементуемых высоконагруженных деталей машин: дисс. ... канд. техн. наук. Н. Новгород, 2009. – 103 с.

*Дата поступления  
в редакцию 13.10.2013*

**D.U. Magin, S.V. Kostromin**

**INVESTIGATION OF STRUCTURE AND PROPERTIES OF HIGH HEAT RESISTANT  
STEEL AFTER HEAT TREATMENT AND LASER SURFACE HARDENING**

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

**Purpose:** The purpose of the paper is to investigate the structure and properties of high-strength heat-resistant steel after normalization, high-temperature tempering and additional laser hardening.

**Design/methodology/approach:** The article proposes laser processing samples in a range of guaranteed hardening at moving the beam as a varied parameter.

**Findings:** In the result of the research we found the use of laser hardening of gears instead of cementation.

**Research limitations/implications:** The size of the article doesn't allow to present detailed results of the research strength of gears, hardened by the proposed technology.

**Originality/value:** Results presented in this paper can be used in the manufacture of automotive parts, aircraft, machines and mechanisms.

*Key words:* stainless steel, carburizing, hardening of the laser, the gears.

## ЭКОНОМИКА, ИННОВАЦИИ И МЕНЕДЖМЕНТ

---

УДК 331

Г.А. Мкртычян, Е.Е. Войлокова

### ОПЫТ ПОСТРОЕНИЯ КЛАССИФИКАЦИИ ПРИЧИН СОПРОТИВЛЕНИЯ ОРГАНИЗАЦИОННЫМ ИЗМЕНЕНИЯМ

НИУ Высшая школа экономики

**Цель:** Разработать и апробировать классификацию причин сопротивления организационным изменениям.

**Методология:** Понимание сопротивления организационным изменениям как одной из форм организационного поведения и системный анализ причин сопротивления на трех уровнях: индивидуальном, групповом и организационном.

**Результаты и область их применения:** Результатом исследования является трехуровневая классификация причин сопротивления организационным изменениям. Область применения: диагностика и управление сопротивлением организационным изменениям.

**Выводы:** Апробация классификации на HR-менеджерах свидетельствует о ее хорошем диагностическом потенциале: она позволяет дифференцированно, на каждом из трех уровней, оценить состав и иерархию причин сопротивления изменениям.

*Ключевые слова:* классификация причин сопротивления организационным изменениям; индивидуальные, групповые и организационные причины сопротивления изменениям.

Значение организационных изменений для развития бизнес-компаний в современных условиях трудно переоценить. Основными направлениями плановых изменений обычно выступают: внедрение новых технологий, создание нового продукта, совершенствование структуры компании, нововведения в системе мотивации и стимулирования, изменения в корпоративной культуре и стиле управления, изменения в кадровой политике. Поскольку эти направления тесно взаимосвязаны, чаще всего, они существуют в той или иной комбинации, образуя целостный комплекс изменений. Умение менеджера грамотно планировать и последовательно реализовывать плановые изменения позволяют бизнес-компаниям своевременно адаптироваться к постоянно меняющейся среде и быть успешной в конкурентной борьбе.

По примерным оценкам, около 70% всех проведенных организационных изменений терпят неудачу [24]. Большинство исследователей связывают эти неудачи прежде всего с человеческим фактором, поскольку «сознание и поведение сотрудников компании изменить гораздо сложнее, чем технологии, оборудование или организационную структуру» [2, с. 26]. Иными словами, сопротивление персонала изменениям рассматривается как одна из основных проблем развивающейся организации [15]. В литературе по менеджменту существуют различные подходы к пониманию феномена сопротивления организационным изменениям: сопротивление как девиантное поведение людей, сопротивление как естественная и неизбежная реакция людей, сопротивление как явление, позитивно влияющее на процесс проведения изменений и организацию в целом [21]. В общем виде сопротивление изменениям можно рассматривать как комплексный феномен, включающий в себя как психологические механизмы и обусловленность, так и поведенческие признаки, определяющие направленность сопротивлений.

Точная диагностика и успешное преодоление сопротивления персонала организационным изменениям должны опираться на научно обоснованную классификацию причин со-

противления изменениям. Однако анализ специальной литературы показывает, что многие авторы уходят от решения проблемы классификации и предлагают использовать несистематизированные перечни причин (барьеров) сопротивления изменениям. Например, один из классиков современного менеджмента Р. Дафт [7] предлагает следующий перечень причин сопротивления изменениям: собственная выгода, недостаток понимания и доверия, неопределенность, различные оценки и цели. Другой известный специалист в сфере управления человеческими ресурсами М. Армстронг [3] выделяет в качестве барьеров сопротивления: шок от нового, экономические страхи, неудобства, символические страхи, угроза межличностным отношениям, угроза статусу или квалификации, страхи компетентности.

В работе J. Gonçalves, R. Gonçalves основными источниками сопротивления изменениям рассматриваются: боязнь неизвестного, боязнь нового, боязнь потери власти, незнание получаемых преимуществ и/или недостатков, которые решают изменения, а также незнание изменений, которые возникают внутри компании и во внешней среде [19]. Еще один вариант перечня причин сопротивления изменениям дан в работе F. Okumus и N. Hemmington: высокая стоимость изменений, финансовые трудности, временные лимиты, другие приоритеты в бизнесе, технические трудности, страх незащищенности, потеря чего-то ценного, недостаток навыков и ресурсов, неблагоприятный опыт, привычка к текущему состоянию дел, устойчивая организационная культура, внутренняя политика, сильные профсоюзы и правительственное вмешательство [16].

Список подобных перечней можно легко продолжить. Их сравнение показывает, что, несмотря на отдельные совпадения, они отличаются друг от друга как количеством, так и составом выделяемых причин. Очевидно, что предлагаемые перечни отражают авторское видение причин сопротивления изменениям и вряд ли могут быть положены в основу строгой диагностики и технологий преодоления сопротивления персонала.

Наряду с этим, в научной литературе существуют и отдельные попытки систематизации причин сопротивления организационным изменениям. Так, Р.Г. Бухбиндер [4] выделяет следующие группы факторов сопротивления персонала изменениям:

- *психологические* – личностные качества человека, жизненный опыт и связанные с ним ожидания от перемен, неясность сути изменения, процессы, связанные с возрастом, стремление к стабильности процессов;
- *социальные* – окружение и групповые нормы, наличие формальных и неформальных коммуникаций, социальный статус и роль, наличие субкультуры и контркультуры;
- *организационные* – распространение слухов, отсутствие интереса у главы организации и отсутствие поддержки изменений топ-менеджментом, отсутствие стратегии организационных изменений, отсутствие поощрения новых форм поведения персонала, негативный опыт проведения изменений, отсутствие ответственного лица, контролирующего процесс изменений, изменение условий работы;
- *профессиональные* – страх не справиться с новыми профессиональными обязанностями;
- *экономические* – изменение оплаты труда, отсутствие (недостаток) финансирования изменений, изменение системы распределения ресурсов по подразделениям / проектам.

А.С. Андреев и О.В. Сокол [1] предлагают различать два вида причин сопротивления изменениям: *физиологические* и *психологические*. Физиологические причины обусловлены, по мнению авторов, природным стремлением человека к гомеостазу, нарушение которого приводит к сопротивлению организма. Основными психологическими причинами сопротивления являются: склонность к катастрофичности мышления, интеллектуальная и поведенческая инертность, конформизм, разная оценка ситуаций и последствий изменений.

Дж. Гринберг и Р. Бэйрон [6] в своей фундаментальной книге «Организационное поведение: от теории к практике» рассматривают две группы барьеров сопротивления изменениям: *индивидуальные* и *организационные*. В первую группу барьеров авторы включают отсутствие экономических гарантий, страх перед неизвестностью, угрозу социальным взаимоотношениям, привычку и неспособность признать необходимость перемен, а во вторую –

структурную инерцию, инерцию рабочих групп, угрозу существующему балансу власти и предыдущий неудачный опыт.

S. Rosenberg выделяет три группы факторов сопротивления изменениям:

- *личностные* – отношения работников к изменению; страх перед неизвестностью; непонимание намерений компании, страх неудачи; нарушения заведенного порядка вещей; увеличение объема работы; отсутствие вознаграждений за осуществление изменений; потеря контроля, стабильности и положения в компании;
- *организационные* – неэффективное руководство; неэффективная организационная культура; размер и гибкость организации; отсутствие поддержки со стороны руководства; отсутствие доверия между менеджерами и сотрудниками; неспособность или нежелание руководства бороться с сопротивлением организационным изменениям; отсутствие взаимодействия между разными уровнями иерархии компании; политические интриги и конфликты в организации; отсутствие последствий неэффективной работы;
- факторы, связанные со *спецификой конкретного изменения, его смысла* – актуальность, значимость и обоснованность организационного изменения, плохое планирование и неэффективная реализация изменения [28].

Дж. Джордж и Г. Джоунс [8] различают три группы барьеров сопротивления (сил, препятствующих изменениям): *организационные, групповые и индивидуальные*. К организационным препятствиям авторы относят распределение полномочий и конфликтов, различия в функциональной направленности; механистическую структуру и организационную культуру, к групповым – групповые нормы, сплоченность, мышление и усиление причастности и к индивидуальным – неопределенность и ненадежность; избирательное восприятие и запоминание; сформировавшиеся привычки.

M. Hosse также выделяет три группы причин сопротивления изменениям:

- *индивидуальные* – смена привычек на рабочем месте и потеря расслабленности на работе; угроза финансовой безопасности; страх потери работы, индивидуальных бонусов; автономии, свободы и контроля на рабочем месте; чувство физической или эмоциональной невозможности делать работу с использованием новых технологий; представление о ненужности новых методов или невозможности обучиться новым навыкам на новой позиции; страх потери позиции и престижа работы; ощущение того, что придется потратить много времени и энергии для приспособления к новой ситуации; страх того, что придется работать больше и энергичнее; страх недостатка информации о том, как работать в новой системе и т.п.;
- *социально-групповые* причины – страх потери друзей и дружеских отношений, страх потери взаимодействия с коллегами, страх давления со стороны членов группы, несоответствие нормам и ценностям группы;
- *организационные причины* – несоответствие ценностям и нормам организации, недостаток эффективной координации и взаимодействия в организации, возложение серьезного риска на организацию, возложение дополнительных расходов на организацию, изменение процедур и регулирования в организации, создание атмосферы недоверия в организации, смена власти принятия решений в организации, страх преобладания недостатков над достоинствами [20].

Сравнение представленных систематизаций причин сопротивления организационным изменениям свидетельствует о том, что среди исследователей отсутствуют единые представления как о количестве выделяемых групп причин (уровней) сопротивления, так и их составе. При этом авторы не предлагают сколько-нибудь строгого научного обоснования для выделения групп (уровней) сопротивления изменениям и состава включенных в них причин. Иными словами, предлагаемые систематизации носят преимущественно эмпирический характер и включают скорее поверхностные проявления сопротивления изменениям, чем их фундаментальные причины. Следствием этого является выделение большого количества сходных по своей сути, синонимичных причин сопротивления изменениям, что, в конечном



счете, не позволяет их строго диагностировать и использовать эффективные технологии преодоления.

В исследовании мы предприняли попытку построения научно обоснованной классификации причин сопротивления персонала организационным изменениям. В основу нашей классификации мы положили представление о том, что феномен сопротивления организационным изменениям является одной из форм *организационного поведения*. В современной теории организационного поведения сложилось представление о том, что его изучение необходимо осуществлять на трех уровнях анализа: индивидуальном, групповом и организационном [6, 8, 14 и др.]. Такой трехуровневый подход позволяет точнее понять сложную динамику поведения человека в организации.

На *индивидуальном* уровне анализа в центре внимания находятся личностные детерминанты поведения человека в организации: восприятие и установки; эмоции и стресс на рабочем месте; отношение к работе сотрудников организации; трудовая мотивация и карьерное развитие.

На *групповом* уровне рассматриваются характеристики поведения отдельных групп – структурных подразделений, подчиняющихся социально-психологическим закономерностям малых групп: групповые процессы и структура, межличностные взаимоотношения и влияние, коммуникации и процессы принятия решений.

На *организационном* уровне на первый план выступают характеристики организации в целом, такие как размер и структура, стратегическое планирование и развитие, организационная культура и т.п.

Применение трехуровневого подхода к изучению феномена сопротивления персонала организационным изменениям, по существу, означает, что сопротивление изменениям также имеет трехуровневую детерминацию, то есть потенциально существуют причины на индивидуальном, групповом и организационном уровнях. Выделение этих причин на каждом уровне и стало основной задачей нашего исследования. Для решения этой задачи были проанализированы зарубежные и отечественные исследования по данной проблематике.

На *индивидуальном уровне*, на наш взгляд, первую группу образуют причины, связанные преимущественно с психологическими характеристиками человека. Наиболее часто исследователями упоминаются *инертность, нежелание преодолевать трудности, брать на себя дополнительные обязанности* [18, 21, 26 и др.]. Так, П. Доусон (P. Dawson) полагает, что именно ощущение того, что предложенное изменение может нарушить заведенный порядок вещей и создать атмосферу неопределенности и является ключевым барьером сопротивления изменениям [18]. Сходной точки зрения придерживается С. Джек (S. Jex), сотрудник факультета психологии Мичиганского университета. Он утверждает, что большинство людей по своей природе являются людьми привычки, они чувствуют себя особенно комфортно, когда им ничто не мешает выполнять свои дела согласно заведенному порядку. Как следствие, мысль об изменениях зачастую вызывает у них опасения и страх. При этом не имеет значения, является ли данное изменение позитивным или негативным [22]. Кроме того, существуют личностные предпосылки сопротивления человека изменениям: неуверенность в себе, неверие в собственные силы и способность осваивать новые виды деятельности, мотивация избегания неудач, слабая переносимость изменений, стремление к стабильности и консерватизм [25].

Особое место в группе индивидуальных причин занимают неосознанные установки человека, скрытые противоборствующие убеждения, защитные механизмы [9, 12 и др.]. Некоторые специалисты подчеркивают, что сопротивление изменениям – необязательно проявление несогласия или обычной инерции. «Многие люди, искренне болея за перемены, неосознанно направляют всю свою энергию на поддержку скрытых противоборствующих убеждений» [9, с. 47].

Вторую группу индивидуальных причин образуют причины, связанные с эмоциональной реакцией человека на процесс внедрения организационных изменений, и, как следствие, трансформацию образа жизни. Исследователи называют в качестве важных психологических факторов сопротивления изменениям: *чувство обиды, разочарования, страх перед*

воображаемыми или реальными негативными последствиями, ощущение неуспеха и низкая мотивация, возникающие в связи с внедрением изменений [17, 26]. Сотрудники могут испытывать страх перед неизвестностью, страх перед угрозой их трудовой занятости, иными словами, они могут беспокоиться о том, что их навыки окажутся устаревшими для внедряемых новых технологий.

К перечню страхов относится также страх экономических потерь, когда существует угроза снижения заработной платы, премий и надбавок, понижения в должности и т.д. Угроза социальному статусу также является одной из причин сопротивления организационным изменениям: если сотрудник предполагает, что изменение влечет за собой потерю занимаемой им позиции в компании, власти и полномочий или может негативно сказаться на отношении к нему его коллег, то он, скорее всего, будет отрицательно воспринимать нововведение [26, 27]. Другие авторы называют также угрозу личной власти, положению в организации, потерю контроля [28], угрозу сложившимся социальным отношениям [27], угрозу статусу-кво [15].

Американские исследователи Л. Кок и Дж. Френч (L. Coch, J. French) подчеркивают, что уровень сопротивления зависит от степени вовлеченности сотрудника в процесс внедрения изменения. Они установили, что сотрудники или группы сотрудников, участвующие в таком процессе, менее склонны к проявлению сопротивления, чем те, кто не имеет возможности принимать в этом участие [17]. Дж. Коттер и Л. Шлезингер (J. Kotter, L. Schlesinger) рассматривают в качестве наиболее часто встречающихся причин сопротивления изменениям: противоречие собственных и организационных интересов, непонимание людьми самих изменений и их практических результатов, непонимание необходимости и полезности проведенных в компании изменений [23].

Еще одну группу причин образуют причины, связанные с отношением к руководителям: отсутствие уважения и доверия к лицам, осуществляющим изменения; неадекватные системы вознаграждений; пренебрежительное отношение к работникам, проявляющееся в приказном тоне менеджеров, внедряющих изменения [26]. Профессионализм менеджеров, ответственных за внедрение изменений, их надежность в глазах сотрудников, а также доверие к их навыкам и умениям со стороны всех участников данного процесса способствуют успешному проведению изменения в организации, поскольку снижают чувства нестабильности и неопределенности у сотрудников.

Отдельную группу индивидуальных причин сопротивления изменениям составляют *демографические характеристики персонала*. Речь идет о влиянии факторов пола, возраста, квалификации и образования. Так, в некоторых исследованиях подчеркивается, что молодежь в силу юношеского динамизма и более высокой социальной адаптивности легче усваивает «новые правила игры» [12]. По мнению некоторых специалистов, чрезвычайно важным фактором для принятия инновационных решений являются квалификация и образование. К примеру, высокий уровень образования может, с одной стороны, способствовать нововведениям благодаря пониманию их цели и необходимости, а с другой, – препятствовать им в силу высокого уровня критичности [13].

Подводя итоги анализа, представляется возможным выделить следующие фундаментальные *индивидуальные причины сопротивления изменениям*:

- *инертность*: нежелание преодолевать трудности, брать на себя дополнительные обязательства, неуверенность в себе и мотивация избегания неудач;
- *страх перед воображаемыми или реальными негативными последствиями*: угроза трудовой занятости, материальных потерь, положению в компании и т.п.;
- *отсутствие уважения и доверия к руководителям, осуществляющим изменения* по причине пренебрежительного отношения к подчиненным, отсутствия профессионального опыта и др.;
- *демографические особенности персонала*: возраст, пол, уровень образования и квалификации.

Обратимся к *групповому уровню* анализа причин сопротивления персонала изменениям. Влияние групповых факторов на сопротивление изменениям трудно переоценить. Структура и взаимодействие в группе, а также организационный контекст, в котором находится группа, сильно влияют на переживания и поведение ее членов [5]. По оценке М.И. Фаермана, группа является более удобным объектом влияния при внедрении новшеств, чем индивид или организация в целом: «...обычно легче изменить индивидов, собранных в группу, чем изменить любого из них по отдельности» [12]. Е.В. Руденский также считает, что стремление изменить людей должно основываться на учете динамики группы.

В связи с этим малая группа может рассматриваться в трех качествах:

- 1) как среда для изменения группы;
- 2) как объект изменений;
- 3) как агент изменений [10].

Однако, несмотря на признание важной роли групповых факторов в сопротивлении организационным изменениям, они на сегодняшний день являются мало изученными.

По аналогии с инертностью индивидуального поведения можно говорить об инерции рабочих групп [11]: стремление департаментов, отделов компании сохранять стабильность и противодействовать каким-либо изменениям, сохраняя прямолинейное движение без потрясений. В основе этой инерции лежат: *групповые нормы* [4, 8], *сплоченность, групповое мышление и усиление причастности* [8], *страх потери друзей и дружеских отношений, страх потери взаимодействия с коллегами* [20]. Речь идет о ситуации, когда группа не принимает изменение, и работник не хочет выделяться. Или изменение будет способствовать расформированию этой группы, а члены группы хотят ее сохранить. Кроме того, можно вести речь о влиянии авторитета коллег – феномена, который имеет ту же сущность, что и чувство привязанности к группе. При этом противостояние изменениям подкрепляется не близкими связями, а авторитетным членом или членами рабочей группы (отдела, департамента компании), не дающим другим представителям группы возможности проявлять индивидуальность [11]. Р.Г. Бухбиндер отмечает, что всегда существуют принципы, нормы поведения, поддерживаемые частью работников и отличающиеся от принятых большинством работников, подчеркивая, что вся организационная культура состоит из субкультур, т. е. культур отдельных социальных групп предприятия, которые могут отличаться степенью контролируемости связей и норм, наличием профессионального жаргона, уровнем профессионализма и пр. Контркультура в отличие от субкультур, которые могут видоизменяться по сравнению с организационной, резко противостоит последней и не разделяет ее норм.

Кроме того, причиной сопротивления группы изменениям исследователи часто называют *угрозу балансу власти*, которая объясняется опасениями рабочей группы потерять влияние на процессы, происходящие в компании; страх перед потерей материальных благ – опасение лишиться благ и привилегий вследствие нововведений, а также социального статуса и роли, когда работник удовлетворен своим положением на предприятии. Этот фактор сопротивления часто встречается у менеджеров, наделенных властью в организации [11]. Наличие формальных и неформальных коммуникаций также может служить основанием для возникновения сопротивления персонала организационным изменениям. У работника к моменту изменений существует определенная система формальных и неформальных связей, которая образовалась за время его работы.

Эта система облегчает работнику поиск информации, уменьшает время на выполнение должностных обязанностей и делает сам процесс более определенным. Сравните нового сотрудника, только пришедшего в организацию, и того, который за время работы узнал уже узнал, кто распространяет слухи, у кого можно проконсультироваться, кто в курсе распределения властных полномочий. Очевидно, что сотрудник будет сопротивляться изменениям, если они подрывают ту систему коммуникаций, которая сложилась у него за время работы [4].

Таким образом, к основным *групповым причинам сопротивления изменениям* можно отнести:

- *групповую сплоченность* при несовпадении целей группы и организации;
- *групповые нормы*, противоречащие по своему содержанию нововведениям;
- *угрозу потери власти подразделения*.

Причины сопротивления изменениям, возникающие на *организационном уровне*, связаны с особенностями функционирования самой организации и, прежде всего с ее структурными характеристиками. Известно, что особенности *структуры* и прежде всего ее «жесткость» существенно влияют на процесс организационных изменений. В качестве основных характеристик структуры, влияющих на сопротивление организационным изменениям, авторы чаще всего выделяют: механистичность структуры, недостаток эффективной координации и коммуникаций в процессе изменения, смену порядка и правил контроля в процессе изменений. Исследователи выделяют такие факторы, как структурная инерция [6], размер и гибкость организации, отсутствие взаимодействия между разными уровнями иерархии компании, политические интриги и конфликты в организации, а также внутренние споры, конфликты, связанные с ресурсами компании [28].

Одним из важных факторов сопротивления организационным изменениям выступает *стратегия* компании. В специальной литературе этому фактору сопротивления изменениям уделяется недостаточно внимания. Между тем, само по себе наличие ясной стратегии и ее направленность (консервативная или инновационная) оказывают существенное влияние на сопротивление организационным изменениям. Стратегия организации может обуславливать такие причины сопротивления изменениям, как возложение серьезного риска на организацию, возложение дополнительных расходов на организацию, противоречие целям организации, внутренняя политика, экономические страхи.

Важную роль в сопротивлении организационным изменениям имеет несовершенная *система организационной коммуникации*. Достаточно типичной является ситуация, когда об изменениях не сообщают персоналу или сообщают только о начале изменений, что приводит к распространению слухов. В слухах обычно отражаются опасения и страхи персонала. Например, «говорят, отдел продаж расформируют», или «я слышал, что новое руководство будет проводить аттестацию сотрудников и тех, кто им не понравится, уволят». В результате подобных слухов работа на предприятии парализуется и без того критическая ситуация (часто компании задумывают изменения во время кризиса) еще больше усугубляется.

Еще одним фактором сопротивления изменениям выступает организационная культура – одна из важнейших интегральных характеристик организации, позволяющих понять ее внутреннюю жизнь. Разные типы культуры могут благоприятствовать или, напротив, блокировать проведение плановых изменений в организации. В литературе существуют разные варианты формулировок этого барьера: несоответствие изменения ценностям и нормам организации, устойчивая организационная культура, символические страхи. Исследователи отмечают также влияние неблагоприятного прошлого опыта внедрения изменений, когда организация уже начинала процесс перемен, но не довела его до конца, или изменения были осуществлены, однако результат не оправдал ожиданий. В этом случае у работников вырабатывается определенное недоверие или даже цинизм по отношению к изменениям и/или действиям администрации [4].

Кроме того, на организационном уровне анализа возникает необходимость выделять причины сопротивления организационным изменениям, связанные с *неэффективным руководством* компанией. Описание таких причин дано в работе Р.Г. Бухбиндера: отсутствие ответственного лица (предпочтительнее – лидера), контролирующего процесс изменений; отсутствие интереса у главы организации и отсутствие поддержки изменений топ-менеджментом. По мнению автора, руководитель организации должен возглавить процесс

перемен, стать их лидером. В противном случае, подчиненные не мотивированы изменять свой подход к организации работы и поведение.

В итоге, основными организационными причинами сопротивления изменениям выступают:

- структура компании, препятствующая проведению организационных изменений;
- особенности организационной культуры;
- отсутствие ясной стратегии развития компании;
- неэффективное управление организационными изменениями;
- несовершенная система организационных коммуникаций.

Апробация классификации была проведена на 30 HR-менеджерах нижегородских компаний, занимающих должности директоров (заместителей) служб управления персоналом и руководителей отделов (департаментов) и имеющих опыт работы с сопротивлением персонала организационным изменениям. Респондентам предлагалось провести экспертную оценку перечня причин сопротивления организационным изменениям, а также оценить по 7-балльной шкале степень влияния каждой из предложенных в классификации причин на сопротивление организационным изменениям. Результаты этой оценки представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Степень влияния индивидуальных, групповых, организационных причин на сопротивление организационным изменениям**

№	Причины сопротивления персонала изменениям	Степень влияния (по 7-балльной шкале)	
		Ср. знач.	Станд. откл.
	<b>Индивидуальные</b>		
1	Инертность	4,65	1,69
2	Страх перед негативными последствиями	3,83	1,80
3	Отсутствие уважения и доверия к руководителям	2,7	1,70
	<b>Групповые</b>		
1	Групповые нормы	3,8	1,85
2	Групповая сплоченность	3,73	1,76
3	Угроза потери власти подразделения	2,98	2,06
	<b>Организационные</b>		
1	Несовершенная система организационных коммуникаций	4,27	1,70
2	Особенности организационной культуры	3,3	2,00
3	Отсутствие ясной стратегии развития компании	3,3	2,00
4	Структура компании	3	2,06
5	Неэффективное управление орг. изменениями	2,87	2,33

Результаты апробации свидетельствуют о том, что выделяемые уровни причин сопротивления изменениям и их состав достаточно полно отражают основные причины сопротивления изменениям за исключением демографических особенностей персонала. Согласно экспертной оценке HR-менеджеров, предложенная классификация представляет собой удобный инструмент для дифференцированной и точной диагностики причин сопротивления персонала организационным изменениям и выбора адекватных технологий их преодоления.

*Исследование выполняется при поддержке программы «Научный фонд НИУ ВШЭ», проект №13 – 05 – 0030 «Сопротивление организационным изменениям и способы его преодоления в деятельности HR – менеджера».*

## Библиографический список

1. **Андреев, А.С.** Сопротивление изменениям в организации: причины и диагностика / А.С. Андреев, О.В. Сокол // Менеджмент инноваций. 2008. №1(01). С. 86– 1.
2. **Андреева, Т.Е.** Управление персоналом в период изменений в российских компаниях: методики распространенные и результативные // Российский журнал менеджмента, 2006. Т. 4. № 2. С. 25–48
3. **Армстронг, М.** Практика управления человеческими ресурсами: [пер. с англ.] / М. Армстронг; под ред. С.К. Мордовина. – 8-е изд. – СПб.: Питер, 2004.
4. **Бухбиндер, Р.Г.** Организационные изменения: проблема сопротивления персонала и пути ее решения // Вестник Омского университета. Серия «Экономика». 2009. № 4. С. 100–106.
5. **Герберт, Д.** Организационная психология. Человек и организация: [пер. с нем.] / Д. Герберт, Л.Розенштиль. – Х.: Изд-во Гуманитарный центр О.А. Шипилова. 2006. – 624 с.
6. **Гринберг, Дж.** Организационное поведение: от теории к практике: [пер. с англ.] / Дж. Гринберг, Р. Бэйрон. – М.: ООО «Вершина», 2004. – 912 с.
7. **Дафт, Р.** Менеджмент. [пер. с англ.] / Р. Дафт. – 8-е изд. – СПб.: Питер, 2011. – 800 с.
8. **Джордж, Дж.М.** Организационное поведение. Основы управления: учеб. пособие: [пер. с англ.] / Дж.М. Джордж, Г.Р. Джоунс. – М.: ЮНИТИ-ДАТА, 2003.
9. Киган, Р. Истинная причина нелюбви к переменам / Корпоративная культура и управление изменениями: [пер. с англ.] / Р. Киган, Л. Лэскоу Лейхи. – 2-е изд. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2007. – 192 с.
10. **Руденский, Е.В.** Социальная психология: курс лекций / Е.В. Руденский. – М. – Новосибирск, 1997. С.167
11. **Ульрих, Д.** Эффективное управление персоналом: новая роль HR – менеджера в организации: [пер. с англ.] / Д. Ульрих. – М., 2007. С. 304.
12. **Фаерман, М.И.** Комплексный социально-психологический подход к предупреждению сопротивлений нововведениям персонала: на примере организаций малого и среднего бизнеса // Диссертация ... канд. психолог. наук: 19.00.05, 19.00.03. Ярославль, 2007. – 199 с.
13. **Францева, О.А.** Отношения к изменениям в условиях отраслевого реформирования (на примере Дальневосточной железной дороги): дисс. ... канд. психолог. наук: 19.00.05. Ярославль, 2003.
14. **Шермерорн, Дж.** Организационное поведение / [пер. с англ.] / Дж. Шермерорн, Дж. Хант, Р. Осборн. – СПб.: Питер, 2006. – 637 с.
15. Bennebroek Gravenhorst, K.M., Werkman, R.A., Boonstra, J.J. (2003), “The change capacity of organizations: general assessment and five configurations, Applied Psychology: An international Review. Vol. 52. Pp. 83-105
16. Chun-Fang Chiang, Perceived organizational change in the hotel industry: An implication of change schema. International Journal of Hospitality Management 29, 2010, Pp. 157–167
17. Coch, L. and French, J.R.P. (1948), Overcoming resistance to change, Human Relations, Vol. 1. No. 4. Pp. 512-532.
18. Dawson, P. (2003), “Understanding organizational change: the contemporary experience of people at work”, Sage Publications, London.
19. Gonçalves, J. M., Gonçalves, R. P. S. (2012) Overcoming resistance to changes in information technology organizations, Procedia Technology 5. Pp. 293–301.
20. Hossein M.M.J. Evaluation effect of management information system Implementation on personnel resistanc ecauses in Isfahan power plant management corporation in Iran, Mahboubeh Delshad Dastjerdia, Procedia Computer Science 3 (2011). Pp. 1296–1303.
21. Ijaz, S. and Vitalis, A. (2011), Resistance to organizational change: putting the jigsaw together, International Review of Business Research Papers, Vol. 7 No. 3. Pp. 112–121.
22. Jex, S.M. (2002), Organizational psychology: a scientist-practitioner approach, John Wiley & Sons, NY.
23. Kotter, J.P. and Schlesinger, L.A. (1979), Choosing strategies for change, Harvard Business Review, Vol. 57. Pp. 106-114
24. Maurer, R. (2010), Applying what we’ve learned about change, The Journal for Quality and Participation, Vol. 22 No. 2. Pp. 35–38.

25. Mullins, L.J. (1999), Management and organizational behavior, 5th ed., London: Prentice Hall.
26. Mutihac, R. (2010), Managing resistance and the use of internal communication in organizations undergoing change, Department of Language and Business communication, Aarhus School of Business
27. O'Toole, J. (1995), Leading change: overcoming the ideology and the tyranny of custom, Jossey-Bass, San Francisco, CA.
28. Rosenberg, S. and Mosca, J. (2011), Breaking down the barriers to organizational change, The 2011 New Orleans Academic Conference New Orleans, Louisiana, USA. Pp. 461–467.

*Дата поступления  
в редакцию 17.10.2013*

**G.A. Mkrtychyan, E.E. Voyloкова**

## **THE CLASSIFICATION OF CAUSES OF RESISTANCE TO ORGANIZATIONAL CHANGES**

HSE, Nizhny Novgorod

**Purpose:** Develop and test the classification of causes of resistance to organizational change.

**Methodology:** Understanding the resistance to organizational change as a form of organizational behavior and system analysis of the causes of resistance at three levels: individual, group and organizational.

**The results and their field of application:** The result of this study is a three-level classification of the causes of resistance to organizational change. Application: diagnosis and management of resistance to organizational change.

**Conclusions:** Testing the classification on HR-managers indicates its good diagnostic capabilities: it allows to evaluate the structure and hierarchy of the causes of resistance to change in each of the 3 levels.

*Key words:* classification of causes of resistance to organizational change, individual, group and organizational causes of resistance to change.

УДК 336.714

С.Н. Яшин, Г.М. Охезина

## ФОРМИРОВАНИЕ И ПРАКТИЧЕСКАЯ АПРОБАЦИЯ МЕТОДИКИ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ПЕРСПЕКТИВНОСТИ УЛУЧШАЮЩИХ ПРОЦЕССНЫХ ИННОВАЦИЙ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Реализация улучшающих процессных инновационных проектов может вызвать множество существенных изменений в деятельности предприятия. Характер этих изменений может быть различным и зависит от целей проекта. В связи с этим, при оценке проектов на этапе планирования инновационной деятельности предприятиям требуется принимать решения с учетом комплексного анализа всех характеристик проекта.

В статье предложен инструментарий многокритериальной оценки перспективности улучшающих процессных инновационных проектов, с помощью которой можно проводить их ранжирование и выбирать наиболее предпочтительные проекты для реализации.

*Ключевые слова:* методика, оценка, процессные инновации, перспективность проектов, инновационная деятельность

Успешное функционирование промышленных предприятий в современных экономических условиях предполагает проведение различных преобразований, способствующих улучшению технико-технологических и финансово-экономических показателей производства.

Смысл данных преобразований заключается в том, чтобы со свертыванием и ликвидацией старых, малоэффективных, не удовлетворяющих требованиям рынка, производств начиналось развитие современных высокотехнологичных методов обработки продукции. Определяющим моментом в реструктуризации промышленных предприятий должна быть ее направленность на развитие процессных инноваций, обеспечивающих оптимизацию производственных процессов и, как следствие, эффективность производства [1]. Это одно из приоритетных направлений развития, повышающих конкурентоспособность предприятий и ведущих к максимизации прибыли в долгосрочном периоде (рис. 1).

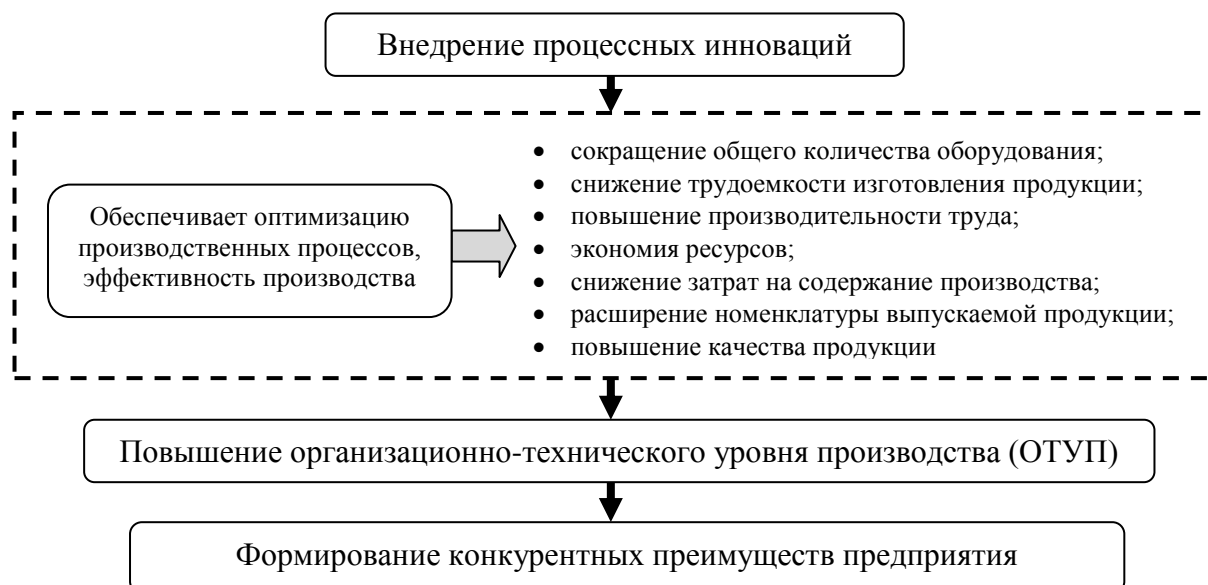


Рис. 1. Влияние внедрения процессных инноваций на промышленное предприятие

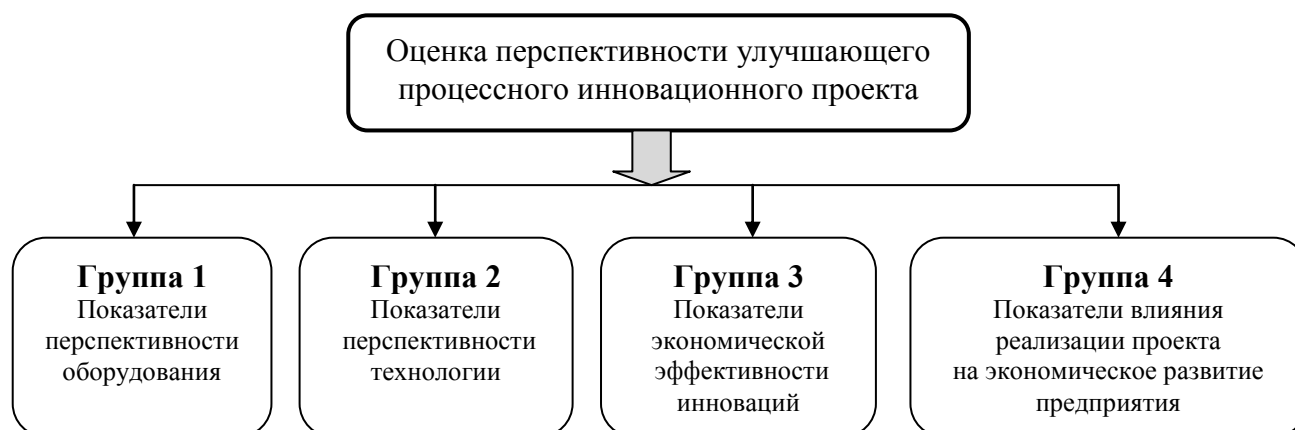


Однако результативность технико-технологических преобразований обеспечивается не только реализацией инноваций, но и эффективным качественным планированием инновационной деятельности, которое предусматривает оценку и выбор предпочтительных проектов в условиях ограниченности инвестиционных ресурсов. При оценке процессных инновационных проектов необходим комплексный учет показателей, отражающих основные аспекты технико-технологических изменений при совершенствовании методов производства продукции. Следовательно, учет многокритериальности при планировании инновационной деятельности приобретает особую значимость.

Одним из вариантов решения анализируемой проблемы является разработка методических положений, позволяющих проводить многокритериальную оценку улучшающих процессных инновационных проектов, что обуславливает актуальность выбранной темы.

Учитывая многообразие улучшающих процессных инноваций необходимо выделить основные показатели, благодаря которым можно будет оценить перспективность внедрения и использования конкретного процессного инновационного решения. Под перспективностью процессных инноваций будем понимать их способность в будущем оказывать наибольшее влияние на повышение организационно-технического уровня производства, а значит, на формирование конкурентных преимуществ предприятия.

Для осуществления объективной оценки перспективности улучшающего процессного инновационного проекта промышленным предприятиям целесообразно использовать четыре группы интегральных показателей (рис. 2).



**Рис. 2. Группы показателей оценки перспективности улучшающего процессного инновационного проекта**

Предлагаемые группы показателей позволяют определить привлекательность инновации не только по показателям эффективности вложенных в инновацию инвестиций, но и с позиции перспективности оборудования и технологии, а также влияния внедрения технико-технологических изменений в действующий процесс производства продукции на рост экономики предприятия.

При формировании частных показателей оценки перспективности в каждой выделенной группе необходимо принять во внимание, что для улучшающего процессного инновационного проекта всегда имеется аналог для сравнения – это действующий (базовый) технологический процесс. Поэтому частные показатели перспективности оборудования, технологии, экономической эффективности инноваций и показатели влияния реализации проекта на экономическое развитие предприятия должны учитывать возможность сравнения инновационного технико-технологического решения с действующим методом производства продукции на промышленном предприятии.

Таким образом, при подборе частных показателей оценки перспективности улучшающих процессных инноваций следует опираться на методы сравнительного анализа проектов.

*Первая группа* показателей оценки перспективности улучшающего процессного инновационного проекта связана с оценкой перспективности применяемой техники. Выделение данной группы показателей связано с тем обстоятельством, что большинство улучшающих инноваций на промышленных предприятиях ориентированы на замену оборудования.

Состояние технологии производства – важнейший фактор, предопределяющий качество выпускаемых изделий. Технология относится к наиболее подвижным элементам производства, оказывающим активное влияние на формирование всех аспектов деятельности предприятия, особенно при осуществлении инновационной деятельности. В связи с этим, *вторая группа* показателей оценки перспективности улучшающего процессного инновационного проекта предполагает оценку совершенства технологии производства.

*Третья группа* показателей оценки перспективности улучшающего процессного инновационного проекта предполагает анализ экономической эффективности технико-технологических мероприятий, состоящий в определении финансовых последствий проекта, которые могут иметь значение для решений об инвестировании. Экономическая эффективность проекта выражается в экономическом результате, который достигается от его реализации и измеряется на основе сопоставления величины инвестиционных затрат с экономическим эффектом.

Улучшающие процессные инновационные проекты, по своей сущности, оказывают комплексное влияние на экономическое развитие предприятия. Поэтому при оценке перспективности улучшающего процессного инновационного проекта недостаточно определить только его инвестиционную результативность, используя показатели третьей группы. Следует рассмотреть влияние проекта с позиции динамики экономического роста предприятия. Здесь важно оценить, как отразится внедрение инновации на эффективность производственной, финансовой и инвестиционной деятельности предприятия [2]. Поэтому расчет *четвертой группы* показателей имеет конечной целью определить степень воздействия реализуемых технико-технологических изменений на экономическое развитие предприятия.

Система интегральных и частных показателей оценки перспективности улучшающего процессного инновационного  $n$ -го проекта промышленного предприятия представлена в табл. 1.

Предлагаемая система показателей позволяет проводить полную комплексную экспертизу улучшающего процессного инновационного проекта, учитывающую все возможные технико-технологические изменения при совершенствовании методов производства продукции, которые могут возникнуть при его реализации.

Алгоритм комплексной оценки перспективности улучшающего процессного инновационного проекта промышленного предприятия представлен на рис. 3.

В качестве первого этапа оценки перспективности формируется совокупность проектов по совершенствованию технологических процессов, претендующих на включение в план инновационной деятельности. На втором этапе определяется среднее значение для всех показателей.

Так как исследуемые частные показатели ( табл. 1) имеют различную размерность, то на третьем этапе предлагаем их привести к безразмерному виду на основе нормирования.

Нормированный показатель оценки перспективности проектов можно вычислить как отношение абсолютного значения частного показателя к среднему значению этого показателя. Результатом нормирования являются сопоставимые безразмерные относительные величины.

Таблица 1

**Система показателей для оценки перспективности улучшающих процессных инновационных проектов промышленного предприятия**

№ п/п	Наименование группы показателей	Составные элементы соответствующих групп показателей		
		№ п/п	наименование показателей	условное обозначение
1	Показатели перспективности оборудования	1	Снижение затрат труда на производство продукции (детали)	$K_{n11}$
		2	Сокращение времени на переналадку оборудования	$K_{n12}$
		3	Повышение производительности оборудования	$K_{n13}$
		4	Сокращение эксплуатационных затрат оборудования	$K_{n14}$
2	Показатели перспективности технологии	1	Снижение себестоимости продукции (детали)	$K_{n21}$
		2	Повышение коэффициента использования материала	$K_{n22}$
		3	Повышение зарплатоотдачи	$K_{n23}$
3	Показатели экономической эффективности инноваций	1	Годовой экономический эффект от внедрения мероприятия	$K_{n31}$
		2	Рентабельность инвестиционных затрат	$K_{n32}$
4	Показатели влияния реализации проекта на экономическое развитие предприятия	1	Повышение чистого дохода на один рубль инвестиций	$K_{n41}$
		2	Повышение выработки продукции на один рубль инвестиций	$K_{n42}$
		3	Снижение себестоимости продукции на один рубль инвестиций	$K_{n43}$
		4	Снижение затрат труда на производство продукции (детали) на один рубль инвестиций	$K_{n44}$

Четвертый этап связан с определением экспертным путем значения весовых коэффициентов всех исследуемых показателей по каждой группе перспективности. Сумма весовых коэффициентов всех частных показателей перспективности равна единице. Далее на пятом этапе исчисляется итоговый интегральный показатель – перспективность улучшающего процессного инновационного проекта.

Целесообразно выбирать проекты с наибольшим значением интегрального показателя перспективности  $R_{инт_n}$ . Чем выше его значение, тем сильнее технико-технологический проект оказывает влияние на повышение организационно-технического уровня производства, а значит, на формирование конкурентных преимуществ предприятия в перспективе.

Для апробации разработанного инструментария интегральной оценки перспективности инноваций была определена совокупность улучшающих процессных инновационных проектов, актуальных для предприятия сельскохозяйственного машиностроения ОАО «Мельинвест». Характеристика вносимых технико-технологических изменений в действующие технологические процессы представлена в табл. 2.

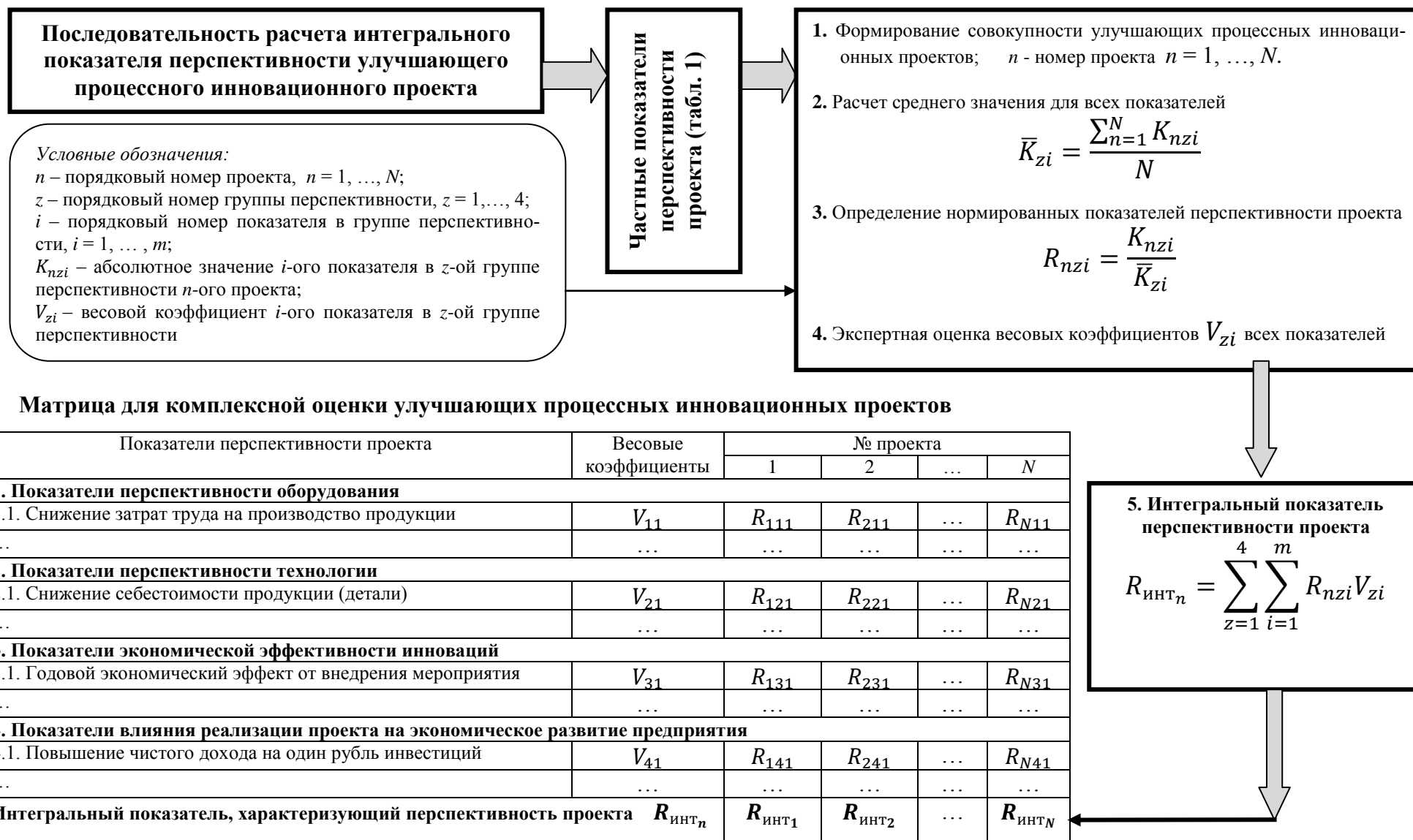


Рис. 3. Алгоритм расчета интегрального показателя перспективности проекта

Таблица 2

## Проекты, претендующие на включение в план инновационной деятельности

Название проектов	Общая характеристика вносимых технико-технологических изменений в действующие технологические процессы
<b>Проект № 1</b> Внедрение установки лазерной резки PLATINO 1530 HS-2500 2D компании Prima Power	Внедрение установки лазерной резки позволяет провести совмещение операций при изготовлении деталей, что приведет к сокращению их трудоемкости, а также позволяет выполнять быструю переналадку оборудования
<b>Проект № 2</b> Установка листогибочного прес-са AMADA HFP-100-3	Автоматическое выставление упоров в листогибочном прессе приведет к снижению затрат времени на операцию гибка
<b>Проект № 3</b> Модернизация механического прессы модели ERFURT PKZZ 250/2500	Модернизация позволит улучшить ремонтпригодность узлов (муфты-тормоза и шатуна), что приведет к уменьшению времени простоев прессы, увеличению межремонтного периода, а также к сокращению материальных затрат на его обслуживание и ремонт
<b>Проект № 4</b> Внедрение токарного станка HAAS DS-30 и многоцелевого станка INTEGREX 200-IV ST с числовым программным управлением	Внедрение станков с числовым программным управлением позволяет провести совмещение операций, вследствие этого уменьшится вспомогательное время, трудоемкость изготовления детали. Применение другой заготовки (отливки вместо прутка) увеличивает коэффициент использования материала
<b>Проект № 5</b> Автоматизация технологического процесса путем внедрения автоматизированной линии штамповки и штампа последовательного действия	Устанавливается автоматическая подача материала к прессу и автоматическое удаление деталей по склизу. Кроме этого, пресс оснащается штампом последовательного действия, который позволит проводить изготовление детали за несколько переходов под различными пуансонами при последовательном перемещении заготовки. Штмп дает возможность изготавливать деталь на одном прессе, отпадает необходимость транспортировать детали при переходе на следующую операцию.

По каждому проекту определяем все частные показатели перспективности оборудования, технологии, экономической эффективности инноваций и показатели влияния реализации проекта на экономическое развитие предприятия. Частные показатели перспективности являются информационной базой для расчета среднего значения для всех показателей.

Результаты расчета частных показателей, а также средних значений для всех показателей перспективности представлены в табл. 3.

Таблица 3

## Результаты расчета частных и средних показателей перспективности проектов

Показатели перспективности проекта	№ проекта					Среднее значение показателей
	1	2	3	4	5	
1	2	3	4	5	6	7
<b>1. Показатели перспективности оборудования</b>						
Снижение затрат труда на производство продукции, %	49	52	0	66	27	38,8
Сокращение времени на переналадку оборудования, %	78	60	0	59	55	50,4
Повышение производительности оборудования, %	96	106	0	194	37	86,6
Сокращение эксплуатационных затрат оборудования, %	3	8	20	4	4	7,8
<b>2. Показатели перспективности технологии</b>						
Снижение себестоимости детали, %	36	32	9	52	14	28,6
Повышение коэффициента использования материала, %	100	0	0	122	23	49

Окончание табл. 3

1	2	3	4	5	6	7
Повышение зарплатоотдачи, %	200	0	0	162	13	75
<b>3. Показатели экономической эффективности инноваций</b>						
Годовой экономический эффект от внедрения мероприятия, тыс. руб.	4220	1524	66	3392	340	1840,5
Рентабельность инвестиционных затрат	0,5	0,38	0,46	0,47	0,46	0,454
<b>4. Показатели влияния реализации проекта на экономическое развитие предприятия</b>						
Повышение чистого дохода на один рубль инвестиций, руб./руб.	0,61	0,48	0,56	0,57	0,56	0,556
Повышение выработки продукции на один рубль инвестиций, шт./тыс. руб.	0,097	0	0	0,107	6,4	1,32
Снижение себестоимости программы деталей на один рубль инвестиций, руб./руб.	0,508	0,38	0,46	0,47	0,46	0,456
Снижение затрат труда на производство программы деталей на один рубль инвестиций, ч/тыс. руб.	0,084	0,33	0	0,4	0,53	0,27

Далее необходимо провести экспертную оценку весовых коэффициентов  $V_{zi}$  всех показателей. Необходимо заметить, что сумма весовых коэффициентов всех частных показателей перспективности равна единице:

$$\sum_{z=1}^4 \sum_{i=1}^m V_{zi} = 1 .$$

Экспертным путем, с участием региональных представителей Министерства промышленности и инноваций, членов совета по науке и инновационной деятельности правительства Нижегородской области и руководителей и ведущих специалистов предприятия, были определены значения весовых коэффициентов исследуемых показателей по каждой группе, которые представлены в табл. 4.

Результаты расчета интегрального показателя перспективности сведены в табл. 4.

Таблица 4

**Результаты расчета интегрального показателя перспективности  
улучшающих процессных инновационных проектов**

Нормированные показатели перспективности проекта	№ проекта					Весовые коэффициенты
	1	2	3	4	5	
1	2	3	4	5	6	7
<b>1. Показатели перспективности оборудования</b>						
Снижение затрат труда на производство продукции	1,26	1,34	0	1,7	0,7	0,12
Сокращение времени на переналадку оборудования	1,55	1,19	0	1,17	1,09	0,09
Повышение производительности оборудования	1,11	1,22	0	2,24	0,43	0,05
Сокращение эксплуатационных затрат оборудования	0,38	1,03	2,56	0,51	0,51	0,04
$\sum_{i=1}^m R_{n1i} V_{1i}$	<b>0,362</b>	<b>0,37</b>	<b>0,103</b>	<b>0,442</b>	<b>0,224</b>	<b>0,3</b>
<b>2. Показатели перспективности технологии</b>						
Снижение себестоимости детали	1,26	1,12	0,31	1,81	0,5	0,15

Окончание табл. 4

1	2	3	4	5	6	7
Повышение коэффициента использования материала	2,04	0	0	2,49	0,47	0,15
Повышение зарплатоотдачи	2,67	0	0	2,16	0,173	0,1
$\sum_{i=1}^m R_{n2i} V_{2i}$	<b>0,762</b>	<b>0,168</b>	<b>0,047</b>	<b>0,862</b>	<b>0,161</b>	<b>0,4</b>
<b>3. Показатели экономической эффективности инноваций</b>						
Годовой экономический эффект от внедрения мероприятия	2,21	0,8	0,035	1,78	0,18	0,115
Рентабельность инвестиционных затрат	1,1	0,84	1,013	1,035	1,013	0,085
$\sum_{i=1}^m R_{n3i} V_{3i}$	<b>0,348</b>	<b>0,163</b>	<b>0,09</b>	<b>0,292</b>	<b>0,107</b>	<b>0,2</b>
<b>4. Показатели влияния реализации проекта на экономическое развитие предприятия</b>						
Повышение чистого дохода на один рубль инвестиций	1,1	0,86	1,007	1,025	1,007	0,034
Повышение выработки продукции на один рубль инвестиций	0,07	0	0	0,081	4,85	0,018
Снижение себестоимости программы деталей на один рубль инвестиций	1,12	0,83	1,01	1,032	1,01	0,022
Снижение затрат труда на производство программы деталей на один рубль инвестиций	0,31	1,23	0	1,49	1,97	0,026
$\sum_{i=1}^m R_{n4i} V_{4i}$	<b>0,071</b>	<b>0,08</b>	<b>0,056</b>	<b>0,098</b>	<b>0,195</b>	<b>0,1</b>
<b>Интегральный показатель, характеризующий перспективность проекта <math>R_{инт_n}</math></b>	<b>1,54</b>	<b>0,781</b>	<b>0,296</b>	<b>1,69</b>	<b>0,686</b>	<b>1</b>

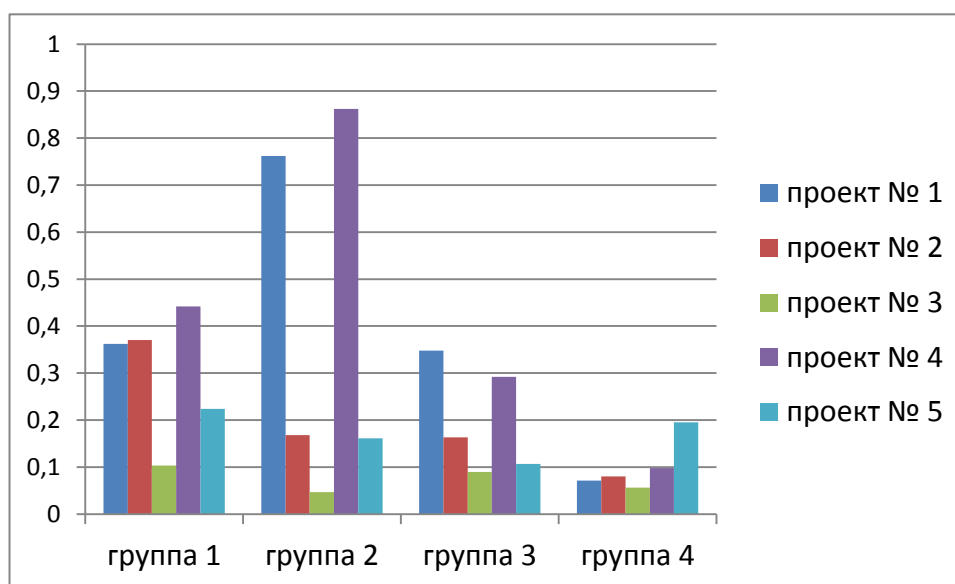


Рис. 3. Результаты расчета перспективности проектов по группам показателей

На рис. 3 наглядно показано, что проект 4 занимает лидирующее положение по первой и второй группам перспективности. Такое положение можно объяснить тем, что совершенствование технологического процесса в проекте 4 связано с переходом на другой способ получения заготовки, который позволяет установить значительно меньшие припуски на обработку и снизить затраты на основной материал. Кроме этого, предлагаемая замена изношенного оборудования на современные станки с ЧПУ позволяет значительно сократить время обработки детали за счет совмещения некоторых операций.

Достаточно высокие показатели перспективности имеет и проект 1, а по третьей группе показателей перспективности «Показатели экономической эффективности инноваций» занимает первое место с результатом 0,348. Это обусловлено большим годовым экономическим эффектом и высокой рентабельностью инвестиционных затрат проекта 1 относительно других проектов.

Учитывая результаты расчета интегрального показателя перспективности, ранги между проектами распределяются следующим образом:

- ранг 1 – проект № 4 с результатом  $R_{\text{инт}_4} = 1,69$ ;
- ранг 2 – проект № 1 с результатом  $R_{\text{инт}_1} = 1,54$ ;
- ранг 3 – проект № 2 с результатом  $R_{\text{инт}_2} = 0,781$ ;
- ранг 4 – проект № 5 с результатом  $R_{\text{инт}_5} = 0,686$ ;
- ранг 5 – проект № 3 с результатом  $R_{\text{инт}_3} = 0,296$ .

Для первоочередной реализации целесообразно включить в план инновационной деятельности проекты, имеющие интегральный показатель перспективности 0,7 и выше (уровень перспективности, обеспечивающий наибольшее влияние проекта на оптимизацию производственных процессов), т.е. проекты 4 ( $R_{\text{инт}_4} = 1,69$ ), 1 ( $R_{\text{инт}_1} = 1,54$ ) и 2 ( $R_{\text{инт}_2} = 0,781$ ). Именно эти улучшающие процессные инновации обладают высоким уровнем перспективности, а значит, они смогут обеспечить достижение сильных конкурентных преимуществ предприятия в перспективе, обусловленных повышением технического уровня производства и выпускаемой продукции, уровня организации производства и труда, улучшением использования материальных и трудовых ресурсов, производственных мощностей. Проекты 5 и 3, с точки зрения перспективности, не привлекательны для ОАО «Мельинвест», поэтому их не следует рассматривать при формировании плана инновационной деятельности.

Предлагаемая методика является универсальной и подходит не только для ОАО «Мельинвест», но и для любого другого промышленного предприятия, внедряющего улучшающие процессные инновации.

Используя инструментарий комплексной оценки перспективности, можно определить рейтинг проекта в анализируемой группе проектов по совершенствованию технологических процессов, а также дать предложения по формированию плана инновационной деятельности предприятия на предстоящий период.

#### Библиографический список

1. **Охезина, Г.М.** Оценка экономической эффективности и выбор инновационных решений при разработке новой техники для предприятий машиностроения: учеб. пособие / Г.М. Охезина, Т.И. Ермакова, М.М. Дурандин; Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 2011. С. 7–13.
2. **Боронин, О.С.** Оценка эффективности инновационных проектов в области эксплуатационной безопасности автомобильного транспорта: монография / О.С. Боронин, С.Н. Яшин; Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 2013. – 242 с.



*Дата поступления  
в редакцию 17.10.2013*

**S.N. Yashin, G.M. Okhezina**

**FORMATION AND PRACTICAL APPROBATION OF A TECHNIQUE  
МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ESTIMATIONS OF PERSPECTIVITY  
OF IMPROVING PROCESS INNOVATIONS**

Realisation of improving process innovative projects can cause set of essential changes in enterprise activity. Character of these changes can be various and depends on the project purposes. In this connection, at an estimation of projects at a stage of planning of innovative activity of the decision it is required to accept taking into account the complex analysis of all characteristics of the project.

In article the toolkit многокритериальной estimations of perspectivity of improving process innovative projects with which help it is possible to spend their ranging is offered and to choose the most preferable projects for realisation.

*Key words:* technique, estimation, process innovations, perspectivity of projects, innovative activity.

## СОЦИАЛЬНЫЕ НАУКИ, ИННОВАЦИИ В ОБРАЗОВАНИИ, PR-ТЕХНОЛОГИИ

УДК 130.12

Т.В. Маркова

### ОБЩЕСТВЕННЫЙ ИДЕАЛ КАК ЭЛЕМЕНТ ИДЕОЛОГИИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ: ОПЫТ РУССКОЙ ФИЛОСОФСКОЙ ПУБЛИЦИСТИКИ НАЧАЛА XX ВЕКА

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексева

Предметом анализа в настоящей статье являются основные тенденции конструирования общественного идеала как идеологии преобразования России, отражённые в работах представителей русской неакадемической философии начала XX века. Будучи одной из главных тем социально-философской публицистики данного периода, проблема общественного идеала актуализируется в современности в том же ключе, что и в программе «возврата к идеализму», провозглашённой в своё время Н.А. Бердяевым, С.Н. Булгаковым, Вяч. Ивановым и др. Понятия «соборности» как модели общественных преобразований, «теургии» и «христианской политики» как способов социального действия становятся главными дискурсивными ориентирами социально-философского анализа современных российских реалий.

*Ключевые слова:* общественный идеал, соборность, теургия, неакадемическая философия, религиозная метафизика, идеализм, социальная философия.

Радикальные социальные преобразования постсоветских десятилетий породили глубокий кризис ментальной самоидентификации, обусловив необходимость социально-философского анализа духовных оснований личности и общества. Воссоздание целостности отечественных духовных практик, восстановление утраченной преемственности актуализируют поиск той исходной точки отсчёта, которая способствовала бы преодолению наших «метаний» между традицией и новацией, ностальгией и ожиданием перемен. Свойственная современности неопределённость в отношении прошлого оборачивается отсутствием чётких ценностных ориентиров его восприятия и осмысления, изначально придаёт историческим исследованиям в сфере социальной философии некоторую иррациональную направленность. Прошлое воспринимается как «тиски истории», ограничивающие свободу выбора», как нечто, «не вписываемое в логический контекст развития» [1, с. 7].

Проблематичность выхода за рамки данного понимания является, на наш взгляд, серьёзным «камнем преткновения» на пути осуществления многочисленных проектов современной российской модернизации: любая идеология преобразования не может не опираться на поиск интегрирующего основания, вокруг которого могут консолидироваться различные социальные группы.

«Общественный идеал» – одно из тех понятий, сфера концептуализации которого способна преодолеть описанное противоречие. Опираясь на то или иное решение основной проблемы идеального общественного устройства – вопрос соотношения личности и государства, «общественный идеал» выступает как один из смыслообразующих центров, фокусирующих единство отечественной социальной философии. Историческое исследование

его становления и развития в российском социальном пространстве в силу этого выводит нас за пределы дилемм сослагательного наклонения «истории» и многочисленных вариантов «ретропрогнозирования», что, на наш взгляд, чрезвычайно важно на фоне встречных «поворотов» общественности [1].

Помимо этого, социальное «несвершившееся» может здесь быть представлено в рамках рационально-конструктивного отношения к истории, когда мы видим в прошлом школу человеческого опыта. В современных условиях дефицита нового универсального содержания во взаимодействии личности и общества, утверждения новых духовных ценностей, подобный подход к осмыслению исторического наследия социально-философской мысли представляется нам наиболее приемлемым.

Актуальность обращения к исследованию «общественного идеала» становится ещё более ощутимой в контексте духовного опыта «канунной» России начала XX века, который во многих измерениях вновь воспроизводится современными реалиями. Как и столетием назад, можно говорить о непростом выборе формирования новых социальных структур, стремлении к новой невиданной ранее свободе и глубине социального. В наши дни мы переживаем состояние «ожидания» общественного идеала, когда, преодолев идеологическую монополию, тем не менее, не спешим воссоздать новую основу духовного единства [2]. «Ментальный стереотип строительства коммунизма оказался как бы «забытым», но непреодоленным, мы по-прежнему живём «надеждой на избавление», избегая возможности действовать и ускользая от необходимости что-то решать» [3, с. 631]. Общественный идеал – каким мы видим его в работах русских мыслителей начала XX века – мыслится преимущественно в контексте рефлексии «срыва», «катастрофы».

Для правильного понимания отношения общественного идеала к социально-исторической действительности, свойственной русской философской публицистике начала XX века, следует выявить смысл и принятое ею решение антиномии между двумя, по-видимому, противоположными установками в отношении к общественной деятельности. Эта деятельность основана на христианской доктрине отношения к миру: между аскетическим «мироотвержением» и христианской (для изучаемой нами традиции – специально православной) икономией.

Наиболее последовательное и внятное изложение решения этой проблемы (в существенных чертах разделяемое всеми представителями изучаемой нами традиции русской социальной философии), мы считаем, принадлежит Вяч. Иванову. Им утверждается, что христианское мироотношение формировалось под влиянием, в данном случае – притяжением или отталкиванием, – исторически предшествующих ему форм религиозности и основанных на них философских учениях.

Помимо этого, следует утвердить существеннейшую несводимость христианской доктрины отношения к миру на эти «влияния» (русская социальная философия изучаемого нами направления позиционировала себя как принимающая, адекватно интерпретирующая и последовательно реализующая доктрину христианской икономии). Вяч. Иванов важнейшими среди предшествующих традиций считал иудейскую религиозность, эллинистический пессимизм и арийское мировоззрение.

Он утверждал: «В лоне еврейства родился мистический энергетизм, ставший душой христианской культуры и связанный с нашими конечными чаяниями. Еврейство дало нам в спутницы вечную Надежду, - она же распростирает свои радуги над всем нашим деланием, над всем творчеством европейской души, хотя бы душа эта и забыла до времени о своем таинственном и навеки действенном крещении. В самом деле, евреи, с исключительной среди всех племен земли настойчивостью, провозгласили право человека на свое свободное самоутверждение; они поставили его судьей над миром и истцом перед Богом» [4, с. 52]. Противоположная позиция, по Вяч. Иванову, характерна для эллинов: «Напротив, эллины не могли преодолеть уныния, возвращенного в них сознанием природного неравенства бессмертной семьи и рода смертных, ведь и Прометей их только потому был столь могущественным и

успешным поборником человечества, что сам родился бессмертным титаном и полубогом» [4, с. 52]. Эллинам оставалось «или подчиниться бессмертным, или отрицать мир, и по отношению к миру – или принимать его как извне и насильственно данный (хотя бы, по мысли позднейших философов, и не сущий во истину), или искать из него выхода в самоубийстве» [4, с. 52]. Индусы же «растворили человеческое самоутверждение в едином целом мировой жертвы и круговой поруки вселенской; на идее отвержения феноменального, на морали отрезанности от всего данного в обманчивом представлении и призрачном разделении построили они глубочайшие идеалистические системы, философские и религиозные, но их отвержение значило только идеалистическое «нет» миру, их возмущение, лишенное реального объекта борьбы, было только «угашением» [2, с. 52].

Но и для арийской мысли утверждает Вяч. Иванов, «мир оставался безусловно данною, насильственно навязанною познающему духу наличностью явлений» [4, с. 52]. Евреям же, продолжает Вяч. Иванов, мир предстал как «результат сочетания свободы и принуждения, как форма взаимодействия воли дающей и воли принимающей, как взаимный долг и обязательство Творца и сотворенного. Эта почти юридическая концепция первоначальной, едва ограниченной свободы, древнего правонарушения со стороны человека, его отсюда проистекшей кабалы и, наконец, дальнейших договоров, смягчивших кабальные отношения, – была закреплена в почти недвижимых формулах прочно сложившейся религии» [4, с. 52]. Вяч. Иванов утверждает, что, несмотря на прочность иудейской религиозной традиции, творческое (в его терминологии – «мистическое») начало не было задавлено, устранено. Идея «обновленного» (или даже «третьего») завета, «длящегося откровения» – одна из важнейших в начале века идей, оправдывающих социальное творчество и обосновывающих творческую деятельность по конструированию идеи общественного идеала и его действительности для социально-исторической реальности посредством творческой (если воспользоваться термином того времени – «теургийной») деятельности. У евреев, по Вяч. Иванову, это было дело пророков: «Пророки посветили себя предуготовлению этого нового завета, с некоторой поры уже, быть может, вдохновляемые и веяниями чужеземной мистики, пока Второму Исаяи не удалось убедить сердца людей, что рай, «золотой век» и «Сатурново царство» древних, «Новый Иерусалим» Апокалипсиса, «Гармония» Достоевского, иными словами – мир «преображенный», то есть мир, по отношению к которому наше свободное «нет» обращается в свободное «да», – не позади, а впереди живущих поколений» [4, с. 52].

Русская социальная философия начала XX века идеалистически-религиозного толка находилась под отчетливым влиянием доктрины В.С. Соловьева о свободной теократии; деятельность по конструированию и осуществлению в социально-историческом бытии общественного идеала в существенных чертах воспроизводило тот же смысл, которое имело «пророческое служение» в соловьевской доктрине свободной теократии. Это относится, в том числе, и к концепции антроподицеи, оправдания творчеством, профетического социального действия Н.А. Бердяева, многократно подчеркивавшего отличия своей мысли от соловьевских влияний. Возвращаясь к Вяч. Иванову, следует определить отмеченную «несводимость» христианства к влиянию обозначенных нами, вслед за Вяч. Ивановым, религиозных и основанных на них философских традиций. Смысл христианства (в важном для нас в диссертации аспекте) заключался в том, что произошла «замена договорных отношений доверием любви и сыновства – в этом было содержание осуществленного Нового Завета» [4, с. 53].

Из этого следует новое отношение к миру для тех, кто принимает основанную на христианстве и вырабатываемую церковью доктрину деятельности в мире; особенности стилистики текстов Вяч. Иванова делают необходимым для нас приведение довольно обширных выписок, так как только так можно сохранить присущую этим текстам в высшей степени сложную, чтобы не сказать причудливую, игру смысловых оттенков и subtilных различий, важных, однако, для решения задач нашего диссертационного исследования.

Итак, Вяч. Иванов пишет: «Если есть борение воли в их любовном слиянии, наложе-

ние своего я в беззаветной его отдаче, требование в поцелуе, – то и Христос – богоборец. Богом возлюбленный более всех, Христос раскрыл идею неприятия мира во всей антиномической полноте ее глубочайшего содержания. Он велит «не любить мир, ни всего, что в мире», – и сам любит мир в его конкретности, мир «ближних», мир окружающий и непосредственно близкий, с его лилиями полевыми и птицами небесными, веселиями и благовониями, и прекрасными лицами людей, как в солнечной разоблаченности прозрачного мгновения, так и под дымною мглой личин греха и недуга. Он говорит, что царство Его не от мира сего, – и вместе благовествует, что оно «здесь, среди нас». Он тоскует в мире, потому что «мир лежит во зле», но каждое мгновение сам снимает зло и восстанавливает мир истинный, который внезапно становится видимым и осязаемым тронутой Им душе, как исцелившемуся слепорожденному. Такое неприятие мира мы называем правым, ибо оно – «непримиримое Нет», из коего уже сияет в своих сокровенных возможностях «ослепительное Да». Здесь отрицающий дух уподобляется погруженному в землю зерну, которое не прозябнет, если не умрет. Это христианское неприятие мира составляет принцип мистического энергетизма, движущей силы нашей – явно или латентно – христианской души» [4, с. 53]. Вяч. Иванов знает (и проводимое здесь различие всегда удерживается в размышлениях об общественном идеале и духовных началах общественного устройства в русской социальной мысли изучаемого в диссертации направления), что мистический активизм предполагает существование и других возможностей; вполне обычно для отечественной социальной философии, что «проводником» в запутанном лабиринте возможностей «мироотрицания-мироприятия» был Ф.М. Достоевский, его, по определению Б. Энгельгардта, «идеологические романы. Таким образом, мистически-анархистская антиномическая, как мы показали выше, опираясь на тексты Вяч. Иванова, идея «неприятия мира» была существенным смысловым элементом конструкта общественного идеала, создаваемого в традиции изучаемого в диссертации направления социальной философии: в ней утверждалась свобода как основа творческого («теургийного») общественного служения, направленного к соборному усовершенствованию социально-исторической действительности; «идея неприятия мира – идея мистико-анархическая, поскольку раскрытие ее необходимо вводит нас в круг мистических переживаний личности, и, противопоставляя необходимости последнюю свободу, человека, постулирует соборность как последнюю свободу человечества, исключаящую в сфере общественных отношений всякое принуждение. С другой стороны, мистический анархизм до конца утверждает свою подлинную сущность только в этом споре против мира данного во имя мира, долженствующего быть, – так что идея неприятия является ближайшим определением мистического анархизма» [4, с. 56].

Принцип ничем неограниченной свободы, примененный к обществу, называется анархизмом. Следует заметить, что одно время Бердяев находился под обаянием идеи мистического анархизма (хотя всегда смысловое ударение в термине делалось на мистику). Наиболее авторитетным представителем этого течения в России был Вяч. Иванов, который, по характеристике Бердяева, вообще был «главным теоретиком соборной культуры» [5, с. 152].

Если попытаться кратко охарактеризовать существо этого «настроения» (учением мистический анархизм назвать сложно), то следует прежде всего определить причины того влияния, которое стали оказывать мистические настроения в начале XX века, и не только в России. Иванов писал: «С кризисом нравственных императивов открылись необъятные горизонты мистики, понимаемой как свободное самоутверждение сверхличной воли в индивидууме. Индивидуализм стремился к интеграции личности в ее переживаниях, уединяя и дифференцируя в то же время личность в плен общественном; но мистический сверхиндивидуализм перебрасывает мост от индивидуализма к принципу вселенской соборности, совпадая в общественном плане с формулой анархии, поскольку последняя, в ее чистой идее, представляет синтез безусловной индивидуальной свободы с началом соборного единения» [4, с. 40].

Таким образом, по мнению Иванова, сама мистика теснейшим образом связана с принципом соборности (для Бердяева, испытавшего на себе сильнейшие влияния немецкой

мистики, да и еще до всяких влияний, просто в силу его душевной организации, эти утверждения не были чужды); «мистика, будучи сферой последней внутренней свободы, уже анархия. Верховные переживания, составляющие ее содержание, в такой мере запечатлены характером безусловности, что они, оказываясь в противоречии с какими бы то ни было извне данными нормами, снимают их ценность и делают их для мистика или необязательными, или прямо враждебными. Истинный мистик уже есть *eo ipso* личность безусловно автономная. Даже в своем отношении к религии – той сфере, которая всего естественнее могла бы быть опасной для внутренней свободы мистика, – он сохраняет всю полноту своей независимости: орган религиозного творчества, как пророк, он изменяет себе, склоняясь перед авторитетом извне преподанной, а не внутри себя обретенной истины» [4, с. 56]. Но, не поддерживаемое постоянным переживанием истины, это обретение, по мнению В. Иванова, становится изменой свободе и утрачивает динамику. Со свойственной для его философских текстов образностью, Вяч. Иванов сравнивает душу мистика не с навсегда устроенным и замкнутым храмом, а с плывущим под изменчивым звездным небом кораблем. Далее Иванов утверждает: «Равно идея безвластия есть уже мистика или, по крайней мере, является несостоятельной, если отчуждена от корней мистических. Ибо провозглашения своеначалия личности целью лишь тогда, когда личность понимается не в эмпирическом только, но и в умопостигаемом ее значении и когда свободе человека придается смысл безусловно самоопределяющейся волевой монады, утверждающей себя независимо от всего, что не она, будь то воля Божества, или мировая необходимость. Ведь в свободе и священном безумии этого волевого акта, противопоставляющего себя всему наличному и извне налагаемому на человека, мы и усматриваем существо мистики» [4, с. 56-57].

Таким образом, понятие «мистический анархизм» внутренне вполне последовательно и «непротиворечиво», и задачей становится ответить на вопрос, «какое место, по мнению пишущего эти строки, притязает занять мистический анархизм в ряду культурных факторов современности, в какое отношение к ним он становится? И прежде всего как относится он к двум смежным мистике и анархии сферам культурной жизни: к религии, с одной стороны, к политике – с другой? Обеим – поскольку обе равно устанавливают обязательные нормы вне «да» и «нет», метафизически заложенных в глубине индивидуального сознания, и полагают заповедные грани индивидуальной свободе, – мистический анархизм отвечает отказом от этих норм и этих граней. Перед лицом обеих он является с чисто отрицательными признаками религиозного адогматизма и общественно-правового аморфизма; но с тем большею настойчивостью утверждает динамическое самоопределение как религиозного, так и общественного начала: религию как жизнь и внутренний опыт как пророчество и откровение, общественность – как становящуюся соборность. Ибо мистический анархизм, если можно говорить о нем как о доктрине, принадлежит той области духовных исканий, которую можно было бы назвать одегетикой, то есть субординируется под родовое философствование о путях [не целях] свободы.

Однако в социальной «проекции» мистического, «будучи попыткой противопоставить познанию, стремящемуся осознать сущее в категории необходимости, практический разум, устремленный на осуществление должного в категории свободы, мистический анархизм – не мораль, поскольку не предопределяет действия, и вместе мораль, поскольку признает императив свободного и цельного самоутверждения нашей конечной воли, императив энергетизма. А это самоутверждение есть уже неприятие мира – хотя бы на один только миг, первый миг новой жизни в свободе, – неприятие мира как мира данного и наличного и противоположение ему своей автономной оценки и вольного избрания. Так мистический анархизм не предрешает и путей делания общественного, полагая, однако, как цель последнюю свободу и общественных отношений. Он не строит, и не скрепляет скрепами; развязывает, а не связывает энергии, и не знает между ними иной связи, кроме соприсущего им тяготения к полюсам сверхличного. Ибо соборность – сверхличное утверждение последней свободы» [4, с. 58].

Анархия также видится Иванову достаточно определенно: «внешнюю форму соборной связи. Единственно приемлемую для мистического анархизма, но тем более ему желанную, были бы общины – союзы мистического избрания по сродству взаимно угаданного их членами друг в друге последнего «Да» и «Так да будет», погребенного в их последнем Молчании» [4, с. 59]. На этой основе, как мы видим, возникает своеобразное понимание соборности, несколько отличное как от обосновываемого в метафизике всеединства, так и, тем более, в традиционной православии [которое, вообще-то, весьма неохотно, лишь под влиянием внешних обстоятельств, использовала сам термин – «соборность» после того, как он «вошел в моду» в философии].

Итак, «то, что было охарактеризовано выше как реалистическое переживание или внутренний опыт мировой мистической реальности, имеет свою постоянно основую ощущение женственного в мире, как вселенской живой сущности, как Души Мира. Реалист мистический – тот, кто знает Мать–владычицу, желанную Невесту, вечную Жену, и в ее многих ликах узнает единый принцип, обращающий впервые феномены в действительные символы истинно сущего, воссоединяющий разделенное в явлении, упраздняющий индивидуацию и вместе опять ее зачинающий. Вынашивающий и лелеющий, как бы в усилиях достичь все неудавшейся, все несовершенной гармонии между началом множественности и началом единства, реалист мистический видит Ее в любви и в смерти, в природе и в живой соборности, творящей и человечества – осознанно или бессознательно для личности – единое вселенское тело. Через посвящение в таинство смерти Достоевский был приведен, по–видимому, к познанию этой общей тайны, как Данте через проникновение в заветную святыню любви. И как Данте через любовь открылась смерть, так Достоевскому – через смерть – любовь. Этим сказано, что обоим раскрылась Природа, как живая Душа» [4, с. 304]. В отношении к сказанному, принцип соборности определяется как «солнечность нашего преображающего устремления, мужественный принцип соборности, разоблачающейся в духе как таинство любви, как священное тайновидение пола» [4, с. 88]. И все-таки, что же такое соборность? Если последовать за Ивановым в определении этого понятия, то первыми, наиболее существенными, определениями будут следующие: «Теза Божьего «Аз есмь» и антитеза человеческого «аз есмь» синтетически объединенная в начале соборности, которая стоит под знаком вселенского «ты еси». Все три вершины этого треугольника святы» [4, с. 271].

Уже сейчас мы можем отметить, что это понимание является близким Н.А. Бердяеву. Возвращаясь к его теории соборности, следует обратить внимание, что субстанциальное качество соборности – свобода – есть существенное выражение того, что религиозная общественность – соборность – духовна, и «так же, как ни от кого нельзя получить той религии, которой не имеешь в себе, ни от кого нельзя получить и той общественности, которой в себе не имеешь. Новая религиозная общественность, богочеловеческое общение в Духе незримо и неприметно приходит в мир. Эта религиозная общественность, это Царство Божие непостижимо для мира» [6, с. 380]; сказанное приводит к тому выводу, что, несмотря на все наши субъективные усилия, которые мы должны предпринимать для утверждения истинного общения и основанного на нем общества, соборность «может быть лишь изначально и чудесно обретаема, к ней нет путей через протестантский индивидуализм» – [7, с. 35], – и это тем более очевидно, если рассматривать соборность как результат богочеловеческого процесса, где деятельность человека непременно должна быть освящена Божьей благодатью.

Таким образом, идея соборности в социальной философии Бердяева выполняет двоякое значение: во–первых, соборность может быть понята в качестве общества, основанного на истинной идее общения, как «истинное общества», во-вторых, и это сейчас для нас наиболее существенно – идея соборности выполняет роль регулятивной идеи для познания реально существующих обществ. Эта идея тем более важна для социальной философии именно во втором смысле, что сам Бердяев утверждал: «И если не будет христианского творчества и

христианского строительства жизни, христианского строительства общества, то антихристианское и антихристово творчество и строительство будет захватывать все большие и большие районы, будет торжествовать во всех сферах жизни» [6, с. 262-263].

Оно и торжествует прежде всего в современном обществе. Происходящие в обществе процессы именно происходят с человеком, оставаясь чуждыми ему; «общество есть для меня объект, социальность есть объективация. Общество не экзистенциально и жизнь в нем, выброшенность в него есть чуждое во мне самом» [8, с. 270]. Как прохождение через объективацию есть судьба духа в этом мире. И объективация имеет положительное значение в падшем мире, она может вооружать и защищать человека [9, с. 195], так и «тот факт, что я выброшен в социальную обыденность, имеет огромное значение для судьбы «я», есть факт его внутреннего существования. Выброшенность «я» в социальную обыденность есть его падшесть. Но эта падшесть есть событие в его существовании, «общество» есть судьба «я» в этом мире разобщенности» [8, с. 270].

Обращаясь к социально-философским концепциям прошлого, мы осуществляем своего рода ностальгический «поворот» к некому «порогу несбывшегося». Программа преобразований, определенная в начале XX века идеалистическим, религиозно-модернистским, мистически-анархистским направлением русской неакадемической философии, никогда не была реализована. Да и самой программы, понимаемой как упорядоченная, структурированная совокупность шагов, действий, направленных к достижению определенных целей (политических, экономических и т.п.), по-видимому, так и не оказалось. С точки зрения современного исследователя, велико искушение уличить названных авторов в утопизме, мечтательности, утверждать иллюзорность, даже фантастичность сконструированной ими смысловой конструкции, которая лишь по недоразумению или благодущию может быть названа «общественным идеалом». Этот идеал не имел тогда, и, тем более, не имеет сейчас никакого практического значения. Более того, сама область его «местобития» (религиозное сознание, религиозная общественность) перестала быть и опознаваться средствами современного научного познания, социальной мифологии и политической идеологии. Определяя значение постулированных тогда положений, высказанных догадок и надежд, определенных максим, для современных реалий, мы должны в первую очередь указать на два явных, на поверхности лежащих, аспекта этого значения.

Во-первых, можно предположить, что те идеи имеют критический потенциал для понимания и оценки современных реалий; возможность взглянуть на современность как бы со стороны расширяет возможности самосознания, особенно если соглашаться с утверждением о том, что современность находится в преемственной связи с нашим не таким уж далеким прошлым (наше государство также называется Россией, у нас есть Государственная Дума, кажется, говорят о единстве культуры, значительно меньше, в видах политкорректности следует полагать, о народе и традиции).

Во-вторых, изучение отечественной философской традиции, в том числе традиций социальной философии, может рассматриваться как инструмент реанимации национального самосознания, если считать сконструированный в рассмотренной традиции социальной философии концепт общественного идеала имеющим отношение к национальному самосознанию.

В-третьих, явное преобладание нравственного и религиозного аспектов в общей идейной конструкции общественного идеала, совершенно чуждое современной постановке проблемы общественного идеала, может помочь выявить недостатки последней.

Реконструкция социальной реальности в контексте общественного идеала создает новое пространство для анализа духовных оснований жизни современного российского общества. Концептуальный и объяснительный потенциал русской неакадемической философии начала XX века значительно расширяет возможности изучения постсоветской действительности, выявляя новые факторы и направления ее развития. Их гармонизация напрямую зависит от адекватности восприятия предшествующего опыта, реализуемого в различных моделях общественного идеала.



## Библиографический список

1. Казакова, В.И. Концептуализация path dependence в современной социальной науке // Вестник НГТУ им. Р.Е. Алексеева. Серия «Управление в социальных системах. Коммуникативные технологии». 2012. №3. С. 6–16.
2. Маслов, Е.С. Ожидание осуществления социального идеала как феномен массового сознания / Е.С. Маслов – дисс... канд. филос. наук – Казань, 2003. – 188 с.
3. Казакова, В.И. Белая лошадь: разум и вера в современной России / В.И. Казакова, Т.В. Маркова // Актуальные проблемы социальной коммуникации: материалы II международной научно-практической конференции. – Н. Новгород: НГТУ, 2011. – 72.
4. Иванов, В.И. Родное и вселенское / В.И. Иванов. – М.: Республика, 1994. – 428 с.
5. Бердяев, Н.А. Самопознание / Н.А. Бердяев. – М.: Книга, 1991. – 446 с.
6. Бердяев, Н.А. Философия творчества, культуры и искусства. Т. 2 / Н.А. Бердяев. – М.: Искусство, 1994. – 580 с.
7. Бердяев, Н.А. Философия свободы / Н.А. Бердяев // Философия свободы. Смысл творчества. – М.: Правда, 1990. С. 12–252.
8. Бердяев, Н.А. Я и мир объектов / Н.А. Бердяев // Философия свободного духа. – М.: Республика, 1993. С. 230–316.
9. Бердяев, Н.А. Опыт эсхатологической метафизики / Н.А. Бердяев // Царство Духа и царство кесаря. – М.: Республика, 1994. С. 164–286.

*Дата поступления  
в редакцию 17.10.2013*

**T.V. Markova**

**SOCIAL IDEAL AS TRANSFORMATION IDEOLOGY ELEMENT:  
THE EXPERIENCE OF RUSSIAN PHILOSOPHICAL JOURNALISM  
OF THE BEGINNING OF THE TWENTIETH CENTURY**

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

**Purpose:** The subject of socio-philosophical analysis in this paper is the constructing of social ideal by means of Russia transformation ideology.

**Design/methodology/approach:** The source base of research is the concepts of non-academic Russian idealists of the beginning of the twentieth century. Return to idealism is considered to be the most actual methodology for modern Russian society analysis.

**Findings:** Social reality reconstructing creates new research space for studying the spiritual life of contemporary Russia. Explication and conceptual potential of non-academic Russian philosophy give more opportunities for post-soviet reality research.

**Research limitations/implications:** The theoretical significance means new strategies of social knowledge development.

**Originality/value:** Social ideal as social reality model is been functioning in any historical period within the context of the unattainable level of society development. The main problem of Russian ideal social system is the question of person and society relationship. The way of its dissolving determines the social ideal concept in any historical period.

*Key words:* social ideal, community, teurgiya, non-academic philosophy, religion metaphysics, idealism, social philosophy.

УДК 378

Е.С. Савенкова

**К ВОПРОСУ О СОВРЕМЕННЫХ ПОДХОДАХ В ОБУЧЕНИИ СТУДЕНТОВ  
ОФОРМЛЕНИЮ ДЕЛОВЫХ ДОКУМЕНТОВ (ЖАНР РЕЗЮМЕ)**

Нижегородский государственный технический университет им Р.Е. Алексеева

Предметом исследования в данной статье является жанр резюме, его структура и содержание в восприятии будущих специалистов – студентов технического вуза. Как показывают опросы, большинство студентов не имеет четкого представления о специфике этого жанра. Автор предлагает в статье методические приемы аудиторной работы со студентами и их самостоятельной поисковой деятельности, которые позволяют избежать ошибок в составлении резюме и создать документ, эффективный для удачного поиска работы. Жанр резюме рассматривается как с точки зрения лингвистики, так и экстралингвистически, с привлечением знаний из области психологии, а также кадровой работы на предприятиях.

*Ключевые слова:* резюме, официально-деловой стиль, жанр, документ, культура речи, профессиональные компетенции.

Тема «Деловые бумаги» занимает важное место в курсе «Русский язык и культура речи» в политехническом университете и изучается в блоке «Стили речи». Умение составлять резюме является принципиально важным для любого студента, который после окончания вуза рассчитывает получить престижную и квалифицированную работу по специальности. Однако опросы показывают, что большинство студентов не знают о том, как правильно составить этот документ. Из 88 опрошенных (студенты 1–2-го курсов технических специальностей очной формы обучения) 10 реципиентов (11, 3%) не имеют представления о форме резюме вообще, 38 (43, 1%) реципиентов не различают резюме и автобиографию, а 40 (45, 4%) реципиентов знают структуру резюме приблизительно, причем лишь треть из них выделяет основные информативные блоки резюме (персональная информация, образование, опыт работы, профессиональные навыки и т.д.).

Для студентов младших курсов эта ситуация вполне естественна, так как поиск работы не является для них актуальным. Однако и резюме, создаваемые студентами с помощью различных интернет-ресурсов (в качестве домашнего задания по курсу «Русский язык и культура речи»), также не лишены недостатков. Работники кадровых отделов нередко отмечают, что студенческие резюме, бездумно копируемые с шаблонов с интернет-сайтов или компьютерной программы Word, могут усложнить и удлинить поиск работы. Например, молодому специалисту не стоит указывать «требуемую» зарплату, но можно высказать пожелания по окладу в личной беседе. Кроме того, из огромного множества предлагаемых вариантов следует выбрать шаблон с хорошим шрифтом и лаконичным оформлением [1]. В любом случае для создания эффективного текста начинающему специалисту придется изучить множество специализированных сайтов.

Следует заметить, что студенты старших курсов, особенно заочной формы обучения, составляют резюме более структурированно и грамотно, что связано с актуализацией знаний студентов по составлению этого документа при трудоустройстве. В настоящее время в некоторых технических вузах вводятся экспериментальные (факультативные) речеведческие дисциплины, позволяющие будущим специалистам развивать коммуникативно-речевые навыки как при приеме на работу, так и в дальнейшем взаимодействии с руководителями и коллегами. Таковым является, например курс «Культура профессиональной речевой деятельности», апробированный на базе НГТУ им. Р. Е. Алексеева у магистров первого года обучения, в котором предлагается рассматривать коммуникативную компетентность личности «не просто как общекультурную компетенцию (как это принято), а в качестве обязательной составляющей профессиональной культуры будущего работника» [2, с. 186].

Однако не всегда в вузе есть возможность проведения дополнительных курсов, поэтому нам представляется эффективным включать упражнения по составлению резюме в курс «Русский язык и культура речи» для студентов младших курсов – для получения практических навыков, необходимых в будущем, и для изучения специфики деловых бумаг.

Если уделить должное время составлению резюме в курсе «Русский язык и культура речи», студент сможет в будущем сэкономить время и увеличит шансы найти желаемую работу. Занятия по данной теме должны строиться на стыке лингвистики, социолингвистики и психолингвистики с привлечением различных интернет-источников.

Резюме – документ, «содержащий информацию о навыках, опыте работы, образовании и другой информации, требуемой при рассмотрении кандидатуры человека для найма на работу» [3, с. 33]. Это сравнительно новый жанр официально-делового дискурса, находящийся «в стадии становления, о чем свидетельствует отсутствие нормативно определенного закрытого списка реквизитов и опора при продуцировании текста резюме на гибкие образцы-схемы» [4, с. 10-11]. Однако в настоящее время существуют определенные требования к оформлению резюме, что позволяет сотрудникам кадровых отделов быстро подбирать интересующих кандидатов и отсеивать бесперспективных. Очевидно, что помимо изучения текста резюме с лингвистической точки зрения, студентам придется «читать между строк» и анализировать этот документ с психологической точки зрения, так как резюме, по сути, является саморекламой соискателя.

Чтобы понять, как смоделировать эффективное занятие по составлению резюме, рассмотрим ошибки и недочеты, допускаемые студентами при создании этого документа.

Известно, что фамилия и имя помещаются в начало документа, по центру, и являются своеобразным заголовком резюме. Они должны быть выделены жирным шрифтом, набраны крупно, так как с психологической точки зрения, это свидетельствует об адекватной самооценке человека. Инициалы, указанные неярким шрифтом, «спрятанные» в тексте резюме, становятся для кадрового работника сигналом неуверенности соискателя в целом, а значит, и в своих способностях в профессиональном плане. Часто студенты не знают этой «хитрости» резюме и помещают свои инициалы в углу документа. По традиции, пришедшей из иностранных резюме, отчество в документе можно не указывать.

В графе «Персональные данные» должны быть указаны возраст, адрес проживания, адрес электронной почты (с нейтральным или деловым именем, но не шутивным или фривольным), телефон для связи; семейное положение указывается по желанию.

Что касается информации в графе «Цель», то, во-первых, многие указывают несколько искомых должностей. Во-вторых, описывают вакансию приблизительно (например, «Цель: ищу подработку в сфере оператора ПК, работы с документами и информацией»), в-третьих, дают избыточную информацию, удлиняя описание посторонними фактами, но при этом упускают конкретные данные («Цель: работа с оплатой труда выше среднего, как на инженерной, так и на руководящей должности, в сфере химической промышленности. Обладаю как теоретическими, так и прикладными знаниями общей органической и неорганической химии, знаниями в области электрохимии и процессах и аппаратах химической технологии»).

В графе «Образование» допускаются логические ошибки («Образование: участник крупнейших международных конференций, выставок, собраний»), информация не структурирована, не указаны факультет и специальность. Лишь в одной работе встречается упоминание о бакалавриате, причем с ошибкой – «бакалавриатура» (видимо, по аналогии с аспирантурой), что свидетельствует об отсутствии у студентов четкого представления о современной двухуровневой системе обучения в вузе. Многие студенты указывают аббревиатуру вместо полного названия вуза. Это не грубое нарушение, однако следует помнить о том, что кадровые сотрудники организации из другого города могут не знать расшифровки аббревиатуры «НГТУ». Нежелательно использование в графе «Образование» кратких страдательных причастий («окончено», «получено» и т.д.) [4, с. 17].

В графе «Опыт работы» наблюдаются следующие нарушения:

- 1) отсутствие структуры;

2) нарушение однородности в перечислении должностных обязанностей («обработка входящей и исходящей информации, работа с деловой документацией, прием входящих звонков, отчетность»);

3) некорректное упоминание об опыте работы (например, о его отсутствии или без конкретизации, в чем опыт непосредственно заключался).

Очевидно, что большинство студентов столкнется с проблемой поиска работы без профессионального опыта. Что тогда будет «украшать» резюме молодого специалиста? Информация о дополнительном образовании, курсах, имеющих отношение к искомой должности. Приветствуется также прохождение профессиональных тренингов. В случае отсутствия опыта работы у претендента HR-специалист будет внимательно изучать информацию о его образовании и дополнительных навыках.

Если же у кандидата имеется опыт работы, то важно четко и лаконично раскрыть суть должностных функций. Лишенные конкретики описания вызовут сомнения в компетентности соискателя. С психолингвистической точки зрения, это самый интересный пункт резюме, так как например, частеречный анализ данного фрагмента позволяет представить в общих чертах психологический портрет соискателя. Например, перечень должностных обязанностей, выраженных словосочетаниями с глаголом, свидетельствует о лидерских качествах соискателя или об удовлетворенности достигнутыми результатами на предыдущем месте работы, активные глаголы делают текст более убедительным [5, с. 76]. Глаголы совершенного вида в прошедшем времени «говорят» читающему о том, что соискатель уже завершил (закончил, поступил, получил). Благоприятное впечатление создает также использование качественных прилагательных (профессиональный, качественный, быстрый и проч.), например «владею компьютером на уровне уверенного пользователя» [4, с. 19].

В графе «Профессиональные навыки» неуместно упоминание об отсутствии знаний и навыков («иностранными языками не владею, опыта зарубежных поездок не имею, навыков вождения автомобиля нет») или указание необязательных для вакансии умений. Например, если целью является должность инженера-техника, информация о том, что кандидат имеет среднее музыкальное образование по классу фортепиано, является лишней. Ненужная информация в резюме расценивается рекрутером как отсутствие четкого мышления у автора резюме. Недопустимо также смешение должностных обязанностей и навыков.

Степень владения иностранными языками часто указывается некорректно (например, «Английский язык: письменный – удовлетворительно, устный – базовый» или «Русский – хорошо»). Студенты имеют приблизительное понятие о том, как охарактеризовать в резюме свои знания в этой области. Многие используют школьную шкалу оценивания («удовлетворительно», «хорошо») или размытые характеристики («общее владение», «средний уровень» и т.д.). Такое представление об уровне владения языком весьма субъективно, поэтому оценивается рекрутером, читающим резюме, негативно.

Технические навыки работы с компьютером и компьютерными программами, как правило, указываются корректно. Обычно перечисляются Windows Word, Excel, MathCad, AutoCAD и др.

Важно помнить, что хорошее резюме – то, которое создано непосредственно для заявленной в объявлении вакансии. Поэтому для будущего секретаря, например, уместно будет упоминание о прослушанных курсах делопроизводства, для работника в сфере рекламы и маркетинга – нестандартные решения в тексте резюме и упоминание о законченной художественной школе, для программиста – перечисление освоенных компьютерных программ, языков программирования, сведения о выполненных проектах. Для водителя оптимальным будет указание таких навыков, как хорошее знание города, аккуратное и безаварийное вождение.

Наибольшие затруднения вызывает у студентов графа «О себе», так как в ней часто указывается информация, не имеющая прямого отношения к вакансии (например, для должности инженера-технолога: «О себе: в свободное время занимаюсь изучением французского языка, изучением специальных химических реакций. Активно отдыхаю. Увлекаюсь автоспортом»), или, наоборот, недостаточно конкретизировано хобби (для вакансии продавца-консультанта

спортивных товаров: «увлекаюсь спортом». Здесь уместно распространить информацию). Также нарушается однородность («владею ПК, технически грамотный»).

Нередко студенты допускают речевые ошибки, описывая положительные стороны своего характера, и указывают качества, имеющие негативную оценку в русском языке (например, «расчетливость», «упрямство», «трудоголик», «навязчивость»), используют разговорную лексику и обороты («быстро вливаюсь в рабочий процесс, всегда нахожусь в курсе последних новостей в области информационных технологий», «огромное желание работать», «здоровье хорошее», «отношение к ненормированному рабочему дню: отрицательное; отношение к переезду в другой город: нейтральное»).

Перечисление избитых эпитетов, восхваляющих соискателя, может быть отрицательно оценено рекрутером, так как речевые штампы, «не отображают уникальной информации об авторе резюме, а значит, снижают коммуникативную ценность всего текста [4, с. 21]. Поэтому следует отказаться от банальных характеристик (самые частотные, независимо от вида вакансии, – коммуникабельный, ответственный, обучаемый, пунктуальный, целеустремленный [4, с. 21]) и использовать нетривиальные слова и выражения либо убрать этот пункт вообще. Кроме того, на собеседовании могут попросить доказать на конкретных примерах, что вы действительно ответственны и обучаемы или попросить расшифровать понятия (что для вас, например, значит «коммуникабельность») [1].

Отдельным (и необязательным) пунктом резюме является фото. Если вакансия не связана с публичными выступлениями, то фотография будет лишней. В любом случае она должна быть строгой, деловой, сделанной на нейтральном фоне. Как правило, кадровые сотрудники рекомендуют студентам отказаться от фото в резюме [1]. Также факультативным пунктом для начинающего специалиста будет ссылка на рекомендателей.

Проанализировав ошибки в работах студентов, сделаем общие выводы.

В большинстве резюме, как правило, отсутствует четкая структура как во всем тексте документа, так и внутри каждого композиционного элемента, в перечислении нарушается однородность, не различаются персональная информация, черты характера и профессиональные навыки, не указывается уровень владения иностранным языком или ПК, создаются лишние информативные блоки (графа «место будущей работы», «наименование законченных учебных заведений», «ключевые навыки, дополнительные трудовые навыки» и т.д.). Кроме того, следует отметить ряд случаев употребления знаков препинания, несущих эмоционально-экспрессивную нагрузку (восклицательные и вопросительные знаки, многоточие), что является недопустимым в рамках официально-делового стиля.

Как предотвратить структурные и стилистические ошибки, допускаемые студентами? Обучение написанию резюме начинаем с изучения композиции резюме. Рассмотрим структурные элементы резюме и прокомментируем их содержание и оформление (табл. 1).

Таблица 1

Структура и содержание резюме

Название информативного блока	Содержание информативного блока	Комментарии к оформлению информативного блока	Пример
1	2	3	4
Персональные данные соискателя	-Ф.И.О. (в функции заголовка) -адрес -возраст -телефон, электронная почта -семейное положение	Фамилия, имя и отчество указываются полностью посередине строки. Вся остальная информация, как правило, помещается в правом верхнем углу	Ф.И.О.: Иванова Светлана Сергеевна. Дата рождения: 3. 04. 1994 г. Гражданство: Россия Телефон: *** Эл. Почта: *** Семейное положение: не замужем

Окончание табл. 1

1	2	3	4
Цель (позиция)	Искомая должность	Следует точно указывать искомую должность (так, как она заявлена у работодателя). На каждую вакансию составляется отдельное резюме. Не рекомендуется указывать в этой графе несколько схожих по функционалу должностей. Возможно указание ожидаемой заработной платы	Должность: инженер-биотехнолог
Опыт работы	Перечень мест работы с указанием наименования организации, периода работы, наименования занимаемой должности, описания выполняемых функций	Указывается в обратном хронологическом порядке согласно записям в трудовой книжке. Желательно указывать места работы за последние 3-4 года	Период работы: с 02. 2009 по 01. 2011 г. Должность: лаборант химического анализа Организация: Авиатехмас, ЗАО, г. Нижний Новгород Должностные обязанности: проведение химического анализа нефтепродуктов
Образование	Обучение в вузе с указанием дат начала и окончания учебы, указание полученной квалификации	Для неполного высшего образования используется формулировка «с ... по н/вр – студент (-ка) ...» Информацию желательно структурировать в виде таблицы. Сначала следует указать время учебы, затем учебное заведение (необходима расшифровка аббревиатур), факультет, специальность	Образование: с 2010 по н.вр. – студентка Нижегородского государственного технического университета Факультет: Инженерный физико-химический Специальность: Биотехнология Форма обучения: Очная
Профессиональные знания и навыки	Информация о знаниях и навыках, необходимых в искомой должности. Сведения о владении иностранными языками, компьютерными программами и т.д.	Следует указать степень владения иностранными языками, перечислить освоенные компьютерные программы, а также указать навыки и умения, необходимые для будущей работы	Английский язык: базовый уровень Уровень владения ПК: уверенный пользователь. Владею компьютерными программами MS Word, Excel, Outlook
Дополнительная информация (о себе)	Личные качества, интересы, которые могут пригодиться в работе; прочие сведения (наличие водительских прав и л/а, опыт поездок за границу и т.д.	Указываются 2-3 личных качества, уместных для соискания данной должности	Пунктуальна, дисциплинирована
Дата составления и подпись		Дата указывается, как правило, в левом нижнем углу, а подпись – в правом	14. 03. 2012 Иванова

Будущий соискатель должен знать не только структуру резюме, но и некоторые экстралингвистические особенности этого жанра. Так, следует учитывать, что работник кадрового отдела обращает внимание на следующую информацию в резюме (перечисляется в порядке убывания важности):

- 1) опыт работы;
- 2) образование;
- 3) грамотность составления текста.

Любую указанную в документе информацию HR-специалист может проверить или попросить подтвердить на собеседовании, поэтому факты должны быть достоверны. Также учитываем тот факт, что просмотр резюме обычно длится не больше 30 с, поэтому фразы должны быть максимально содержательными, но лаконичными [6, с. 160]. Кроме того, можно дать студентам краткую информацию о видеорезюме, к которому в последнее время прибегают крупные иностранные компании для быстрого и эффективного подбора персонала [7].

Работу по написанию эффективных резюме можно продолжить с помощью различных упражнений, например:

*Упражнение 1.* Устраните ошибки из фрагментов студенческих резюме (отметьте случаи стилистических нарушений): 1. *Дополнительные трудовые навыки:* Могу применять знания и опыт в соответствии с опытом и исполняемыми в настоящее время должностными обязанностями. 2. *Опыт работы:* опыта работы в данной области еще не имею. 3. *Наиболее важные достижения в жизни и в карьере:* поступление в вуз, в который я хотела. 4. *О себе:* есть опыт работы с людьми и на сцене. 5. *Дополнительные сведения:* пользователь ПК, имеется опыт продажи. 6. Владенье английским языком. 7. С сентября 2012 г. по сей день.

*Упражнение 2.* Подберите к каждой из перечисленных позиций уместные в резюме личные качества и умения.

Позиции: инженер-технолог, фармацевт, вожатый в летнем лагере, топ-менеджер, секретарь-референт.

Личные качества и умения: самоконтроль, неконфликтность, организаторские способности, навык работы с офисной оргтехникой, пунктуальность, энергичность, ответственность, доброжелательность, умение работать в коллективе, грамотная речь, оптимизм, инициативность, аккуратность, внимательность, мобильность, толерантность, организованность, системность мышления, гибкость мышления, дисциплинированность, стрессоустойчивость, тактичность, любовь к детям, исполнительность.

Как отмечалось ранее, работа по составлению эффективного резюме строится не только на основе лингвистических знаний: привлекается материал по психолингвистике, публикации HR-специалистов по отбору персонала. Поэтому работа с резюме в курсе «Русского языка» может быть и самостоятельной, и аудиторной. Внеаудиторная работа с Интернет-сайтами (поиск оптимальных шаблонов для создания резюме, чтение статей об эффективных резюме) повышает поисковую активность студентов, а упражнения на практических занятиях позволяют закрепить полученные знания. Ошибки и «ляпы» в резюме для анализа и редактирования можно брать как из студенческих работ, так и из тематических публикаций [6, с. 131–133]. Полезны и задания по взаимопроверке составленных студентами резюме, так как HR-специалисты советуют обращаться к знакомым, а лучше к рекрутерам, чтобы они оценили достоинства и недостатки текста [1].

Итак, обучение студентов жанру резюме требует различных форм аудиторной и внеаудиторной работы, привлечения информации из смежных гуманитарных дисциплин, а также из практического опыта HR-специалистов. Эта тема интересна студентам, так как нужна им в будущем. Внимательное изучение подобных тем в рамках речеведческих дисциплин технических вузов формирует практические компетенции, необходимые каждому выпускнику вуза, и является важным аспектом в модернизации современного образовательного процесса.

### Библиографический список

1. **Самиуллина, М.** Наиболее типичные ошибки в резюме [Электронный ресурс] /<http://www.jobsearchcoach.ru/press/5/> (Дата обращения 10.10.2013).
2. **Кириллова, Н.Н.** Проблема формирования приоритетов в сфере образования у студентов технического вуза на базе речеведческих дисциплин // Многоуровневое общественное воспроизводство: вопросы теории и практики: сб. науч. тр. / под ред. Б.Д. Бабаева, Е.Е. Николаевой, Н.А. Амосовой. – Иваново, 2013. Вып. 4 (20). С. 177–189.
3. **Мамонова, Ю.** Как получить работу своей мечты // Секретарское дело. 2012. № 11. С. 32–38.
4. **Ярцев, С.А.** Резюме как жанр деловой коммуникации: автореферат дисс. ... кандидата филол. наук: 10.02.01 / С.А. Ярцев. – Ростов-на-Дону, 2012. – 28 с.
5. **Белова, Е.** Анализируйте резюме // Служба кадров и персонал. 2010. № 12. С. 74–78.
6. **Бажова, М.А.** Живи по своим правилам! Поиск достойной работы / М.А. Бажова. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. – 288 с.
7. **Кондратьев, Ю.** Видеорезюме: о чем промолчит соискатель // Консультант. 2012. № 15. С. 73–76.

*Дата поступления  
в редакцию 17.10.2013*

**E.S. Savenkova**

#### ON THE MODERN WAYS OF TEACHING STUDENTS HOW TO WRITE BUSSINESS DOCUMENTS (THE CURRICULUM VITAE GENRE)

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

**Purpose:** The curriculum vitae (CV) genre is described from the linguistic and extra-linguistic points of view as a business paper that will help students in their career.

**Design/methodology/approach:** The research methodology includes linguistic analysis of text, social-linguistic polling with elements of statistic method, and method of cognitive interpretation.

**Findings.** Author researches different aspects of CV's analysis and writing CV for young specialists.

**Research limitations/implications:** The results of the research provide a starting-point for new way of Russian rhetoric study.

**Originality/value:** The author has developed methods of students' working on CV during their in-class and extracurricular hours.

*Key words:* curriculum vitae (resume), official style, genre, document, rhetoric, professional competences.



---

## МИКРОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

---

УДК 531.768.082.14

В.Д. Вавилов<sup>1</sup>, А.Н. Суконкин<sup>2</sup>

### ОБЗОР ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ СИГНАЛИЗАТОРОВ ОБЛЕДЕНЕНИЯ

Арзамасский политехнический институт (филиал) НГТУ им. Р.Е. Алексеева<sup>1</sup>,  
ОАО «АОКБ «Импульс»»<sup>2</sup>

Рассмотрены сигнализаторы обледенения, дающие информацию об условиях обледенения, образовании льда на поверхности летательного аппарата и сигнализаторы наличия (толщины) льда, регистрирующие наличие (толщину) льда непосредственно на контролируемой поверхности летательного аппарата, предназначенные для выдачи соответствующих выходных сигналов и автоматического включения противообледенительных систем (ПОС) при обледенении поверхности летательного аппарата. Приведена классификация сигнализаторов по принципу действия. Проведен анализ отечественных и зарубежных сигнализаторов обледенения, наличия и толщины льда. По результатам проделанной работы сделаны выводы и даны рекомендации в части создания перспективных сигнализаторов вибрационного принципа действия.

*Ключевые слова:* сигнализатор обледенения, противообледенительная система, обледенение, чувствительный элемент, интенсивность обледенения, детектор, зона обледенения.

С развитием авиации, ее скоростных и аэродинамических характеристик к бортовому оборудованию летательных аппаратов (ЛА) предъявляются требования минимальных габаритов и массы, повышая одновременно требования по устойчивости к механическим и климатическим воздействующим факторам. Бортовые приборы должны быть надежны в работе, отвечать тактико-техническим требованиям, спроектированы с применением перспективной элементной базы и прогрессивных технологических процессов.

Безопасность полетов в сложных метеорологических условиях для современных летательных аппаратов во многом зависит от надежной информации о наличии обледенения, которая выдается с помощью сигнализаторов обледенения (СО), датчиков наличия (толщины) льда (ДТЛ).

Обледенение ухудшает аэродинамические характеристики и летные качества ЛА, что, в свою очередь, приводит к уменьшению максимальной скорости, практического потолка, дальности и продолжительности полета, отказу ряда агрегатов и приборов.

Для защиты от обледенения ЛА оборудуются специальными противообледенительными системами (ПОС). Широко используемые в настоящее время ПОС являются системами циклического действия, наиболее экономичными с точки зрения потребляемой энергии.

Для эффективной работы ПОС необходимо своевременное ее автоматическое (или ручное) включение при попадании в условия обледенения, а также оптимальное управление ею. Это требование может быть достигнуто установкой на ЛА надежных сигнализаторов обледенения, своевременно выдающих информацию об обледенении поверхности, а также систем автоматического управления ПОС, обеспечивающих эффективное использование информации СО для предотвращения процесса обледенения ЛА.

Некоторые типы современных ПОС требуют информацию не только об обледенении, но и о толщине накопленного льда непосредственно на защищаемой поверхности. В одних

случаях эта информация является важной с точки зрения устойчивости и управления полета, в других, кроме того, позволяет контролировать эффективность работы ПОС. Приборы, позволяющие получить такую информацию, классифицируются как сигнализаторы наличия (толщины) льда.

В настоящее время имеется большое количество сигнализаторов различных принципов, которые можно разделить на следующие типы:

- 1) визуальные;
- 2) механические (вибрационные);
- 3) пневматические;
- 4) электротермические;
- 5) электрокондуктивные;
- 6) конденсаторные;
- 7) радиоизотопные;
- 8) электростатические;
- 9) оптические;
- 10) дистанционные;
- 11) ультразвуковые [1].

Механические (вибрационные) сигнализаторы основаны на взаимодействии льда с чувствительным элементом, который может совершать вращательное, колебательное, возвратно-поступательное или какое-либо другое движение. Преимуществом их является то, что сигналы обледенения выдаются только в том случае, когда обледенение действительно существует. Механические сигнализаторы не реагируют на дождь, снег, кристаллы льда, изменение скорости, высоты и наружной температуры.

Пневматические сигнализаторы основаны на сравнении двух динамических давлений или сравнении динамического и статического давлений, подаваемых на дифференциальный манометр.

При наличии обледенения одно из сравниваемых давлений изменяется за счет уменьшения заборных отверстий, при этом прогибается мембрана, которая замыкает электрические контакты сигнализации.

Преимуществами данного типа сигнализаторов являются простота конструкции, небольшой вес, выдача сигнала об обледенении непосредственно с контактов мембранного типа без усилителей и преобразователей.

Недостатками пневматических сигнализаторов являются подверженность засорению отверстий датчика, отсутствие выходных сигналов и команд для автоматического включения и выключения ПОС.

Электротермические сигнализаторы реагируют на изменение теплообмена чувствительных элементов с внешней средой при попадании ЛА в условия, способствующие обледенению.

Достоинства этих сигнализаторов: быстродействие, непрерывность процесса измерения интенсивности обледенения, возможность автоматического управления потребляемой мощностью.

Недостаток: возможность ложных срабатываний при наличии капель воды и кристаллов льда.

Электрокондуктивные сигнализаторы используют измерение электропроводности пленки воды на датчике или изменение электропроводности пористого слоя на датчике при наличии льда. Недостатком является малая надежность работы чувствительного элемента.

Конденсаторные сигнализаторы основаны на использовании зависимости величины диэлектрической постоянной льда от частоты вибрации датчика (диэлектрическая постоянная воздуха и воды зависит от частоты в меньшей степени). Сигнализаторы данного типа могут измерять абсолютную или относительную влажность и выдавать сигнал при образовании льда на датчике.

Недостатки сигнализаторов конденсаторного типа: большие габариты датчика из-за невозможности сделать конденсатор необходимой емкости при малых линейных размерах, ложные срабатывания сигнализатора при отложении на датчике масла, грязи, влаги, низкая помехозащищенность от электрических наводок.

Радиоизотопные сигнализаторы основаны на эффекте поглощения слоем льда  $\beta$ -излучения радиоактивного источника. При появлении льда поток  $\beta$ -частиц поглощается, счетчик излучения (Гейгера) регистрирует уменьшение потока и выдает сигнал на усилитель, который включает ПОС.

Недостаток указанных сигнализаторов: неудобства, связанные с использованием радиоактивных материалов.

Электростатические сигнализаторы основаны на регистрации изменения электростатического поля при образовании льда на датчике.

Оптические сигнализаторы определяют изменение интенсивности прямого и отраженного луча при наличии льда на датчике. С помощью фотоэлемента и усилителя данная информация преобразуется в сигнал об обледенении.

Дистанционных сигнализаторы основаны на отражении луча локатора от облаков и оценке мощности отраженного сигнала, которая изменяется при наличии в воздухе капель воды или кристаллов льда.

Ультразвуковые сигнализаторы - принцип действия основан на изменении амплитуды и фазы отраженного эхо-сигнала при наличии льда на датчике.

Существующие в настоящее время сигнализаторы обледенения условно можно разделить на две основные группы: прямого и косвенного действия.

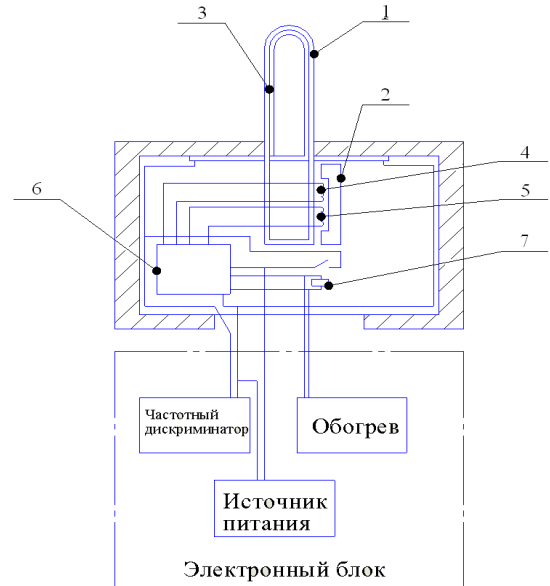
Сигнализаторы прямого действия реагируют непосредственно на образование льда на датчике. На чувствительность сигнализаторов данной группы в значительной степени влияют размеры и форма датчиков, а также место установки датчика на ЛА. Чувствительность сигнализаторов тем выше, чем меньше диаметр датчика (если он цилиндрический) или остроконечнее его лобовая часть (если он профильный).

Основной недостаток сигнализаторов прямого действия заключается в том, что они выдают сигнал только спустя некоторое время после начала обледенения и, кроме того, многие из них не реагируют на «рогообразные» формы льда.

Сигнализаторы косвенного действия реагируют на наличие в атмосфере капель воды. Принцип действия их основан на измерении косвенных параметров, связанных с процессом обледенения: теплоотдачи, электропроводности, сопротивления и др.

Сигнализаторы этой группы имеют высокую чувствительность: они выдают сигнал практически одновременно с началом обледенения, а в некоторых случаях - даже за несколько секунд до начала (благодаря повышению влажности и изменений температуры вблизи облака).

Формы, размеры мало влияют на чувствительность этих сигнализаторов. Существенным недостатком их является то, что они



**Рис. 1. Конструкция датчика и функциональная схема сигнализатора JDS-1:**

- 1 – стержень; 2 – постоянный магнит;
- 3 – обмотка обогревателя; 4 – обмотка возбуждения; 5 – обмотка съема сигнала;
- 6 – магнитострикционный генератор;
- 7 – резонансное реле

могут выдавать ложный сигнал при полетах в кристаллической облачности, в снегопад.

К сигнализаторам обледенения косвенного действия можно отнести также дистанционные методы обнаружения капельной воды в атмосфере - это радиолокационные, ультразвуковые, инфракрасные, лазерные и др., которые позволили бы сигнализировать о наличии обледенения заранее, до входа в облачность.

Такие датчики также требуют надежных устройств, которые отделяли бы действительные сигналы о наличии обледенения от ложных, т.е. могли бы отличать обычные капли от переохлажденных.

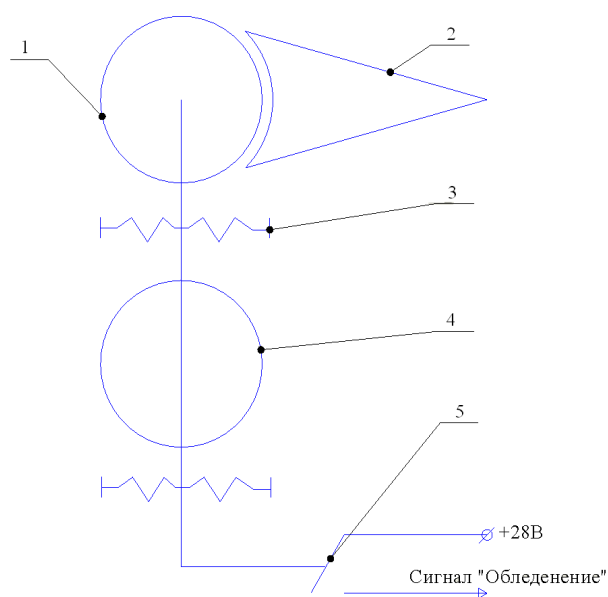
Таким образом, в зависимости от выбранного принципа сигнализаторы обледенения могут быть основаны или на определении капельно-жидкой облачности при отрицательной температуре, или на регистрации образования льда на датчике [2].

### 1. Механические сигнализаторы фирмы Rosemount Engineering Company (США) [3].

Фирма Rosemount выпускает механические сигнализаторы обледенения, основанные на измерении резонансной частоты чувствительного элемента, которая изменяется при его обледенении. Чувствительный элемент датчика представляет собой конструктивное решение, разработанное и запатентованное фирмой Rosemount.

Сигнализатор JDS-1 [4], представленный на рис. 1, имеет чувствительную головку (датчик) цилиндрической формы диаметром 2,5 см, выступающую на 57 мм от фланца крепления и электронный блок. В стержне поддерживаются продольные колебания на резонансной частоте 35 кГц с помощью магнитострикционного генератора. Отложение льда на датчике приводит к уменьшению резонансной частоты. Изменение частоты регистрируется электронным блоком, который вырабатывает сигнал об обледенении, как только изменение частоты превысит допустимое значение (0,8 мм). Датчик имеет обогрев, который включается электронным блоком на время 6 секунд. Под действием обогрева лед тает и удаляется аэродинамическими силами. После выключения обогрева на датчике вновь начинается образование льда, которое будет продолжаться до поступления нового сигнала на включение обогрева.

Частота повторения сигнала на включение обогрева характеризует степень обледенения. Сигнал об обледенении выдается в систему индикации. В качестве индикатора может применяться шкальный прибор или сигнальная лампочка.



**Рис. 2. Функциональная схема сигнализатора фирмы Lucas Industries:**

- 1 – цилиндр; 2 – ножевидный скребок;
- 3 – пружина; 4 – электродвигатель;
- 5 – контакт

### 2. Механический сигнализатор МК-2 фирмы Lucas Industries [5].

Механический сигнализатор МК-2, показанный на рис. 2, представляет собой ножевидный скребок 2 и необогреваемый цилиндр 1, который медленно вращается электродвигателем 4 переменного типа. Электродвигатель подвешен на пружинах 3 так, что он может поворачиваться на небольшой угол (в пределах 0,05 – 0,1 мм относительно ведущего острого конца скребка).

При обледенении между скребком и вращающимся цилиндром создается трение, момент от которого передается на корпус электродвигателя. Электродвигатель поворачивается вокруг оси и замыкает контакт 5, включающий систему сигнализации. После прекращения обледенения электродвигатель под действием пружин возвращается в исходное положение, и контакты размыкаются.

Вес сигнализатора МК-2 не более 1,25 кг.

Недостатками данного сигнализатора являются большие габариты и масса датчика, подверженность засорению зазора между ножевидным скребком и цилиндром, непостоянство сигнала обледенения, «дребезг», отсутствие выхода для автоматического управления ПОС.

Швейцарской фирмой Vibro-Meter SA из Фрейбурга разработан детектор обледенения EW 164 для применения в составе самолетов фирмы «Антонов». Пороговое значение толщины льда, обнаруживаемой детектором льда на чувствительном элементе, составляет 0,5 мм. Датчик готов к работе сразу после включения питания и проведения самотестирования, которое длится менее 1 с. Ограничения по продолжительности непрерывной работы датчика отсутствуют.

Методика измерения обледенения основана на использовании постоянно вибрирующей диафрагмы, изготовленной из коррозионно-стойкого сплава. Диафрагма приводится в колебания на собственной частоте резонанса с использованием электронного осциллятора. Накопление льда на диафрагме увеличивает среднюю жесткость системы «лед-диафрагма», что, в свою очередь, резко увеличивает собственную частоту колебаний. Появление воды или другой жидкости увеличивает массу диафрагмы, но не ее жесткость, при этом собственная частота колебаний уменьшается. Предусмотрена компенсация температурного воздействия. Резонансная частота диафрагмы составляет 74,6 – 81,6 кГц.

Сигнализатор-интенсиметр обледенения РС0-2, разработки Сибирского Научно-исследовательского института авиации им. С.А. Чаплыгина (г. Новосибирск) предназначен для выдачи информации об обледенении, его интенсивности и толщины отложившегося льда. Порог срабатывания сигнализатора составляет: по толщине льда – 0,5 мм, по интенсивности обледенения – 0,05 – 0,2 мм/мин. По сравнению с современными аналогами снижены в 1,5-2 раза цена, массогабаритные характеристики и энергопотребление. Ориентировочная стоимость комплекта составляет 5000\$, масса электронного прибора – 1,2 кг, датчика обледенения – 0,3 кг. Сигнализатор-интенсиметр подготовлен к серийному производству во ФГУП «НИИЭП».

ЗАО НПП «МИФОТЕКС» (г. Казань), разрабатывает интеллектуальный датчик обледенения ИДО-1, предполагаемый к использованию в составе противообледенительной системе вертолета АНСАТ-У. Краткие особенности сигнализатора: моноблочная изолированная конструкция; малые размеры и масса; оптический способ регистрации обледенения, высокая чувствительность, способность к самодиагностике, цифровой интерфейс.

### 3. Механический (вибрационный) сигнализатор обледенения типа СО-121ВМ (СО-121М).

Сигнализатор состоит из датчика сигнализации льда ДСЛ-40Т (ДСЛ-39МТ) и преобразователя электронного ПЭ-11М.

Принцип действия сигнализатора основан на изменении частоты собственных колебаний чувствительного элемента (мембраны) датчика при появлении на нем пленки льда. Частота колебаний мембраны датчика является функцией ее жесткости.

Функциональная схема сигнализатора приведена на рис. 3.

Чувствительная часть датчика является резонансным элементом в цепи положительной обратной связи усилителя переменного тока, образуя вместе с ним автогенератор колебаний с частотой, равной резонансной частоте датчика.

Устройство чувствительной части датчика приведено на рис. 4.

При оседании льда на мембране датчика повышается ее жесткость, а, следовательно, и частота колебаний мембраны. Частота электрического сигнала на выходе усилителя переменного тока увеличивается, и частотный дискриминатор выдает сигнал в блок выходных команд на включение обогрева датчика и сигнал «Обледенение».

После сброса льда с мембраны датчика частота колебаний восстанавливается, и сигнал на выходе частотного дискриминатора исчезает. В случае наличия условий обледенения процесс повторяется.

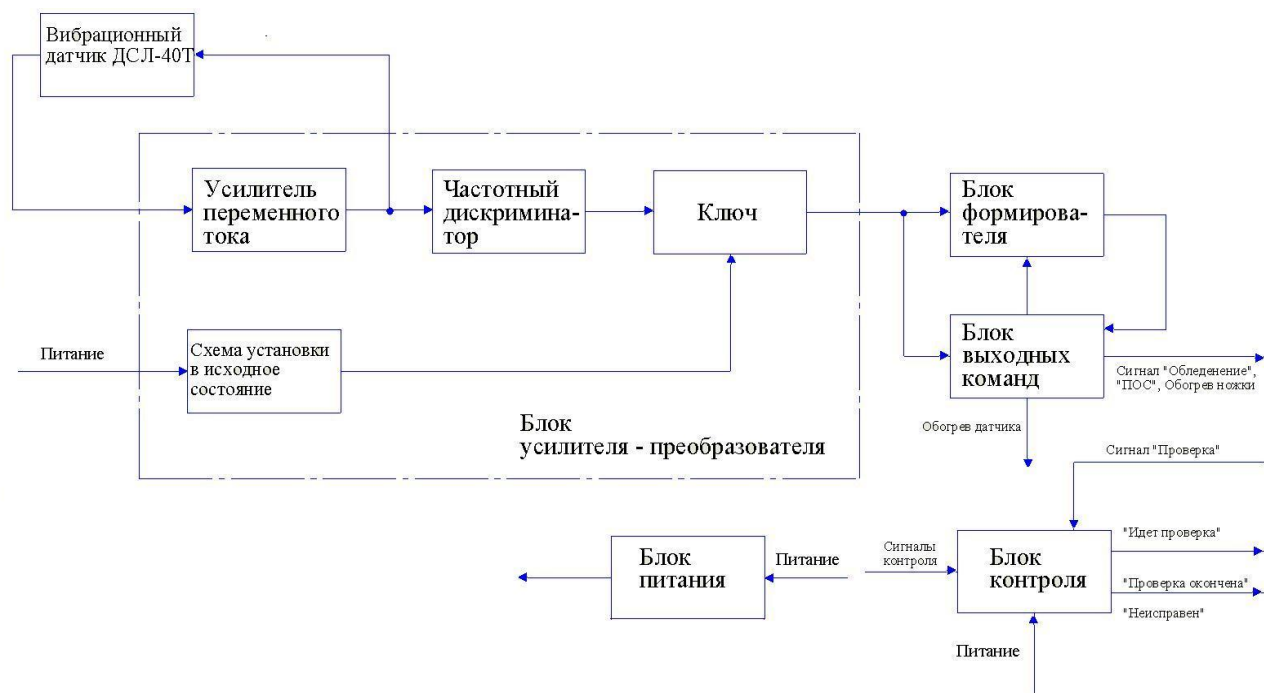


Рис. 3. Функциональная схема сигнализатора обледенения СО-121ВМ (СО-121М)

Сигнал включения обогрева датчика и сигнал «Обледенение» имеют каждый свою задержку по отпусканию. Задержка сигнала на выключение обогрева (около 8 с) необходима для обеспечения полного сброса льда с лобовой части датчика, а задержка сигнала «Обледенение» (около 140 с) требуется для обеспечения его непрерывности при циклической работе датчика в зоне обледенения.

Специальные скобы датчика предназначены для демпфирования (или срыва) колебаний мембраны при образовании на датчике рогообразного льда.

Блок формирователя служит для формирования сигналов задержки на включение обогрева датчика и сигнала «Обледенение», а также формирование сигнала «Защита», которая осуществляет защиту датчика от перегрева (по времени обогрева). Блок контроля осуществляет контроль исправности сигнализатора по команде «Проверка» с пульта борт-инженера или от бортовой системы автоконтроля.

*Выводы по механическим сигнализаторам обледенения.*

Преимуществами механических сигнализаторов являются то, что сигнал об обледенении выдается только в том случае, когда обледенение действительно существует, а также то, что они не реагируют на дождь,

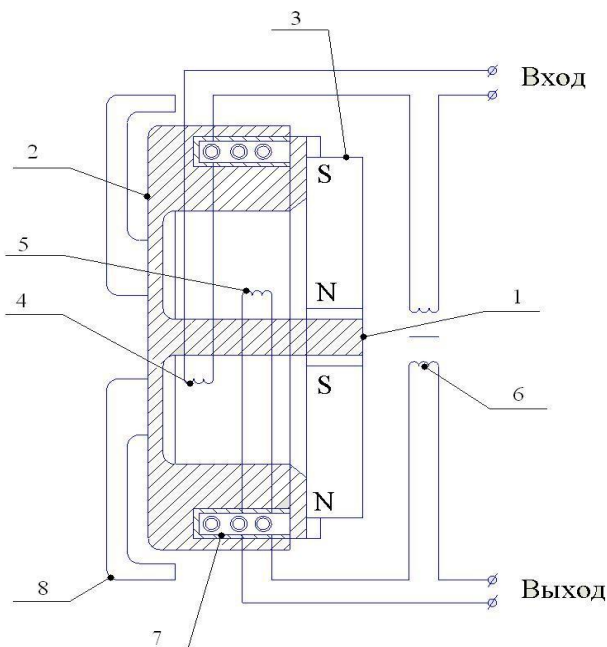


Рис. 4. Устройство чувствительной части датчика сигнализатора типа СО-121 ВМ(СО-121М):

- 1 – якорь; 2 – мембрана; 3 – постоянный магнит; 4 – обмотка возбуждения;  
5 – обмотка съема сигнала;  
6 – компенсирующий трансформатор;  
7 – нагреватель; 8 – скоба

снег, кристаллы льда, изменение скорости, высоты и наружной температуры. Достоинства этих сигнализаторов в том, что они удовлетворительно работают в условиях клино- и рогообразного обледенения.

Механические вибрационные сигнализаторы, принцип работы которых основан на измерении резонансной частоты (малогабаритны, безопасны в эксплуатации), обладают высокой надежностью, вибро- и теплоустойчивостью, что позволяет применять эти сигнализаторы в воздухозаборниках двигателей ЛА.

Механические сигнализаторы скребкового принципа действия вследствие применения перемещающихся деталей имеют несколько худшую надежность.

#### 4. Электротермический сигнализатор обледенения фирмы Taddington (Англия).

Сигнализатор состоит из следующих элементов:

- 1) датчика, установленного на внешней обшивке самолета выше пограничного слоя;
- 2) электронного блока управления;
- 3) индикатора степени обледенения, располагаемого в кабине летчика;
- 4) регулятора температуры;
- 5) сигнальной лампочки;
- 6) переключателя температуры.

Для защиты датчика от перегрева при отсутствии потока воздуха имеется бортовой выключатель.

Чувствительные элементы датчика, показанные на рис. 5, имеют два нагревателя из медно-никелевой и платиновой проволоки. Разность потребляемой чувствительными элементами мощности является функцией эффекта охлаждения чувствительного элемента набегающими каплями воды. Сигналы с обоих чувствительных элементов датчика сравниваются в электронном блоке.

Результирующий сигнал подается на индикатор, расположенный в кабине летчика. На шкале индикатора нанесены обозначения степени обледенения (легкое, среднее, сильное) или цифры.

Для того чтобы постоянно не наблюдать за индикатором, установлена сигнальная лампа, которая загорается при определенной степени обледенения.

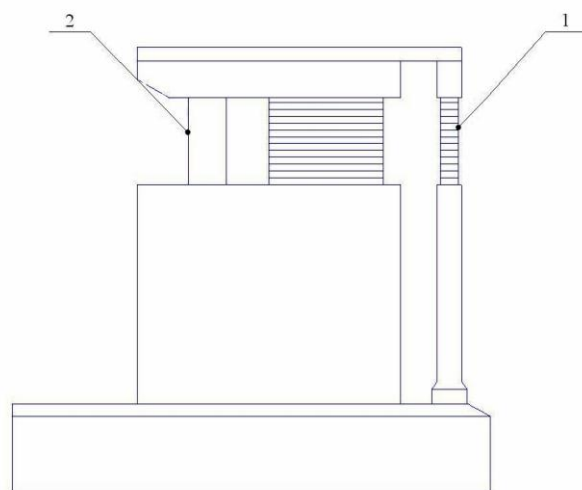
Чувствительность сигнализатора такова, что сигнальная лампа включается через 1 с. после начала обледенения. Сигнализатор может использоваться для включения противообледенительной системы и для определения водности.

Сигнализатор питается напряжением 28В постоянного тока и потребляет мощность не более 320 Вт. Ошибка в показаниях не превышает  $\pm 5\%$ .

Фирмой Dataproducts New England (США) разработан бортовой сигнализатор обледенения модели DNA-A, работа которого основана на использовании скрытой теплоты плавления льда [6].

Сигнализатор предназначен для обнаружения льда на планере самолета и в воздухозаборниках двигателей, а также для обнаружения льда внутри ГТД и карбюратора поршневых двигателей.

Принцип действия сигнализатора обледенения основан на регистрации количества тепла, необходимого для превращения льда в воду.



**Рис. 5. Конструкция датчика сигнализатора фирмы Taddington:**

- 1 - эталонный чувствительный элемент;  
2 - рабочий чувствительный элемент

Сигнализатор представляет собой моноблок, содержащий электронный блок и зонд – трубку (щуп), диаметр 9,6 мм, выдвинут электронного блока и находится в воздушном потоке под углом к направлению полета ЛА.

Щуп содержит эталонный и чувствительный проводник, которые намотаны в несколько витков на трубку. В полости этой трубки размещен нагреватель, обеспечивающий плавление ледяного покрытия. К эталонному элементу прикладывается постоянное напряжение, а на чувствительный подается короткий импульс повышенного напряжения, который обуславливает быстрый нагрев проводника. По скорости нагрева этого проводника различают наличие льда или воды на его поверхности.

Разность между токами эталонного и чувствительного элементов в течение указанного временного импульса определяет наличие ледяного покрытия на чувствительном проводнике. При обнаружении ледяного покрытия включается на несколько секунд (5 с) встроенный нагреватель, который расплавляет лед на щупе. Как только щуп остынет, он вновь готов к обнаружению льдообразования.

По данным фирмы, сигнализатор сбрасывает при нарастании льда толщиной 0,12 мм.

#### 5. Электротермический сигнализатор обледенения ИСО-16.

Сигнализатор состоит из следующих элементов:

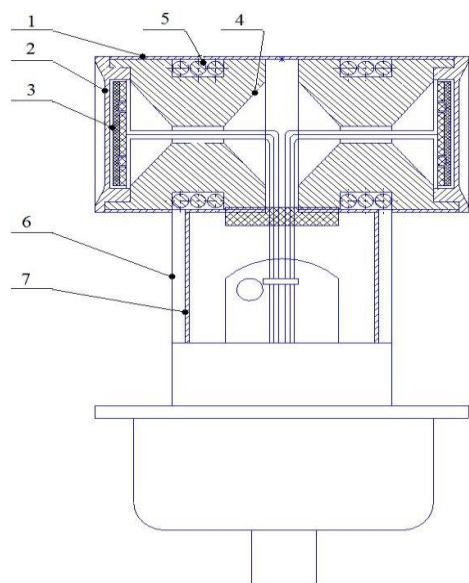
- датчика ДО-38Т, устанавливаемого на внешней обшивке самолета выше пограничного слоя;
- блоков электронной аппаратуры ЭП-632Т, ЭП-396Т;
- стрелочный указатель интенсивности обледенения И-32;
- технологического пульта ПТ-СО-16, который служит для включения в работу ИСО-16, записи регистрирующих параметров и в комплект не входит.

Вес датчика – 0,5 кг, электронной аппаратуры – не более 4,5 кг.

Потребляемая мощность 300 Вт постоянного тока напряжением 27 В.

Для защиты датчика от перегрева при отсутствии потока воздуха питание сигнализатора осуществляется через концевой выключатель, установленный на стойке шасси, который срабатывает при отрыве самолета от земли.

Принцип действия сигнализатора основан на измерении разности температур подогреваемых передней и задней поверхности цилиндрического профиля датчика.



**Рис.6 Конструкция датчика ДО-38Т:**

- 1 - корпус; 2 - крышка;  
3 - термосопротивление; 4 - нагреватель;  
5 - медный сердечник; 6 - ножка;  
7 - термосопротивление

В потоке «сухого» воздуха передняя и задняя торцевые поверхности датчика охлаждаются примерно одинаково, и разность их температур изменяется в небольших пределах в зависимости от режима полета. Разность температур измеряется с помощью термосопротивлений, установленных в торцевых крышках и включенных в мостовую схему. При попадании самолета в условия обледенения передний торец датчика охлаждается за счет испарения, улавливаемых переохлажденных капель воды, и на выходе мостовой схемы появляется сигнал  $U_{\text{вых}}$ , пропорциональный разности температур переднего и заднего торцов, которая пропорциональна влажности облаков или интенсивности обледенения.

Конструктивное устройство датчика ДО-38Т приведено на рис. 6. Датчик состоит из цилиндрического корпуса 1, укрепленного на ножке 6 обтекаемой формы, двух торцевых крышек 2 с термосопротивлениями 3, двух нагревателей 4.



На боковых поверхностях ножки расположены термосопротивления 7, измеряющие температуру поверхности, соприкасающейся с обтекающим потоком.

Функциональная схема сигнализатора приведена на рис. 7.

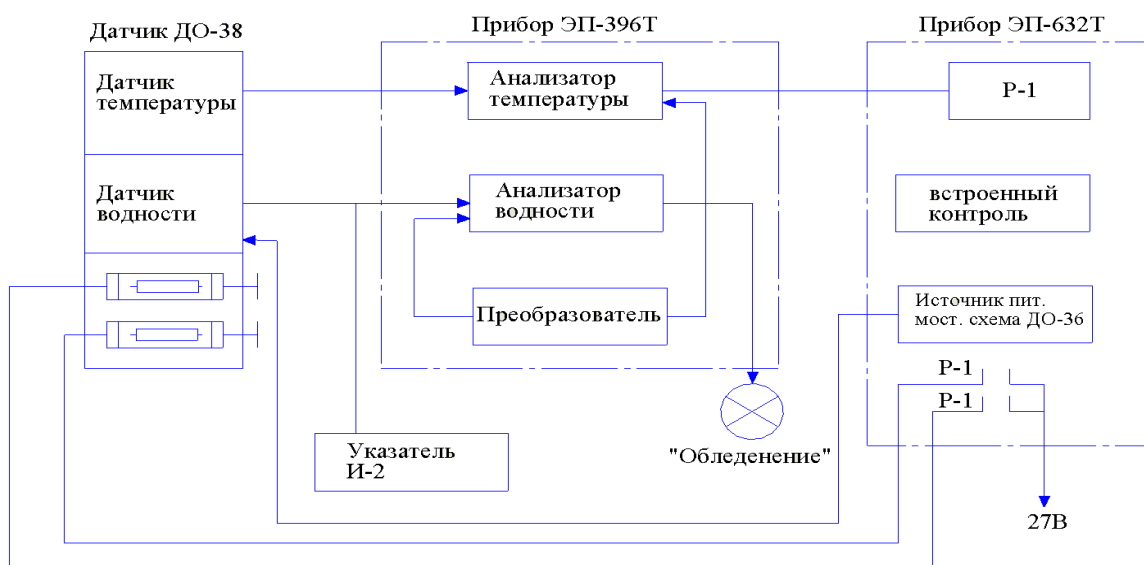


Рис. 7. Функциональная схема сигнализатора обледенения ИСО-16

*Выводы по электротермическим сигнализаторам*

Преимуществами электротермических сигнализаторов (интенсиметров) являются их быстроедействие, непрерывность процесса измерения интенсивности обледенения, возможность управления потребляемой мощностью, безопасность в эксплуатации.

Недостатками электротермического сигнализатора являются низкая надежность постоянно подогреваемого датчика, большая потребляемая мощность, большая вероятность выдачи ложного сигнала об обледенении при температуре окружающего воздуха 2-3°C, когда обледенения нет, ухудшение чувствительности в области относительно низких температур, выдача сигнала об обледенении в кристаллических облаках, когда обледенение отсутствует.

Подверженность абразивному износу чувствительного элемента (тонкой платиновой проволоки 10-20 мкм).

Засорение чувствительной части датчика пылью, грязью, маслом в условиях эксплуатации, что приводило к ухудшению характеристик сигнализатора.

6. Пневматические сигнализаторы МК-8 фирмы Research Limited (Канада).

Сигнализатор МК-8, представленный на рис. 8, выполнен в виде блока, в который вмонтирован aneroidный переключатель и два датчика (чувствительный и эталонный). Датчики представляют собой полые металлические трубки, в которых имеются по диаметру входные и выход-

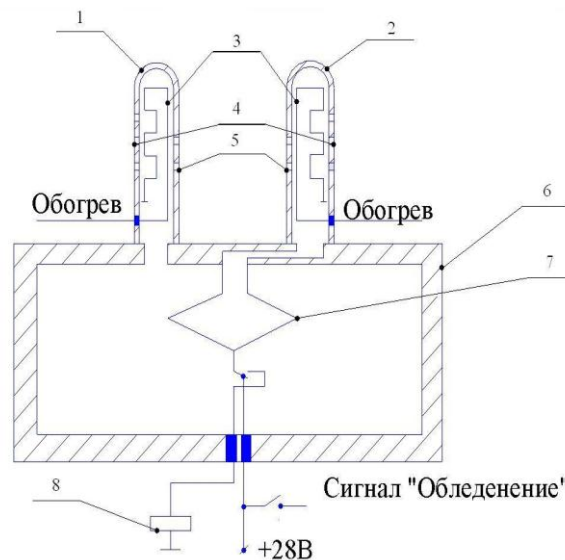


Рис. 8. Конструкция сигнализатора МК-8:

- 1 - эталонный датчик; 2 - чувствительный датчик; 3 - обмотка обогрева;
- 4 - выходные отверстия; 5 - входные отверстия, 6-корпус;
- 7 - aneroidная коробка; 8 - реле

ные отверстия. Эталонный датчик имеет четыре входных и два выходных отверстия, а чувствительный датчик – пять входных и два выходных отверстия. По каналу чувствительного датчика давление передается в anerоидную коробку, а по каналу эталонного датчика – в корпус блока. Так как суммарная площадь сечений входных отверстий больше, чем выходных, в датчиках будет повышенное давление. При обледенении входные отверстия чувствительного датчика замыкаются льдом, вследствие чего в anerоидной коробке давление понижается. В корпусе блока давление будет неизменным, так как в эталонном датчике поддерживается температура выше 0°C.

В результате anerоидная коробка сжимается и включает реле, которое формирует сигнал об обледенении и включает обогрев чувствительного датчика. После сброса льда обогрев выключается, и сигнализатор готов для повторной регистрации обледенения.

С целью исключения образования барьерного льда, который может закрыть выходные отверстия датчика, они имеют V-образный выступ. При обогреве датчиков лед подтаивает и сдвигается к V-образному выступу, с которого он срывается с помощью аэродинамических сил.

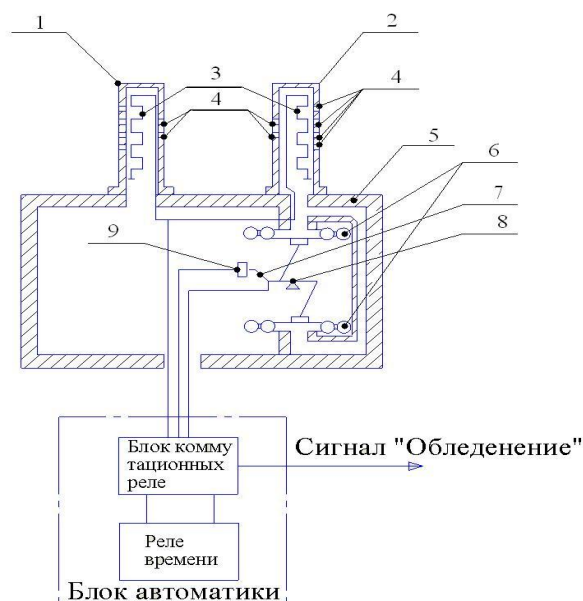
Для нормальной работы сигнализатора в условиях образования рогообразного льда внутри чувствительного датчика установлена пластина. Вследствие искривления линий тока воздуха на пластине образуется лед, который закрывает входные отверстия.

Для предотвращения датчиков от перегрева в сигнализаторе предусмотрена защита. Некоторые модификации сигнализаторов имеют задержку на выключение ПОС.

Порог чувствительности сигнализатора обледенения составляет 1мм пленки льда.

Вес датчика сигнализатора – 0,23 кг.

7. Пневматический сигнализатор фирмы Smiths Industries (Англия).



**Рис. 9. Конструкция датчика и функциональная схема ДО-206:**

1 - приемная трубка; 2 - эталонная трубка; 3 - нагревательные элементы; 4 - отверстия; 5 - корпус; 6 - контактная пластина; 7 - манометрические коробки; 8 - щетка; 9 - кривошипно-шатунный податочный механизм

Сигнализатор ДО-206 состоит:

- 1) из датчика (приемная и эталонная трубки);
- 2) сигнализатора перепада давлений;
- 3) блока автоматики.

Пневматический сигнализатор обледенения фирмы Smiths состоит из приемной головки и реле.

Приемник головки представляет собой обогреваемую трубку с отверстиями на передней и задней кромках. Размеры и положения передних и задних отверстий на приемнике головки находятся в определенной зависимости. Образование льда блокирует передние отверстия головки, что приводит к изменению перепада давлений. Сигналы об изменении перепада поступают в реле, которое состоит из сигнализатора давления и твердотельных временных схем и схем переключения.

Головка соединена с реле трубопроводом. Реле выдает сигнал на индикатор. Затем включается противообледенительная система и обогреватель приемной головки, который освобождает ее ото льда. Обогреватель включен в течение 36 с. Противообледенительная система работает 2-3 мин. Если за это время с приемной головки поступает повторный сигнал, то противообледенительная система остается включенной еще 2-3 мин.

Специальные контакты исключают ошибочные сигналы от вибраций других факторов. При отсутствии льда система находится в пассивном режиме, что удлиняет эффективный срок ее службы.

8. Пневматический сигнализатор ДО-206.

Принцип действия сигнализатора основан на измерении перепада давлений при образовании льда на приемной и эталонной трубках (при закрытии отверстий трубок).

Функциональная схема сигнализатора приведена на рис. 9.

Датчик сигнализатора состоит из приемной 1 и эталонной 2 трубок, внутри которых помещены нагревательные элементы 3. В приемной трубке имеется пять входных и два выходных отверстия 4.

Эталонная трубка имеет одно входное и три выходных отверстия. Обе трубки крепятся к сигнализатору перепада давлений, имеющий корпус 5; чувствительный элемент, состоящий из двух манометрических коробок 7, контактной пластины 6, щетки 8 и кривошипно-шатунного передаточного механизма 9.

Блок автоматики представляет собой блок коммутационных реле и полупроводниковое реле времени, обеспечивающее задержку обогрева трубок датчика на время 2 с.

Принцип действия сигнализатора состоит в следующем:

Приемная и эталонная трубки помещены в потоке. По каналу приемной трубки давление поступает в корпус сигнализатора перепада давления, а по каналу эталонной трубки – в манометрические коробки. Перепад давлений, создаваемый сигнализатором перепада давления, зависит от отношения давления в приемной и эталонной трубках датчика. При открытых входных отверстиях в трубках давление в корпусе сигнализатора перепада давления несколько выше, чем в манометрических коробках. Контакты при этом разомкнуты.

В условиях обледенения входные отверстия приемной и эталонной трубок закрываются льдом, причем отверстия меньшего диаметра приемного датчика закрываются быстрее, чем большие отверстия эталонного датчика. Давление в приемном датчике падает за счет инжекции воздуха из входных отверстий, вызывая изменение перепада давления в сигнализаторе перепада давления. Увеличение давления в манометрических коробках, по сравнению с давлением в полости корпуса, приводит к замыканию контактной пластины. Блок автоматики включает обогрев трубок и выдает сигнал «Обледенение». После освобождения трубок ото льда начинает работать реле времени. Через 2 с блок автоматики выключает обогрев трубок и снимает сигнал «Обледенение».

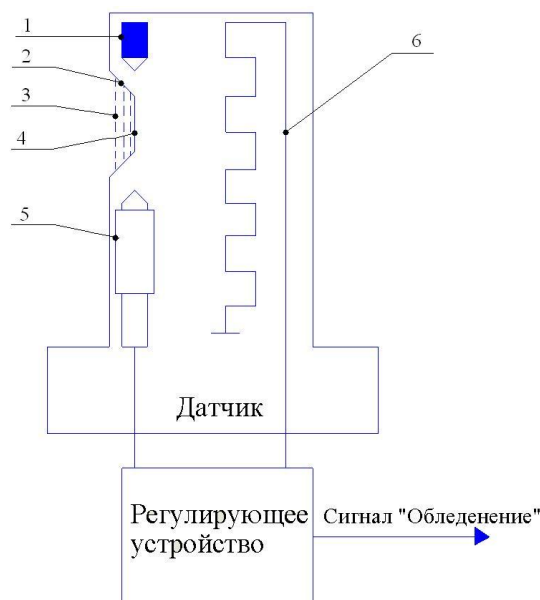
#### Выводы по пневматическим сигнализаторам

Преимуществом пневматических сигнализаторов является то, что сигнал об обледенении выдается только в том случае, когда обледенение действительно существует. Пневматические сигнализаторы не реагируют на дождь, снег, кристаллы льда, изменение скорости, высоты наружной температуры. Преимуществом их является также простота конструкции, небольшой вес, возможность выдачи сигнала об обледенении без усилителей и преобразователей. Сигнализаторы работоспособны при клино- и рогаобразном обледенении.

Высокие виброустойчивость, теплоустойчивость, небольшие габариты позволяют использовать сигнализаторы в двигателях.

Недостатками пневматического сигнализатора являются:

- низкая надежность постоянно подогреваемого эталонного датчика;
- большая потребляемая мощность;



**Рис. 10. Конструкция датчика и функциональная схема радиоизотопного сигнализатора фирмы United Control Corporation:**

- 1 - источник излучения; 2 - окна для формирования лучей; 3 - излучение  $\beta$ -частиц;  
4 - чувствительная поверхность;  
5 - трубка Гейнера-Мюллера;  
6 - нагревательное устройство

- засорение отверстий датчиков, что ведет к выдаче ложных сигналов.

По имеющейся информации в открытой зарубежной печати, пневматические сигнализаторы усовершенствуются и в настоящее время находят применение в авиации.

Радиоизотопные сигнализаторы фирмы United Control Corporation.

Сигнализатор состоит из датчика и регулирующего устройства. Чувствительным элементом датчика (рис. 10), является радиоактивный стронций 90 (источник излучения), помещенный в капсулу, которая установлена в воздушном потоке. В-частицы, излучаемые стронцием, проходят вдоль чувствительной поверхности, попадают на трубку – счетчик Гейгера - Мюллера. С увеличением толщины льда (начиная с 0.38 мм) показания счетчика начинают изменяться, сигнал об этом подается на усилитель регулирующего устройства, который включает обогрев датчика, ПОС и выдает сигнал об обледенении экипажу самолета.

После сброса льда с датчика сигнализатор готов к повторной регистрации обледенения.

Тепловой переключатель, имеющийся в датчике, защищает систему от перегрева.

Регулирующее устройство состоит из источника питания, импульсного усилителя, реле, синхронизирующего устройства и фильтра радиопомех (все элементы модульной конструкции и объемные).

Внешнее излучение от источника (на расстоянии 400 мм) воздействует на обслуживающий персонал так же, как светящийся циферблат часов.

#### 9. Радиоизотопный сигнализатор РАУС-1(автомат управления ПОС).

Автомат управления ПОС РАУС-1 состоит из электронного блока и датчика, и имеет два варианта исполнения:

- 1) для управления ПОС самолета с высокотемпературным датчиком ДОР-Т1;
- 2) для управления ПОС вертолета (4-, 5-, 6-секционные ПОС) с низкотемпературным датчиком ДОР-Т2.

Принцип действия РАУС-1 основан на ослаблении потока бета-излучения радиоизотопного элемента за счет его частичного поглощения слоем льда, выросшего на чувствительной поверхности экрана штыря датчика, а также на изменении электрического сопротивления термочувствительного элемента датчика от температуры наружного воздуха с дальнейшим преобразованием этого изменения во временной интервал.



Рис. 11. Функциональная схема сигнализатора РАУС-1

Функциональная схема РАУС-1 приведена на рис. 11.

Датчик температуры, основой которого является терморезистор, предназначен для преобразования температуры наружного воздуха в электрическое сопротивление.

Радиоизотопный датчик обледенения предназначен для преобразования толщины льда, выросшего на чувствительной поверхности его штопора, в последовательности статических распределенных по времени импульсов, характеризующихся средней скоростью, частотой следования. При увеличении слоя льда частота импульсов на выходе радиоизотопного датчика уменьшается.

Конструктивное устройство датчика ДОР-Т1 (ДОР-Т2) приведено на рис. 12.

Датчик состоит из корпуса 9 и фланца 5, в который запрессован цилиндрический экран 3. В нерабочем состоянии датчик закрыт защитным кожухом 1. Внутри корпуса 9 крепится держатель 10. В держателе 10 установлен счетчик излучения 2, резисторы 7, 11 и конденсатор 12.

Во фланце 5 установлен терморезистор 6. Цилиндрический экран 3 служит поверхностью, на которой образуется лед. Внутри экрана размещается устройство обогрева 4. В устройстве обогрева имеется прорезь для прохождения  $\beta$ -излучения от источника ионизирующего излучения 2.

Канал сигнализации обледенения предназначен для преобразования импульсов, поступающих с датчика, и выдачи сигнала «Обледенение» при достижении слоя льда, выросшего на чувствительной поверхности датчика, толщины, которая соответствует установленному пороговому значению  $0,4 \pm 0,1$  мм, задержки сигнала «Обледенение» на время 115 с после сброса льда с датчика, а также сигнализации об отказе датчика в виде периодической подачи сигнала «Обледенение».

Канал автоматического управления ПОС предназначен для преобразования температуры наружного воздуха (изменения сопротивления терморезистора датчика температуры) во временные интервалы длительностью 30 с или 60 с в зависимости от температуры и сигнализации экипажу о температуре наружного воздуха ниже расчетной, т.е. такой, ниже которой не обеспечивается эффективная работа ПОС. Канал обеспечивает выдачу сигналов на включение секции ПОС вертолета и ПОС самолета.

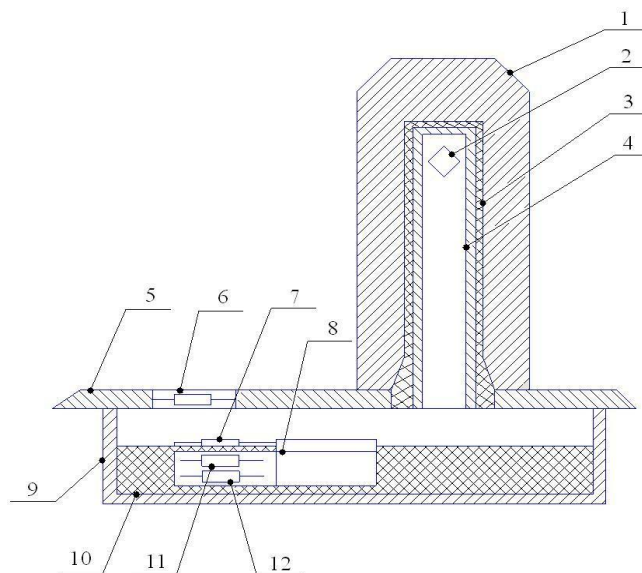
Масса сигнализатора – 7.6 кг, теплоустойчивость – до 180°C.

#### *Выводы по радиоизотопным сигнализаторам обледенения*

Основными преимуществами радиоизотопных сигнализаторов являются бесконтактность определения наличия льда на датчике и наличие сигнала об обледенении только в том случае, когда обледенение действительно существует, малый вес, небольшие габариты, большой срок службы.

Однако, наряду с указанными преимуществами, радиоизотопные сигнализаторы обладают также недостатками:

- низкой чувствительностью в условиях образования рогообразного льда;
- тепло- и виброустойчивостью датчика сигнализатора, недостаточной для использования их в двигателях;
- радиоизотопный датчик создает определенные (психологического характера) трудности в применении и обслуживании.



**Рис. 12. Конструкция датчика ДОР-Т1(ДОР-Т2):**  
 1 - защитный кожух; 2 - источник излучения;  
 3 - экран; 4 - нагреватель; 5 - фланец;  
 6 - терморезистор; 7, 11 - резисторы; 8 - счетчик излучения; 9 - корпус; 10 - держатель;  
 12 - конденсатор

Проведенный анализ существующих датчиков сигнализации обледенения позволяет сделать следующие основные выводы.

Преимуществом механических сигнализаторов является то, что сигнал об обледенении выдается только в том случае, когда обледенение действительно существует, а также то, что они не реагируют на дождь, снег, кристаллы льда, изменение скорости, высоты движения и наружной температуры окружающей среды. Достоинство этих сигнализаторов также в том, что они удовлетворительно работают в условиях клино- и рогообразного обледенения.

Механические вибрационные сигнализаторы, принцип работы которых основан на изменении резонансной частоты, малогабаритны, безопасны в эксплуатации, обладают высокой надежностью, вибро- и теплоустойчивостью, что позволяет применять эти сигнализаторы в воздухозаборниках двигателей ЛА.

Механические сигнализаторы скребкового принципа действия вследствие применения перемещающихся деталей имеют несколько худшую надежность.

По имеющейся информации за рубежом совершенствуются конструкции хорошо зарекомендовавших себя механических (вибрационных) сигнализаторов обледенения фирмы Rosemount.

#### Библиографический список

1. **Тенешев, Р.Х.** Противообледенительные системы летательных аппаратов / Р.Х. Тенешев. – М.: Машиностроение, 1967.
2. **Трунов, О.К.** Обледенение самолетов и средства борьбы с ним / О.К. Трунов. – М.: Машиностроение, 1965.
3. Сигнализаторы обледенения фирмы Rosemount: техническая справка, 1985.
4. Цифровой сигнализатор обледенения фирмы Rosemount. Перевод №946.
5. Анализ отечественных и зарубежных сигнализаторов обледенения: технический отчет. 1979. №19-79.
6. Пат. № 4333004 (США). Обнаружение обледенения, вызываемое погодными условиями. Перевод №1020.

*Дата поступления  
в редакцию 25.10.2013*

**V.D. Vavilov<sup>1</sup>, A.N. Sukonkin<sup>2</sup>**

#### REVIEW OF DOMESTIC AND FOREIGN ICE DETECTORS

Arzamasskiy polytechnic institute (branch) NGTU n.a. R.E. Alexeev<sup>1</sup>  
OJSC Arzamas experimental design department Impuls<sup>2</sup>

The article deals with ice detectors, which provide information about ice conditions, about generation of ice on the aircraft surface. Also the article deals with detector of ice thickness, which determines ice thickness directly on controlled aircraft surface. Ice thickness detectors are exploited to produce the required signals and also detectors are exploited to switch on automatically of anti-icing system. When the aircraft surface are covered by ice. Also the article includes the ice detectors classification of principle of operation. Study of domestic and foreign ice detectors was carried out. According to the article conclusions were drawn. According to these conclusions the ice detectors making advices were given.

*Key words:* ice detector, anti-icing system, icing, sensor, icing intensity, detector, ice area.

УДК 531.768.082.14

М.Л. Суконкина<sup>1</sup>, С.И. Гайнов<sup>2</sup>**ОБЗОР МЕТОДОВ И УСТРОЙСТВ ВИБРОЗАЩИТЫ ПРИБОРНЫХ ПЛАТФОРМ**ОАО «Арзамасский приборостроительный завод им. П.И. Пландина<sup>1</sup>,  
Арзамасский политехнический институт (филиал) НГТУ им. Р.Е. Алексеева<sup>2</sup>

Статья посвящена обзору методов (введение в структуру прибора антивибратора или введение в структуру виброизолятора) и устройств виброзащиты приборных платформ. Рассмотрены основные методы виброзащиты, наиболее часто встречающиеся варианты выполнения подвижных узлов интегральных датчиков с механическими гасителями колебаний: конструкция «рамка в рамке», конструкция с противоударным демпфером, конструкция с магнитоэлектрическим демпфированием, конструкция демпфирования с помощью тросовых амортизаторов. Описаны схемы решения вопросов виброизоляции, предложена одна из наиболее её распространенных и приемлемых схем. Получены математические модели рассмотренных подвижных узлов. Приведен общий вид амортизатора, классификация амортизаторов по принципу действия, по конструктивным особенностям, по кинематическим особенностям.

*Ключевые слова:* виброизоляторы, амортизаторы, виброустойчивость, вибровозмущения, колебания, частота, демпфер, приборная платформа.

Возрастание скоростей и маневренности современных летательных аппаратов требовало от навигационно-пилотажных приборов повышения точности и чувствительности при одновременном повышении надежности. Последнее, в свою очередь, заставило применить системы виброзащиты (динамическое гашение и виброизоляцию) к таким приборам как акселерометры и гироскопы.

Методы виброзащиты сводятся к двум основным. Первый метод заключается в преобразовании воздействующих частот ниже уровня резонансных частот самих приборов и их чувствительных элементов, иными словами, сводится к введению в структуру антивибраторов (динамических гасителей колебаний) с целью изменения соотношения между частотами возмущающих сил и моментов и собственными у защищаемого объекта.

Второй – уменьшение амплитуд колебаний на всех режимах (резонансных и нерезонансных) за счет сочетания упругих и демпфирующих свойств, вводимых в систему защиты виброизоляторов. Вводимые в систему виброизоляторы (или простейшие пружины) уменьшают уровень вибраций платформы и защищаемого объекта при условии превышения частот колебаний по сравнению с собственной частотой, а демпферы (демпфирование) существенно снижают вибрации в резонансной области.

Основную роль в виброизоляции играют амортизаторы. Характеристики их выбирают в соответствии с требованиями, необходимыми для фильтрации возмущений, действующих на приборную часть. Общий вид настраиваемого амортизатора показан на рис. 1. Чаще всего применяют четное число амортизаторов. Одним концом амортизатор жестко закрепляется на неподвижном основании, другим – с подвижной монтажной платформой. Здесь могут быть несколько случаев.

Вариант 1: амортизатор работает по одной оси, т.е. имеет условно одну степень свободы («одностепенный»), по другим осям виброизоляции он не обеспечивает. По другим осям движение ограничено, например, направляющими и воздействие по ним при оценке можно рассматривать независимо.

Вариант 2: амортизатор работает по нескольким осям (рис. 1), т.е. многостепенный. Степени свободы могут быть линейными и угловыми. Но и при одностепенном амортизаторе движение виброизолируемого тела со смещенным центром масс может быть сложным. Например, при приложении сосредоточенной силы по оси амортизатора из-за составляющей

относительно оси, проходящей через смещенный центр, возникает момент, скручивающий или изгибающий амортизаторы.

Конструктивно решение вопросов виброизоляции осуществляют по нескольким схемам. Одна из наиболее распространенных и приемлемых реализуется следующим образом:

- группу датчиков, например акселерометров и гироскопов, размещают на жесткой монтажной платформе;
- монтажную платформу устанавливают на амортизаторы;
- настраивают амортизаторы таким образом, чтобы отфильтровать частоты, совпадающие с резонансными частотами датчиков.

Этот классический метод [1] применим только для простейших систем. Даже при небольшом числе в наборе датчиков на сборной платформе, распределение плотности становится неоднородным, чаще всего дискретным, а центр тяжести платформы оказывается смещенным.

Смещение центра тяжести в зависимости масс датчиков может быть относительно всех трех осей:  $x$ ,  $y$ ,  $z$ . В статике определить расположение центра тяжести проблем не представляет. Для этого необходимо знать всего лишь массы датчиков и топологию их размещения. Однако выбор оптимальной топологии размещения датчиков связан с конструктивной схемой и выбором амортизаторов и требует теоретической проработки и проведения машинных экспериментов и экспериментальных исследований с применением вибростенда.

По принципу действия амортизаторы подразделяются на линейные и нелинейные. По кинематическим особенностям – на одноосные, работающие на сжатие-растяжение, на кручение, а также имеющие сложный вид деформации, например растяжение с изгибом, и др. (рис. 2).

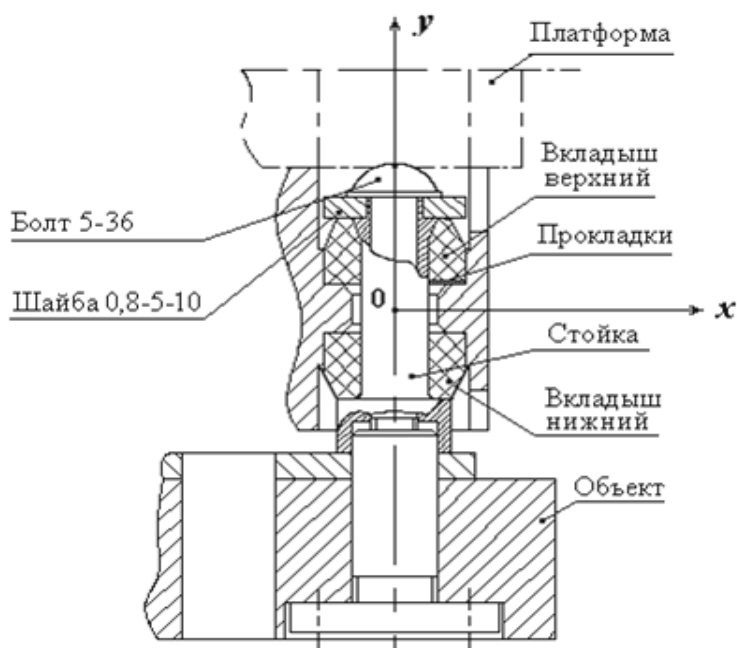


Рис. 1. Амортизатор и установка его на объекте

По конструктивным особенностям амортизаторы подразделяются на резиновые, металло-резиновые и амортизаторы из композитных и синтетических материалов. Требования к амортизаторам в основном те же, что и требования к самим объектам, для которых они предназначены. Например, для летательных аппаратов самолетного типа амортизаторы рассчитывают на резонансные частоты в пределах 7..12 Гц, а для ракетного типа – 15...20 Гц.

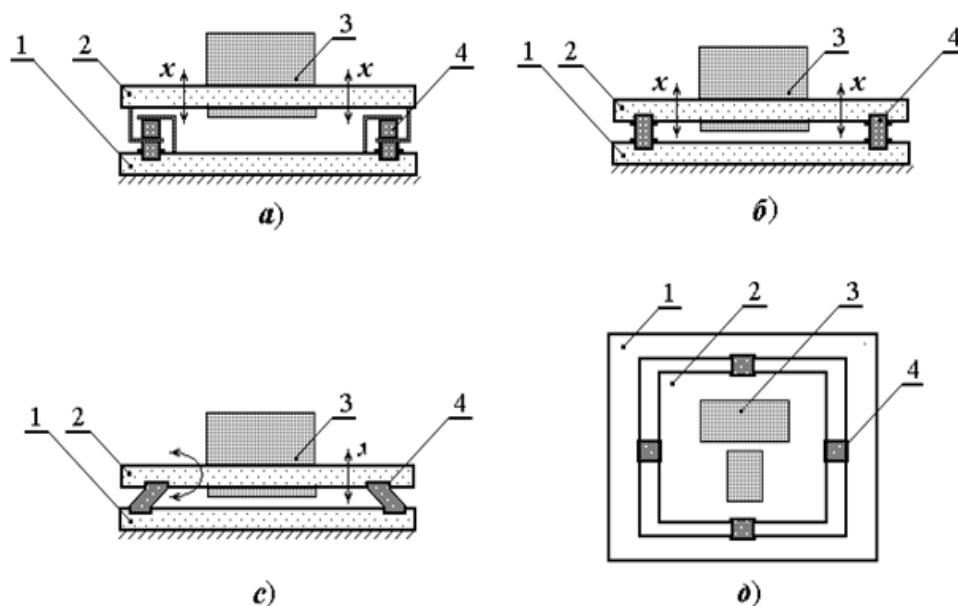
Еще одним распространенным методом виброизоляции приборных устройств является планарный [2]. Его кинематика иллюстрируется на рис. 3. Особенностью его является простота конструкции и возможность изоляции по всем шести степеням свободы. Тем не менее,



в некоторых случаях этого не требуется, например, там, где входные воздействия имеют ограниченное число направлений.

Современные авиационные приборы, как правило, не требуют специальных устройств виброизоляции, поскольку вопросы виброустойчивости решаются автономно для каждого измерительного прибора, например, для часто применяемого прибора такого, как акселерометр [3]. Поэтому располагать акселерометры на подвижном столике виброизоляции не требуется: это, во-первых, усложняет конструкцию и, во-вторых, увеличивает и изолируемую массу, т.е. возникает эффект утяжеления.

Основными источниками вибровозмущений на носителе являются колебания конструкций от работы двигательных установок, удары встречных потоков, от неравномерной плотности, связанной с метеорологическими условиями, от повышенных перегрузок при взлетах и посадках.



**Рис. 2. Кинематическая схема установки амортизаторов:**

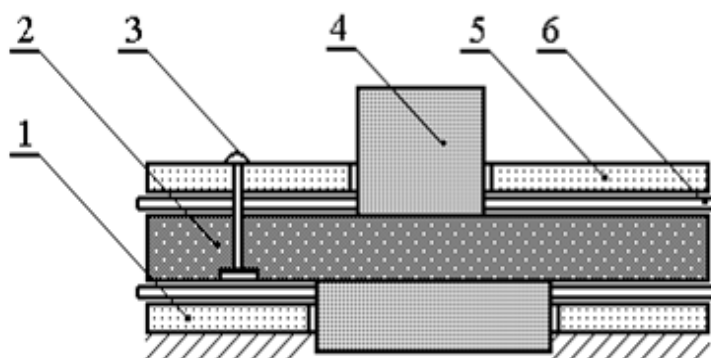
*a* – амортизаторы, работающие на растяжение-сжатие; *б* – амортизаторы, работающие на сложную деформацию; *с* – амортизаторы, работающие на изгиб; *д* – амортизаторы, работающие на кручение

Воздействия являются случайными, а собственные частоты и амплитуды имеют широкий спектр. Для авиационной и ракетной техники диапазон частот можно разбить на три участка:

- первый – 2...5 Гц;
- второй – 5...10 Гц;
- третий – 10 -100 Гц и более.

Каждому диапазону соответствует определенный вид перегрузок и соответственно выбор и настройка амортизаторов должны максимально снижать амплитуды при резонансах.

Известен в инженерной практике [4] важный принцип демпфирования за счет поглощения виброэнергии дополнительным грузом, приводимым в колебательное движение самим демпфируемым узлом. Демпфируемым узлом является платформа с приборами, а демпфирующим основание, жестко связанное с ЛА. Тот и другой узлы могут иметь как осевые, так и угловые движения. При этом методе демпфирования принципиально имеет место диссипация энергии на внутреннее трение в амортизаторах платформы и в торсионах подвеса дополнительного груза. Обеспечить оптимальный динамический режим платформы возможно за счет совместного синхронного режима обоих подвижных узлов. При отсутствии синхронизма максимумы возмущений могут возрастать.



**Рис. 3. Планарный настроенный демпфер:**

- 1 - неподвижная обкладка; 2 - монтажная пластина; 3 - жесткое соединение монтажной пластины с подвижной обкладкой; 4 - изолируемое изделие; 5 - подвижная обкладка; 6 - резиновая прокладка

Основу демпфирования составляет потеря энергии при перекачке ее от основного узла к дополнительному и наоборот, при этом происходит создание циклических напряжений в амортизаторах и торсионах связи, сопровождающихся переходом кинетической энергии в тепловую и другие виды.

Гашение колебаний платформы на какой-либо заданной частоте возможно за счет применения настраиваемого демпфера, роль которого выполняет дополнительный груз, движущийся в противофазе с основным. Критерием при этом является противодействие друг другу сил упругости элементов связи между демпфируемым и демпфирующим узлами.

Применение дополнительного груза повышает демпфирующие свойства за счет того, что диссипация энергии в его подвесах усиливается специально подобранными материалами. Совместный коэффициент демпфирования может быть значительно повышен посредством покрытия резиноподобными материалами, например, эластомерами.

Собственная частота взаимно связанных колебаний двухмассового подвижного узла (платформа – дополнительный груз) находится между собственными частотами отдельной платформы и дополнительного груза. Для получения оптимального режима задача имеет теоретическое решение, представляемое в виде аналитических зависимостей между конструктивными параметрами.

Рассмотрим характерные случаи выполнения подвижных узлов интегральных датчиков с механическими гасителями колебаний.

#### 1. Конструкция “рамка в рамке”.

Одной из распространенных конструкций ЧЭ с механическим демпфером является конструкция “рамка в рамке” (рис. 4), в которой демпфирование линейного движения подвижного узла осуществляется другим подвижным узлом, связанным с первым упругими связями и совершающим также линейные движения.

На основании 5 установлена посредством основных амортизаторов 3 платформа 2 с установленными на ней виброизолируемыми приборами 4. С помощью дополнительных амортизаторов 6 с платформой 2 связан дополнительный груз 1, предназначенный для обеспечения оптимального успокоения платформы.

Следует заметить, что возможно также выполнение обращенной конструкции. Система имеет две степени свободы:  $y_1$  - линейное перемещение платформы 2 относительно основания 5;  $y_2$  - линейное перемещение дополнительного груза 1 относительно основания 5. Перемещения  $y_1$  и  $y_2$  являются взаимно связанными и определяются конструктивными и физическими параметрами двухмассового подвижного узла (платформа 2 – дополнительный груз 1).

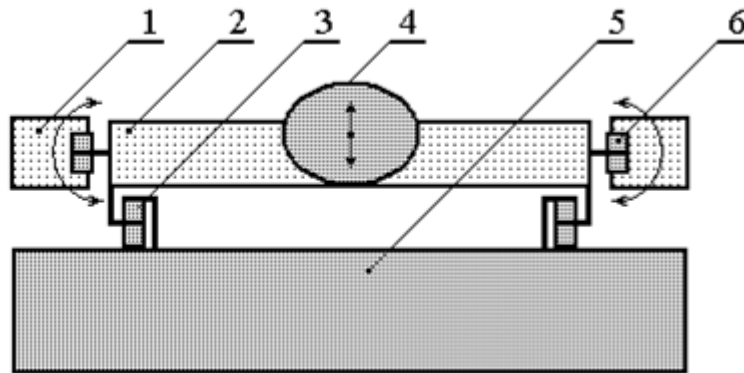
В [4] приведена математическая модель рассматриваемой системы. Приведем известную передаточную функцию как основную характеристику:

$$W_1(s) = \frac{b_2 s^2 + b_1 s + b_0}{a_4 s^4 + a_3 s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + a_0}, \quad (1)$$

где введены следующие обозначения:

$$\left. \begin{aligned} b_0 &= (m_1 + m_2)k_2, \quad b_1 = m_1 k_{g2}, \quad b_2 = m_1 m_2, \\ a_0 &= k_1 k_2, \quad a_1 = (k_1 + k_2)k_{g2} + k_2 k_{g1}, \\ a_2 &= (k_1 + k_2)m_2 + k_2 m_1 + k_{g1} k_{g2}, \\ a_3 &= m_1 k_{g2} + m_2 k_{g1}, \quad a_4 = m_1 m_2. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где  $k_1, k_2$  - соответственно осевая жесткость амортизаторов платформы и амортизаторов дополнительного груза;  $k_{g1}$  и  $k_{g2}$  - абсолютные коэффициенты демпфирования амортизаторов платформы и амортизаторов дополнительного груза;  $j$  - внешнее воздействие (ускорение корпуса).



**Рис. 4. Схема гашения виброэнергии с помощью механических поглотителей:**

1 - дополнительный груз; 2 - подвижная платформа; 3 - основной амортизатор; 4 - виброизолируемый прибор; 5 - основание; 6 - дополнительный амортизатор

В (2) независимыми параметрами являются шесть величин:  $m_1, k_1, k_{g1}, m_2, k_2$  и  $k_{g2}$ , причем первые три из них, относящиеся к демпфируемому узлу (внешнему), задаются из конструктивных соображений, а три остальные требуют определения в соответствии с условием достижения оптимальных демпфирующих свойств. В общем случае определение неизвестных величин эффективнее всего осуществлять с использованием ЭВМ по АЧХ, соответствующей передаточной функции четвертого порядка (1) при заданном показателе колебательности. Рассмотрим только частные решения, выражаемые аналитически в виде элементарных функций.

Вспользуемся понятием коэффициента связи, представляющим собой отношение сил упругости подвесов демпфируемого и демпфирующего узлов:

$$\chi = y_1 k_1 / (y_2 k_2). \quad (3)$$

Зависимость коэффициента связи от конструктивных параметров можно получить из соотношений (2) для статического состояния:

$$\chi = \frac{(1 + m_1/m_2)k_2}{k_1 + (1 + m_1/m_2)k_2}. \quad (4)$$

Формула (4) показывает преимущества двухмассового ЧЭ перед одномассовым с точки зрения их демпфирующих качеств, поскольку на значения абсолютных коэффициентов можно влиять варьированием величин масс и жесткостей, а также применением гистерезисных поглотителей энергии во внутренних подвесах или комбинацией того и другого.

Условие синхронизма  $\omega_1 = \omega_2 = \omega$  при гармонических колебаниях подвижных узлов  $y_1 = y_1^{\max} \sin(\omega_1 t)$ ,  $y_2 = y_2^{\max} \sin(\omega_2 t)$  можно получить в виде соотношения между конструктивными параметрами, решая систему дифференциальных уравнений (2) с учетом (4) при отсутствии демпфирования  $k_{g1} = k_{g2} = 0$ :

$$\omega^2 = \frac{k_2}{m_1} \left[ \left( 1 + \frac{m_1}{m_2} \right) - \chi \frac{k_2}{k_1 - \chi k_2} \right]. \quad (5)$$

Допуская характер гашения колебаний системы гистерезисным, при котором абсолютный коэффициент обратно пропорционален действующей частоте, т.е.  $k_g = k\eta/(\omega_c + \omega)$ , можно утверждать, что снижение частоты синхронизма способствует повышению демпфирующих свойств. Из (5) следует, что на величину частоты можно в широких пределах влиять варьированием коэффициента связи и соответственно получать любое требуемое демпфирование.

Недостатком метода снижения ударной и вибрационной нагрузки с помощью механических поглотителей является значительное усложнение конструкции платформы.

## 2. Противоударный демпфер.

С целью повышения надежности авиационных приборов, предназначенных для работы в экстремальных условиях, в их конструкциях используются противоударные демпферы [5]. Модернизированный подвижный узел, конструкция которого дополнена противоударным демпфером, выполненным на платформе, приведена на рис. 5.

В противоударных демпферах используется гистерезисный принцип гашения колебаний. Противоударные демпферы могут быть размещены как на подвижном узле, так и на неподвижном основании.

В противоударных демпферах используется гистерезисный принцип гашения колебаний. Противоударные демпферы могут быть размещены как на подвижном узле, так и на неподвижном основании.

Модернизированный подвижный узел, конструкция которого дополнена противоударным демпфером, выполненным на платформе, приведена на рис. 5. В противоударных демпферах используется гистерезисный принцип гашения колебаний. Противоударные демпферы могут быть размещены как на подвижном узле, так и на неподвижном основании.

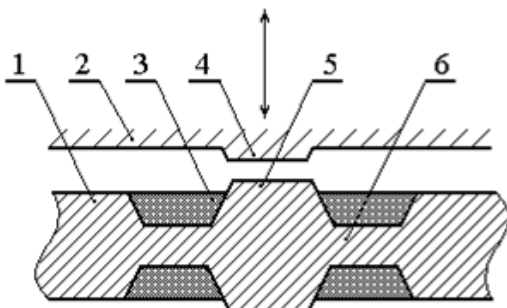
Демпфер рассчитывают на основании следующей известной зависимости [6]:

$$\eta \omega_c \dot{x} + \omega_c^2 x = j_{\text{удара}} \quad (6)$$

где  $\eta$  - коэффициент потерь;  $\omega_c = k/m$  - собственная частота подвижной части демпфера;

$m$  - масса подвижной части со всеми надстройками;

$$k = \frac{1}{a_1^3} \left\{ E_1 b_1 c_1^3 + E_2 \left[ b_2 c_2^3 + 2b_2 c_2 \left( \frac{c_1 + c_2}{2} \right)^2 \right] \right\}$$



**Рис. 5. Увеличенный фрагмент противоударного демпфера:**

1 - неподвижная крышка; тело маятника; 3 - виброгасящий материал; 4 - рабочий выступ на маятнике; 5 - рабочий выступ на крышке; 6 - мембранный успокоитель

- жесткость успокоительной мембраны или консольной балки демпфера (рис. 5);  $a_1, b_1, c_1$  - длина, ширина и толщина кремниевой части консольной балки;  $b_2, c_2$  - ширина и толщина слоя металлизации;  $x_{\max}$  - разность между величиной зазора между подвижной

платформой и основанием;  $j_{\text{удара}}$  - ускорение удара, обычно задают 100...1000 g.

Ограничение перемещений платформы также способствует повышению устойчивости при ударах. В рассмотренной конструкции величина перемещения равна зазору между рабочими выступами на платформе и на неподвижном основании.

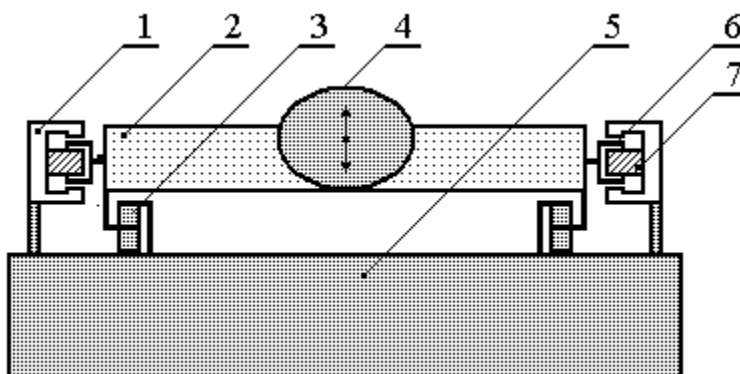
В конструкции противоударной системы демпферы представляют собой упоры, выступающие от плоскости платформы (или основания) на доли миллиметра и связанные с телом основания через мембраны с виброгасящим покрытием, например, с металлизацией.

Несмотря на кажущееся усложнение системы, указанный метод с успехом может применяться для виброзащиты платформы.

### 3. Магнитоэлектрическое демпфирование подвижных узлов

Особенностью демпфирования подвижных узлов в различных авиационных устройствах является то, что часто требуется обеспечить степень демпфирования по разным осям разной. Так, колебания вдоль оси  $x$ , задающие линейную скорость и определяющую величину кориолисовой силы относительно осей  $y$  и  $z$ , должны быть демпфированы.

Демпфирование должно осуществляться по измерительной оси, в данном случае – по оси  $y$ . Короткозамкнутый виток 2 расположен в зазоре 4 магнитной системы между полюсами 1 и 3 на подвижном узле (рис. 6). Магнитная индукция в зазоре создается постоянным магнитом 6. Явно выраженные полюса 1 и 3, а также магнитопровод 5 и постоянный магнит 6 при интегральном исполнении выполнены в слоях из соответственно подобранных материалов.



**Рис. 6. Магнитоэлектрический демпфер:**

1 – магнитопровод; 2 – платформа; 3 – амортизатор; 4 – защищаемый прибор; 5 – основание;  
6 – короткозамкнутый виток; 7 – постоянный магнит

Величина демпфирующей силы определяется выражением

$$F_{\text{д}} = \frac{BlU}{R}, \quad (7)$$

где  $U$  - напряжение, возникающее на концах разомкнутого проводника;  $R$  - сопротивление проводника;  $l$  –длина проводника. При недостаточном демпфировании может быть выполнено  $n$  витков. Напряжение в петле коротко замкнутого проводника возникает в том случае, если проводник движется, пересекая магнитные силовые линии в зазоре постоянного магнита и определяется из выражения

$$U = Bl\dot{x}. \quad (8)$$

Объединив формулы (7) и (8), получим

$$F_{\text{д}} = \frac{B^2 l^2}{R} \dot{x}. \quad (9)$$

В соответствии с формулой (9) абсолютный коэффициент демпфирования запишется:

$$k_{gx} = \frac{B^2 l^2}{R} n, \quad (10)$$

где  $n$  - число короткозамкнутых витков.

Для колебательных систем можно найти значение абсолютного коэффициента демпфирования, необходимого для обеспечения оптимального режима в зависимости от массы подвижного узла и жесткости амортизаторов:

$$k_{gx} = (2\xi + \eta) \sqrt{mk_x}, \quad (11)$$

где  $\xi$  - относительный коэффициент демпфирования скоростного характера;

$\eta$  - коэффициент гистерезисных потерь.

Оптимальное значение суммарного коэффициента, в соответствии с которым рассчитывается система, задается конструктором, например,

$$\xi + \eta = \sqrt{2}/2.$$

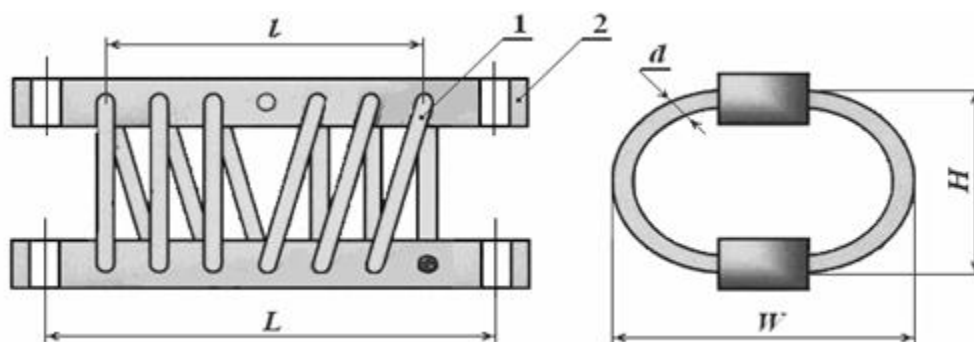
Соотношения (10) и (11) позволяют рассчитать электрические параметры демпфера для механической колебательной системы с заданной массой и жесткостью амортизаторов.

Обеспечение магнитоэлектрического демпфирования возможно также в замкнутом контуре силовой отработки обратной связи при добавлении к позиционному сигналу сигнала по скорости.

Недостатком рассмотренного метода является то, что его применение эффективно только в случаях демпфирования подвижных узлов малой массы.

#### 4. Демпфирование с помощью тросовых амортизаторов

В последнее время для виброгашения чувствительных к механическим воздействиям приборных изделий получили распространение тросовые амортизаторы. Упругие элементы таких виброизоляторов выполнены из нержавеющей троса в виде квазизамкнутых колец (рис. 7).



**Рис. 7. Тросовый амортизатор:**

1 – упругий трос; 2 – обойма



**Рис. 8. Витой трос**

Трос свит из многожильных пружинных проволочек (рис. 8). Наряду с высокой демпфирующей способностью и стабильностью характеристик, такие цельнометаллические изделия обладают высокой коррозионной стойкостью, высоким ресурсом, а также простотой монтажа.

На данный момент из литературных источников, а также из конструкторских нормативов неизвестны методы расчетов тросовых амортизаторов. В данном случае неоценимую помощь могут оказать экспериментальные исследования.

Практика применения тросовых амортизаторов показала, что этот способ является универсальным как по форме нагрузок, так и по

массе защищаемых приборных средств. Тросовые амортизаторы превосходят резиновые как по ресурсу, так и по степени демпфирования.

#### Библиографический список

1. **Бабаков, И.М.** Теория колебаний / И.М. Бабаков. – М.: Наука, 1968. – 560 с.
2. **Ильинский, В.С.** Защита РЭА и прецизионного оборудования от динамических воздействий / В.С. Ильинский. – М.: Радио и связь, 1982. – 206 с.
3. **Тимошенко, С.П.** Колебания в инженерном деле / С.П. Тимошенко. – М.: Наука, 1967. – 444 с.
4. **Коновалов, С.Ф.** Теория виброустойчивости акселерометров / С.Ф. Коновалов. – М.: Машиностроение, 1991. – 270 с.
5. **Вавилов, В.Д.** Интегральные датчики / В.Д. Вавилов; НГТУ. – Н. Новгород, 2003. – 504 с.

*Дата поступления  
в редакцию 25.10.2013*

**M.L. Sukonkina<sup>1</sup>, S.I. Gainov<sup>2</sup>**

#### OVERVIEW OF THE METHODS AND DEVICES OF DEVICES BOARD VIBROPROTECTION

OJSC Arzamas Instrument making plant n.a. P.I. Plandin<sup>1</sup>,  
Arzamasskiy polytechnic institute (branch) NGTU n.a. R.E. Alexeev<sup>2</sup>

The article deals with the burning problems of vibroprotection's methods of device's platform (namely introduction of antivibrator or vibroinsulator into the device's construction) and vibroprotection's means of device's platform. The main methods of vibroprotection, the most well-known type of integral sensor's removable component with mechanical damper of vibrations are described (particularly "framework into framework" construction, construction with the shock-proof damper, magnetoelectric damper construction, and damper construction with rope oscillation damper). Mathematic's descriptions of discussed removable component are drawn. Overall view of oscillation damper and one of the most popular ways of vibroinsulation are described. Oscillation damper classification by principle of operation, construction features; kinematic features are also included in this article.

*Key words:* vibroinsulator, oscillation damper, vibrostability, perturbation, vibrations, oscillation frequency, antihunt, devices board.

## МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ЕСТЕСТВЕННЫХ, ТЕХНИЧЕСКИХ И СОЦИАЛЬНЫХ НАУКАХ

УДК 656.1

М.Е. Елисеев<sup>1</sup>, М.Е. Сангалова<sup>2</sup>

### О КЛАССИФИКАЦИИ ОЧАГОВ АВАРИЙНОСТИ

Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева<sup>1</sup>,  
Арзамасский филиал Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского<sup>2</sup>

Рассматривается классификация очагов аварийности с целью более полного анализа и выявления причин аварий. Стандартные подходы к разбиению очагов аварийности на классы не годятся. В статье для решения этой задачи использована теория графов. Найденная методика позволяет вывить места аварийности схожего типа. При наличии информации об одном очаге из класса автоматически получаем данные о всем классе. Исследование может быть использовано для определения причин аварийности любого крупного города. В частности, результаты работы планируется использовать при разработке подсистемы мониторинга интерактивной карты аварийности.

*Ключевые слова:* топографический анализ, ДТП, ГИС, геоинформационная система, интерактивная карта.

Объем аналитического материала о дорожно-транспортных происшествиях (ДТП) огромен. Невольно возникает вопрос: нельзя ли на основании строгого математического анализа и современных компьютерных технологий выявить причины аварий? Эта информация могла бы быть использована в двух направлениях:

- 1) предоставление водителям (автошколам, перевозчикам и т.д.) достоверной информации об опасностях на дороге, в удобной для восприятия форме;
- 2) изменение дорожной инфраструктуры в тех районах где это наиболее эффективно.

При анализе аварийности крупного города прежде всего выявляются места концентрации дорожно-транспортных происшествий – очаги ДТП. Эта операция называется топографическим анализом. В работах [1, 2] рассматривались так называемые маркеры очагов – это матрицы строки, элементами которых являются доли ДТП определенного типа. Выделялись основной, временной и причинный маркеры. Данные характеристики очагов позволяют существенно продвинуться в вопросе выявления причин ДТП, но информация получается несколько обрывочной. Например, известно, что в очаге «А» чаще, чем в среднем виновниками аварий являются мужчины возраста 26-40 лет со стажем 3-6 лет, а причиной многих аварий является гололедица. Эти характеристики существенно лучше, чем просто число ДТП, но четкого понимания механизма аварий они не дают [3].

Для более глубокого и полного анализа целесообразно использовать стандартный математический метод – классификацию.

Все очаги прежде всего разделим на типовые и нетиповые. К типовым отнесем очаги, маркеры которых близки к среднему: для каждого очага могут быть найдены доли  $x_i = \frac{n_i}{N}$ , где  $n_i$  – число ДТП соответствующей категории водителей;  $N$  – общее число ДТП. Данные доли составляют матрицу-строку, так называемый основной маркер очага.



Маркеры всех очагов сравнивались с маркером среднего, соответствующим всем авариям. Рассмотрим соответствующий график (рис. 1).



Рис. 1

По нему можно судить в целом, насколько часто попадает в аварию та или иная категория водителей. Например, пики графика приходятся на категории 32 (мужчины возраста 26-40 лет со стажем вождения 7 лет и более), 33 (мужчины возраста 41-60 лет, стаж 7 лет и более), 22 (мужчины возраста 41-60 лет, стаж 3-6 лет), 21 (мужчины возраст 26-40 лет, стаж 3-6 лет), 11 (мужчины возраста 21-25 лет, стаж 1-2 года). Для интерпретации этих результатов желательно располагать информацией о реальном нахождении на дорогах всех категорий водителей. Мужчины попадают в аварии чаще, поскольку основную массу водителей все же представляют мужчины. Водители пожилого возраста редко попадают в ДТП, так как их процент от общего числа достаточно мал.

Для каждого очага ввели в рассмотрение сумму квадратов отклонений от среднего  $d_{0i} = \sum_{j=1}^{40} (x_j - x_{jcp})^2$ . Полученные значения однозначно характеризуют расхождения (большие или меньшие) со средним значением маркера. Для графиков это означает большую или меньшую схожесть с графиком среднего, представленного ранее.

Затем очаги были расположены в порядке возрастания указанного параметра: суммы квадратов разностей  $d_{0i}$ .

В верхней части списка оказались типичные очаги, практически не отличающиеся от среднего значения, графики которых имеют незначительные расхождения со средним. Картина ДТП для этих очагов будет полностью ясна из рассмотрения среднего значения.

В нижней части списка находятся очаги, имеющие значительные расхождения со средним, то есть атипичные. Их графики имеют вид, существенно отличающийся от графика среднего.

Далее приведены графики типичного (ул. Московское шоссе д. 302) и атипичного (ул. Народная, д. 38) очага в сравнении со средним (рис. 2).

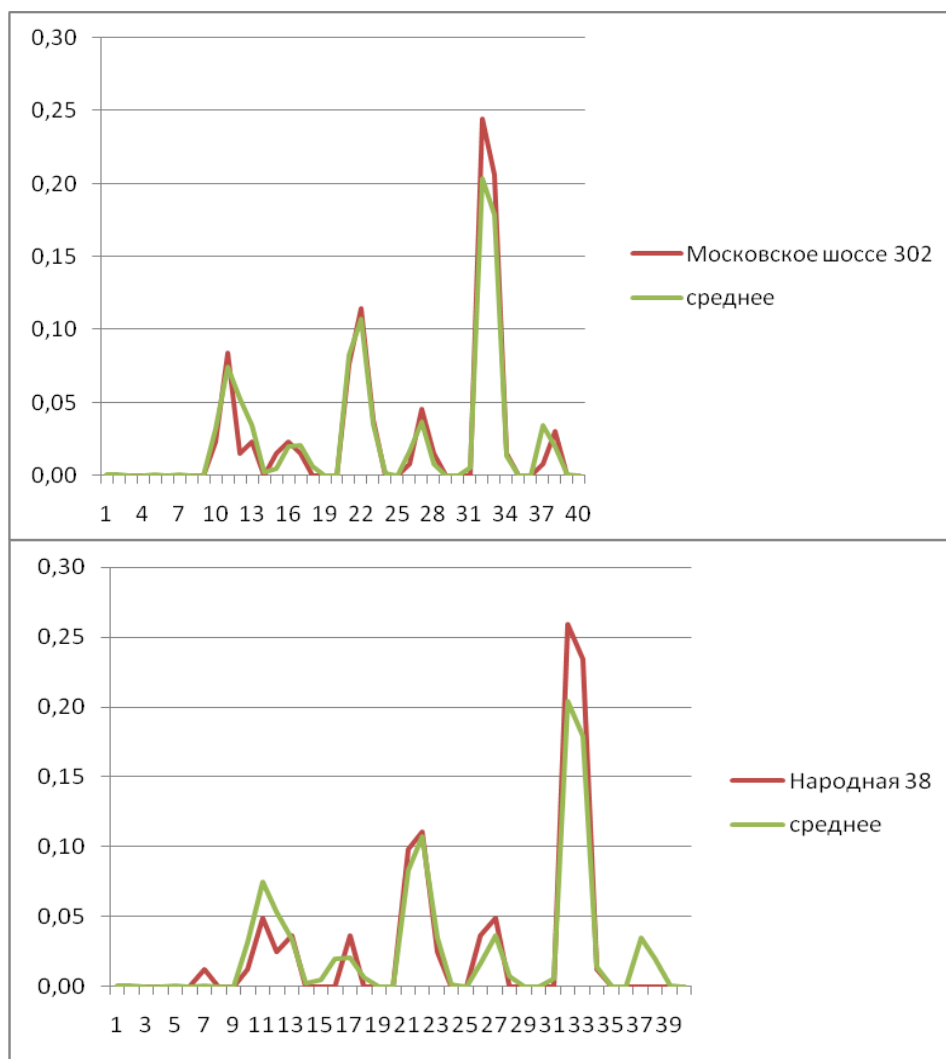


Рис. 2

Далее были посчитаны суммы квадратов отклонений очагов друг от друга:  $d_{ik}$  – сумма квадратов отклонений  $i$ -го очага от  $k$ -го. Анализ показал, что многие очаги имеют малые расхождения друг с другом (рис. 3). Соответствующие графики практически накладываются один на другой. Однако осталось неясным: какое отклонение  $d_{ik}$  считать достаточно малым.

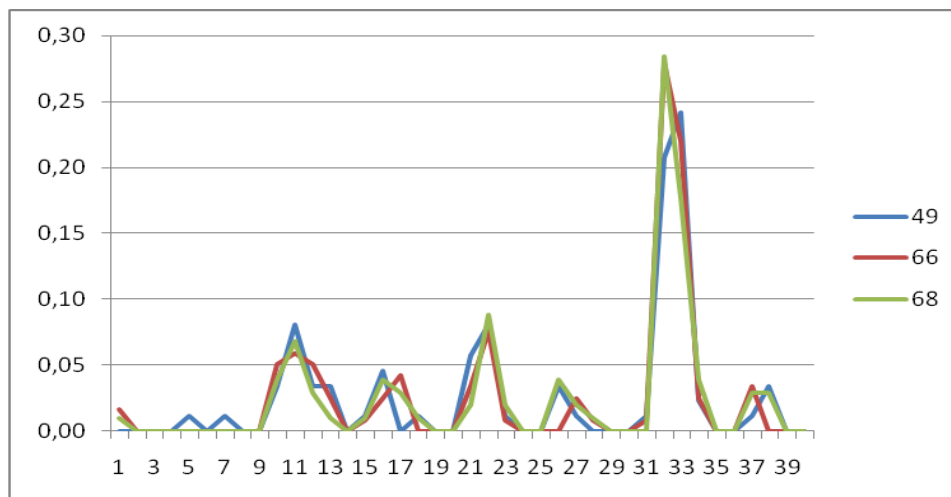


Рис. 3

Для выявления схожих очагов используем аппарат теории графов и стандартную терминологию. Вершинами графа будем считать очаги. Тогда множеству очагов могут быть сопоставлены два графа. Неориентированный: две вершины ( $i$ -я и  $j$ -я) связаны ребром, если  $d_{ji} < d_{0i}$  и  $d_{ji} < d_{0j}$ . То есть маркеры  $i$ -го и  $j$ -го очагов отличаются друг от друга менее, чем каждый из них от среднего. И ориентированный: направленное ребро ставится при  $d_{ji} < d_{0i}$ , при этом необязательно  $d_{ji} < d_{0j}$ . То есть маркер  $i$ -го и ближе к маркеру  $j$ -го, чем к среднему.

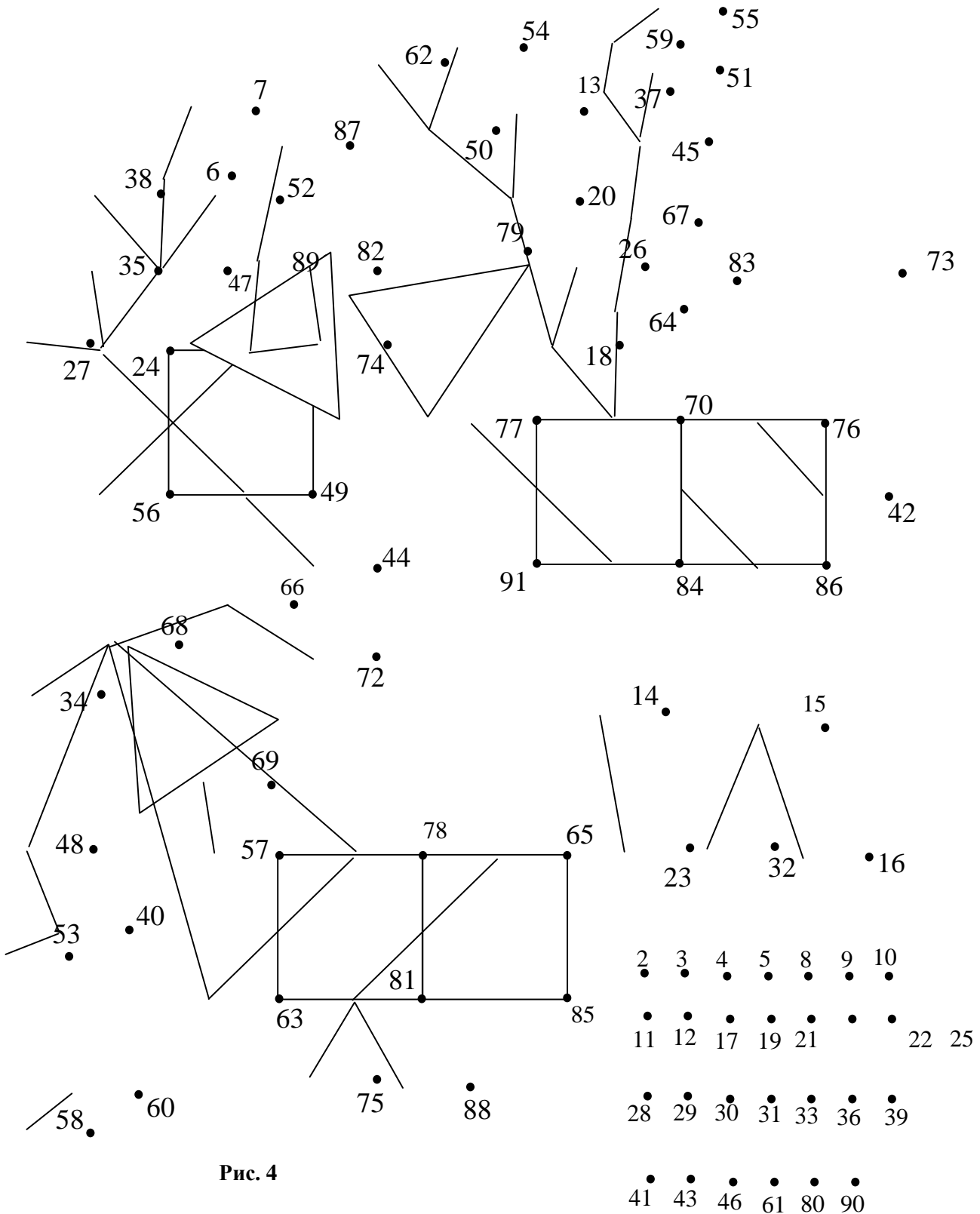


Рис. 4

На рис. 4 приведен неориентированный граф  $G$  связности очагов.

Введем в рассмотрение некоторые свойства графа связности, на основе которых можно осуществить деление на группы.

Граф  $G$  содержит 31 компоненту, из которых 27 являются изолированными вершинами.

Напомним, что кликой называется полный подграф данного графа. Клика максимальна, если она не является подграфом клики большего порядка, наибольшей, если в графе нет клики с большим числом вершин. В рассматриваемом графе есть клика порядка 4 с вершинами 24, 71, 49, 56 и 12 клик порядка 3, остальные клики имеют порядки 2 и 1.

Подсчитаем кликовое число  $\varphi$  данного графа - число вершин в наибольшей клике. Нетрудно установить, что  $\varphi(G)=4$ . Выделим доминирующее множество вершин графа - множество, удовлетворяющее условию: любая вершина графа смежна с некоторой вершиной этого множества. Число вершин в наименьшем доминирующем множестве называется числом доминирования и будет обозначаться  $\gamma_0$ .

На наш взгляд перспективной является идея разделения очагов на группы на основе наименьшего доминирующего множества вершин графа  $G$ . Поскольку любая вершина либо входит в доминирующее множество, либо является смежной какой-то его вершине. Значит, будут охвачены все имеющиеся очаги.

В доминирующее множество должны войти вершины графа степени 1 (висячие) или смежные с ними. Чтобы найти наименьшее доминирующее множество, будем записывать вершины смежные с висячими, так как их степень может быть больше 1.

Найдено доминирующее множество  $D = \{47, 6, 24, 89, 49, 50, 20, 18, 74, 76, 84, 59, 45, 70, 68, 66, 60, 40, 81, 57, 14, 15, 2, 3, 4, 5, 8, 9, 10, 11, 12, 17, 19, 21, 22, 25, 28, 29, 30, 31, 33, 36, 39, 41, 43, 46, 61, 80, 90\}$ . Оно является наименьшим в виду приведенных ранее соображений. Во множество  $D$  входят 27 изолированных вершин и 22 неизолрированных. Число доминирования  $\gamma_0(G)=49$ .

Как видно, граф  $G$  имеет достаточно много изолированных вершин, которые:

- ближе к среднему, чем к любой другой вершине (2, 3, 4, 5, 8, 9, 11, 12, 17, 19, 21, 39);
- близки к какой-либо вершине, но она к ним не близка; такие вершины не будут изолированы в орграфе (10, 22, 25, 28, 29, 30, 31, 33, 36, 41, 43, 46, 58, 61, 80, 90).

То есть изолированные вершины можно записать в одну группу, либо присоединить к выделенным группам (на основании ребер орграфа).

Далее будут рассмотрены оба деления на группы.

1. Каждую вершину доминирующего множества (кроме изолированных) можно взять за типичного представителя группы. В группу войдут все смежные с ней вершины. Соответствующие очаги характеризуются меньшим отклонением от типичного представителя, чем от среднего. Группы будут следующего состава (типичный представитель выделен).

**47**, 6, 24, 38, 52;

**6**, 7;

**24**, 27, 35, 47, 49, 56, 71;

**89**, 71, 87;

**49**, 24, 44, 56, 71;

**50**, 20, 54, 62;

**20**, 13, 18;

**18**, 26;

**74**, 71, 77, 79, 82;

**76**, 42, 83, 73, 70;

**84**, 86, 91, 77, 70;

**59**, 55, 37;

**45**, 51, 67, 37;

**70**, 64, 84, 86, 77, 76, 18;

**68**, 34, 66, 78, 48, 63;

**66**, 72;

60, 58, 40, 63;  
 40, 53;  
 81, 88, 75, 65, 78, 63, 85;  
 57, 69;  
 14, 23;  
 15, 16, 32.

Изолированные вершины ближе к среднему, поэтому составляют отдельную группу с типичным представителем – «средним» очагом. В данном разбиении 23 группы, причем некоторые очаги одновременно входят в несколько групп.

2. Будет отличаться тем, что изолированные вершины, принадлежащие орграфу, дополняются в группу, с типичным представителем которой они смежны. Добавленные вершины записаны в скобках.

47, 6, 24, 38, 52, (90);  
 7, 6, (29), (43), (61), (90);  
 24, 27, 35, 47, 49, 56, 71, (61);  
 89, 71, 87;  
 49, 24, 44, 56, 71;  
 50, 20, 54, 62;  
 20, 13, 18, (46);  
 18, 26, (29), (31);  
 74, 71, 77, 79, 82;  
 76, 42, 83, 73, 70;  
 84, 86, 91, 77, 70, (90);  
 59, 55, 37;  
 45, 51, 67, 37;  
 70, 64, 84, 86, 77, 76, 18, (90);  
 68, 34, 66, 78, 48, 63;  
 66, 72;  
 60, 58, 40, 63;  
 40, 53, (58);  
 81, 88, 75, 65, 78, 63, 85;  
 57, 69;  
 14, 23, (46), (90);  
 15, 16, 32, (58), (80).

Возможно это разбиение более перспективно для дальнейшего анализа. Получается также 23 группы.

Таким образом, в процессе решения поставленной задачи деления очагов на группы:

- введено в рассмотрение среднее значение маркеров по всем очагам, характеризующих некий «средний» очаг или картину ДТП по всем очагам в целом;
- построена математическая модель с помощью формулы суммы квадратов отклонений от среднего  $d_{oi} = \sum_{j=1}^{40} (x_j - x_{jcp})^2$ ;
- произведена сортировка очагов по возрастанию отклонения и таким образом выделены типичные и атипичные очаги;
- построены графики функций значений маркера, подтверждающие произведенные расчеты;
- построена математическая модель – графы связанности очагов (ориентированный и неориентированный);
- рассмотрены структура и свойства данных графов в контексте приложения их к решению задачи:
  - посчитано число компонент неориентированного графа  $k=31$ ;

- найдены наибольшие клики и кликовое число  $\varphi(G)=4$ ;
- найдено одно из наименьших доминирующих множеств и число доминирования  $\gamma_0(G)=49$ ;

- найдено деление на 23 группы (с выделенным типичным представителем).

Не отвергая возможности иных разбиений очагов на классы или группы, следует отметить преимущества избранного подхода к решению задачи:

- полностью математически обоснован;
- решение наглядно представлено с помощью графа, позволяющего продолжать исследование с использованием богатого инструментария данной теории;
- для построения графа выбрано условие: ребром соединяются вершины более близкие к друг другу, чем к среднему; это условие действительно позволяет по выделенным типичным представителям судить о картине ДТП в других очагах группы;
- количество групп 23 является вполне обозримым, доступным для исследования.

В дальнейшем планируется детально проанализировать типичных представителей выявленных классов очагов и на практике проверить гипотезу о схожести причин ДТП очагов внутри каждого из выделенных классов.

### Библиографический список

1. **Елисеев, М.Е.** О интерактивной карте аварийности крупного города / М.Е. Елисеев [и др.] // Сборник трудов Sworld по материалам международной научно-практической конференции. – 2011. Т. 3. №4. С. 40–45.
2. **Елисеев, М.Е.** О статистическом анализе очагов аварийности // Автотранспортное предприятие. 2012. №4. С. 37–38
3. **Елисеев, М. Е.** Подсистема анализа очагов интерактивной карты аварийности / М.Е. Елисеев [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2012. №4. С. 358–362.

*Дата поступления  
в редакцию 25.10.201*

**М.Е. Eliseev<sup>1</sup>, М.Е. Sangalova<sup>2</sup>**

### ON CLASSIFICATION OF FOCI OF TRAFFIC ACCIDENTS

Nizhny Novgorod state University Arzamassky (branch)<sup>1</sup>,  
Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev<sup>2</sup>

**Purpose:** In this paper the classification of foci of traffic accidents in order to better analyze and identify the causes of accidents is considered.

**Design/methodology/approach:** Standard approaches to the partition of foci of accidents on classes unsuitable. In the paper for this task used graph theory. Splitting into classes is in accordance with the data on the accident of different categories of drivers.

**Findings:** Technique allows find foci accidents of a similar nature. If there is information about an one traffic accident of a class automatically obtain data on the entire class.

**Research limitations/implications:** This approach can be used in the analyses of traffic accidents of any large city.

**Originality/value:** The research can be used to determine the causes of accidents and, ultimately, for improve road safety. In particular the results of the study will be used in developing the monitoring subsystem interactive map of the traffic accidents.

*Key words:* topographical analysis, traffic collision, TRC, traffic accident, TRA, GIS, Geographic Information System, an interactive map.

УДК 519.65

М.С. Баранова, В.В. Гладков, Е.Ф. Ромашевская

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ  
АЛГОРИТМОВ ПОСТРОЕНИЯ ОРТОНОРМИРОВАННОГО БАЗИСА**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е.Алексеева

В прикладной математике часто встречается необходимость решать задачи, известные под названием задачи сжатия информации. В статье рассматривается следующая задача такого типа из вычислительной алгебры. Для заданного множества  $S$  векторов  $n$ -мерного евклидова пространства  $E^n$  требуется найти подпространство  $E^k \subset E^n$ , линейные комбинации векторов которого аппроксимируют элементы множества  $S$ . Дается новый алгоритм решения этой задачи вместе с алгоритмом нахождения ортонормированного базиса. Произведена проверка этого алгоритма и еще четырех известных алгоритмов на экспериментальном материале. Экспериментальные данные были получены компьютерным моделированием нормально распределенных систем случайных величин.

Результаты проверки показывают, что новый алгоритм позволяет работать с гораздо большей начальной информацией.

*Ключевые слова:* линейное пространство, ортонормированный базис, процесс ортогонализации, аппроксимация.

В данной работе исследуются пять алгоритмов построения ортонормированного базиса:

1. Классический модифицированный алгоритм Грамма-Шмидта (kogh).
2. Модифицированный алгоритм Грамма-Шмидта с выбором ведущего столбца (ortgh).
3. Алгоритм, основанный на вычислении собственных векторов (orth).
4. Модифицированный алгоритм Грамма-Шмидта с формированием ведущего столбца (mort).
5. Классический алгоритм Грамма-Шмидта с повторной ортогонализацией (krogh).

**Постановка задачи**

Пусть задана матрица  $X$   $m \times n$  ( $m \leq n$ ). Пусть  $M(X)$  – подпространство, натянутое на столбцы  $X$ . Необходимо построить ортонормированный базис в  $M(X)$ . Важность разработки экономичных в вычислительном отношении алгоритмов, обладающих приемлемой точностью подчеркивается в работах [1, 2].

Опишем исследуемые алгоритмы, используя символику MATLAB.

1. Классический модифицированный алгоритм Грамма-Шмидта (kogh).

Известно, что этот алгоритм отличается от классической процедуры ортогонализации Грамма-Шмидта значительно большей устойчивостью. Геометрически алгоритм означает, что на каждом шаге очередной базисный вектор выбирается из проекций всех векторов на ортогональное дополнение к уже построенным. Порядок векторов (столбцы матрицы  $X$ ), из которых формируется ортонормированный базис, фиксирован и соответствует их расположению в исходной матрице  $X$ . Одним из основных методов решения задачи наименьших квадратов является метод, основанный на  $QR$  разложении с помощью отражений [1, 2]. Этот метод также может использоваться для построения ортонормированного базиса. Показано, что  $QR$ -разложение эквивалентно ортогонализации Грамма-Шмидта [1]. Кроме того, затраты этих различных алгоритмов мало отличаются друг от друга [1].

**Алгоритм kogh**

```

k1 = 0;
for k = 1 : n
    if norm(X(:, k)) >= tol 1
        k1 = k1 + 1;
        Q(:, k1) = X(:, k) / norm(X(:, k));
        X(:, k + 1 : n) = (eye(m) - Q(:, 1 : k1) * Q(:, 1 : k1)') * X(:, k + 1 : n);
    end
    if k1 >= m
        break
    end
end,

```

где

- $X(:, k)$  –  $k$ -тый столбец исходной матрицы  $X$  размеров  $m \times n$ ;
  - $X(:, k + 1 : n)$  – подматрица матрицы  $X$ , состоящая из столбцов с номерами от  $k + 1$  до  $n$ ;
  - $Q$  – матрица  $m \times k1$ , состоящая из ортонормальных векторов образующих базис в  $M(X)$ .
- Это результат работы алгоритма.

## 2. Модифицированный алгоритм Грамма-Шмидта с выбором ведущего столбца (ortgh).

В этом алгоритме на каждом шаге из проекций исходных векторов на ортогональное дополнение к уже построенным базисным векторам выбирается вектор с наибольшей длиной, и он вводится в базис.

**Алгоритм ortgh**

```

for k = 1 : m;
    [x, k1] = max(sqrt(sum(X(:, k:n).^2)), [ ]2);
    if mx < toll;
        break
    end
    if k1 ~ 1
        r = X(:, k)
        X(:, k) = X(:, k1 + k - 1);
        X(:, k1 + k - 1) = r;
    end
    Q(:, k) = X(:, k) / norm(X(:, k));
    X(:, k + 1 : n) = (eye(m) - Q(:, 1 : k) * Q(:, 1 : k)') * X(:, k + 1 : n);
end.

```

## 3. Алгоритм (orth).

Этот алгоритм основан на вычислении собственных векторов, использует сингулярное разложение матрицы  $X$  и является стандартной программой в MATLAB. Известно, что этот алгоритм, в настоящее время является наиболее устойчивым, однако требует большого объема вычислений для матриц больших размеров.

## 4. Модифицированный алгоритм Грамма-Шмидта с формированием ведущего столбца (mort).

В этом алгоритме на каждом шаге из проекций исходных векторов на ортогональное дополнение к уже построенным базисным векторам находится вектор максимальной длины. Затем все векторы, образующие с ним острый угол, не изменяются, а все векторы, образующие тупой угол, «переворачиваются» (умножаются на  $-1$ ), затем все векторы суммируются. Полученный вектор нормируется и принимается за очередной базисный вектор.



**Алгоритм (mort)**

```

r1 = 0; k2 = 0;
for k = 1 : n
    [mx, k1] = max(sqrt(sum)X(:, k : n).^2), [ ], 2);
    if mx < toll
        break
    end
    if k ~= k1
        r = X(:, k); X(:, k) = X(:, k + k1 - 1) = r;
    end
    for j = k + 1 : n
        r1 = X(:, k) * X(:, j);
        if r1 > 0
            X(:, k) = X(:, k) + X(:, j);
        else
            X(:, k) = X(:, k) - X(:, j);
        end
    end
end
k2 = k2 + 1; Q(:, k2) = X(:, k) / norm(X(:, k));
X(:, k + 1 : n) = (eye(m) - Q(:, 1 : k2) * Q(:, 1 : k2)') * X(:, k + 1 : n);
if k2 >= m
    break
end
end.

```

5. Классический алгоритм Грамма-Шмидта с повторной ортогонализацией (krogh).

Это классическая процедура Грамма-Шмидта – на каждом шаге после нахождения очередного базисного вектора повторно ищется его ортогональная составляющая к уже построенным базисным векторам. Аналитическое исследование устойчивости этого алгоритма приведено в [5].

**Алгоритм (krogh)**

```

k1 = 0
for k = 1 : n
    if norm(X(:, k)) < toll
        continue
    end
    if k ~= 1
        for j = 1 : 2
            X(:, k) = (eye(m) - Q(:, 1 : k1) * Q(:, 1 : k1)') * X(:, k);
        end
    end
    k1 = k1 + 1
    Q(:, k1) = X(:, k) / norm(X(:, k));
    if k1 >= m
        break
    end
end
end.

```

### Оценка качества построенного ортонормированного базиса

Качество построенного ортонормированного базиса оценивается тем, насколько он близок к ортогональному, и тем, насколько точно с его помощью можно восстановить столбцы исходной матрицы  $X$ . За меру ортогональности можно принять величину

$$o = \text{norm}(\text{eye}(k) - Q^*Q),$$

где  $\text{eye}(k)$  – единичная  $k \times k$  – матрица;

$Q - m \times k$  – матрица, столбцы которой образуют ортонормированный базис в  $M(X)$ .

Пусть  $X$  – исходная  $m \times m$  матрица.  $Q - m \times k$  матрица, столбцы которой образуют ортонормированный базис в  $M(X)$ .

Матрица  $Y = X - Q^*Q^*X$  – есть матрица ошибок.  $j$ -тый столбец этой матрицы есть разность  $j$ -го столбца матрицы  $X$  и его проекции на  $M(Q)$ .

$e1 = \max(\text{abc}(Y))$  – это вектор-строка, состоящая из максимальных по модулю элементов в каждом столбце матрицы ошибок.

$e2 = \text{sum}(\text{abc}(Y))$  – это вектор-строка, состоящая из суммы модулей элементов каждого столбца матрицы ошибок.

$e3 = \text{sqrt}(\text{sum}(Y.^2))$  – это вектор-строка, состоящая из эвклидовых норм каждого столбца матрицы ошибок.

Векторы строки  $e1, e2, e3$  характеризуют, насколько точно совпадают  $M(X)$  и  $M(Q)$ . В экспериментах элементы этих векторов упорядочивались по возрастанию и выводились на график.

Во всех исследуемых алгоритмах предусмотрено «игнорирование» векторов, норма которых меньше некоторого задаваемого порога ( $\text{tol1}$ ), при построении базиса. Результатом работы всех алгоритмов является матрица  $Q$ , столбцы которой образуют ортонормированный базис в  $M(X)$ .

### Результаты экспериментов

#### Эксперимент 1

Генерировалась выборка объема  $n = 3000$  из стомерного распределения с нулевым математическим ожиданием и единичной ковариационной матрицей, рассчитывались векторы ошибок  $e_1, e_2, e_3$ . Компоненты этих векторов упорядочивались по возрастанию. Выборка генерировалась десять раз, и полученные данные усреднялись. Для каждого алгоритма рассчитывалась величина, характеризующая качество построенного базиса

$$o = \text{norm}(\text{eye}(k) - Q^*Q).$$

#### Эксперимент 2

То же, что и эксперимент 1, только выборка генерировалась из 100–мерного нормального распределения с нулевым средним вектором и диагональной ковариационной матрицей с элементами (дисперсиями) 1, 2, ..., 100 на диагонали.

#### Эксперимент 3

То же, что и эксперимент 2, только выборка генерировалась один раз.

### Выводы

Анализируя результаты экспериментов, можно сделать следующие выводы.

1. Алгоритм `orth` обладает наилучшими показателями качества ортогональности и точности восстановления, но требует большого объема вычислений для матриц больших размеров.

2. Алгоритм `ortgh`, проигрывая по качеству восстановления и ортогональности построенного базиса алгоритму `orth`, из-за большего быстродействия может быть применим

для матриц значительно больших размеров.

3. Алгоритм *mort* более устойчив, чем *ortgh*, и также применим для матриц значительно больших размеров чем *orth*.

4. Алгоритм *kpogh* применим для матриц с любым количеством столбцов, так как строит базис по мере поступления векторов столбцов исходной матрицы.

#### Библиографический список

1. Уоткинс, Д. Основы матричных вычислений / Д. Уоткинс. – М.: БИНОМ, 2006. – 600 с.
2. Голу, Дж. Матричные вычисления / Дж. Голу, Ч. Ван Лоун. – 2-е изд.–М.: Мир, 1999, 548 с.
3. Хорн, Р. Матричный анализ / Р. Хорн, Ч. Джонсон. – М.: Мир, 1989. – 655 с.
4. Лоусон, Ч. Численное решение задач методом наименьших квадратов / Ч. Лоусон, Р. Хансон. – М.: Наука, 1986. – 232 с.
5. Парлетт, Б. Симметричная проблема собственных значений / Б. Парлетт. – М.: Мир, 1983. – 382 с.
6. Воеводин, В.В. Вычислительные основы линейной алгебры / В.В. Воеводин. – М.: Наука, 1977. – 303 с.
7. Вержбицкий, В.М. Численные методы. Линейная алгебра и нелинейные уравнения / В.М. Вержбицкий. – М.: Оникс XXI век, 2005. – 431 с.
8. Ануфриев, И. MATLAB 7 / И. Ануфриев, А. Смирнов, Е.Смирнова. – СПб.: БХВ–Петербург, 2005. – 1080 с.
9. Гладков, В.В. Методы последовательной ортогонализации и их применение к обработке больших массивов экспериментальных данных // Техника средств связи. Серия РКТ, М., 1983. С. 43–54.

Дата поступления  
в редакцию 25.10.2013

M.S. Baranova, V.V. Gladkov, E.F. Romashevskaja

#### THE EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE ACCURACY OF DIFFERENT ALGORITHMS FOR ORTHONORMAL BASIS CONSTRUCTION

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

**Purpose:** In applied mathematics often they need to decide the problems that are known as problems of data compression. In this paper following problem of such sort from computational algebra is considered.

**Design/methodology/approach:** For given set  $S$  of the vectors from  $n$ -dimensional Euclidian space  $E^n$  it is need to find the subspace  $E^k \subset E^n$  so that the linear combination of vectors from  $E^k$  are approximating the elements of  $S$ . New algorithms for the solution of this problem and for the finding of the orthonormal basis are given.

**Findings:** The testing of these algorithms and four known ones (so called Kogh, *ortgh*, *orth*, *kpogh*) for experimental data is done.

**Research limitation/ implications:** The experimental data were generated by computer modelling of normal distributed random variable systems.

**Originality/value:** The results of the testing are showing that new algorithms are not worse than other ones but are allowing to work with much more volume of the initial information.

*Key words:* linear space, orthonormal basis, orthogonalisation process, approximation.

## НАШИ АВТОРЫ

### НАЗЕМНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

#### *Автомобильный транспорт*

**Грошев Анатолий Михайлович** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, директор Автомобильного института, канд. техн. наук, доц., тел. (831) 436-63-64

**Корчажкин Георгий Михайлович** – Ассоциация автомобильных перевозчиков Нижегород. обл., президент, тел. (831) 436-43-83

**Кустиков Александр Дмитриевич** - ООО «Автомобили Баварии», руководитель отдела, тел. (920) 023-51-27

**Кузьмин Николай Александрович** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, зав. каф. АТ, д-р техн. наук, проф., тел. (831) 236-43-83

**Корчажкин Михаил Георгиевич** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, канд. техн. наук, доц., тел. (831) 236-43-83

**Федосова Марина Евгеньевна** – НГТУ им.Р.Е.Алексеева, ДПИ, м.н.с., тел. (920)018 15 60

**Федосов Алексей Евгеньевич** – НГТУ им. Р. Е. Алексеева, ДПИ, вед. инженер, канд. хим. наук, тел. 8 (313) 344 730

**Прошин Димитрий Николаевич** – ЧУ ДО «Региональный институт экспертизы», директор,тел. (831) 413 87 56

**Бердников Леонид Анатольевич** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, канд. техн. наук, доц., тел. (831) 436-43-83

**Борисов Геннадий Валерьевич** – НГТУ им. Р.Е.Алексеева, ст. препод., тел. (831)436 43 83

**Ерофеева Лариса Николаевна** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, канд. мат. наук, доц., тел. (831) 257 86 91

**Лозовский Никита Трофимович** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, канд. техн. наук, доц., тел.(831) 436 43 83

**Суворов Илья Александрович** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, ассистент, e-mail: iljya37suworov@mail.ru

**Корчажкин Михаил Георгиевич** - НГТУ им. Р.Е. Алексеева, канд. техн. наук, доц., тел. (831) 436-43-83

**Соловьев Сергей Сергеевич** - ООО «Автоматик плюс», доц. каф АТ, тел. (831) 251-54-99

#### *Проектирование наземных транспортных систем*

**Беляков Владимир Викторович** – НГТУ им. Р.Е.Алексеева, начальник УРИи ИР, д-р техн. наук, проф., e-mail: nauka@nntu.nnov.ru

**Зезюлин Денис Владимирович** - НГТУ им. Р.Е. Алексеева, ст. препод., канд. техн. наук, e-mail: balakhnaman@gmail.com

**Колотилин Владимир Евгеньевич** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, канд. техн. наук, доц., e-mail: transfer@nntu.nnov.ru

**Макаров Владимир Сергеевич** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, канд. техн. наук, доц., e-mail:makvl2010@gmail.com

**Кравец Владислав Николаевич** - НГТУ им. Р.Е. Алексеева, д-р техн. наук, проф., e-mail: ksandrnn@mfil.ru

**Орлов Лев Николаевич** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, зав. каф. АиТ, д-р техн. наук, проф., e-mail: boris.reutov@gmail.com

**Герасин А.В.-** НГТУ им. Р.Е. Алексеева, инженер, e-mail: veselo\_85@mail.ru

**Тумасов Антон Владимирович** – ООО НПФ «ДСТ» г. Н. Новгород, исполнит. директор, канд. тех. наук, доц., e-mail:anton.tumasov@gmail.com

**Трусов Ю.П.**– руководитель группы ЦБДДТЭ, e-mail: trusov\_jp@mail.ru.

**Песков Вячеслав Иванович** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, канд. техн. наук, проф., тел. (831) 436 73 63

**Воронков Олег Викторович** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, аспирант, тел. (831) 436 73 63

**Лелиовский Константин Ярославович** - НГТУ им. Р.Е. Алексеева, канд. техн. наук, доц. e-mail:kleliovskiy@mail.ru

**Строительные и дорожные машины**

**Вахидов Умар Шахидович** – НГТУ  
им. Р.Е. Алексеева, зав. каф. СДМ, д-р техн. наук, доц., e-mail - umar-vahidov@mail.ru

**Шапкин Виктор Александрович** – НГТУ  
им. Р.Е. Алексеева, д-р техн. наук, проф.,  
e-mail from\_friends@mail.ru

**Молев Юрий Игоревич** – НГТУ  
им. Р.Е. Алексеева, д-р техн. наук, проф., тел.  
(831)436 01 59

**Согин Александр Васильевич** – НГТУ  
им. Р.Е. Алексеева, д-р техн. наук, проф.,  
тел. (831) 436 01 59

**Левшунов Лев Сергеевич** – НГТУ  
им. Р.Е. Алексеева, канд. техн. наук, доц.,  
тел. (831) 436 01 59

**Худяков Владимир Николаевич** – НГТУ  
им. Р.Е. Алексеева, канд. техн. наук, доц.,  
тел. (831) 436 01 59

**Янкович Александр Викторович** – НГТУ  
им. Р.Е. Алексеева, канд. техн. наук, доц.,  
тел. (831) 436 01 59

**Артюшкин Андрей Владимирович** - НГТУ  
им. Р.Е. Алексеева,  
аспирант, тел. (831) 43601 59

**Шапкина Юлия Викторовна** – НГТУ  
им. Р.Е. Алексеева, аспирант, тел. (831) 436 01 59

**Кошелев Юрий Владимирович** - НГТУ  
им. Р.Е. Алексеева, аспирант, тел. (831) 436 01 59

**РАДИОТЕХНИКА, СИСТЕМЫ  
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ,  
АНТЕННЫ И УСТРОЙСТВА СВЧ**

**Ковалев Федор Николаевич** – НГТУ  
им. Р.Е. Алексеева, канд. техн. наук., доц.,  
e-mail: kovalev@nntu.nnov.ru

**Ковалев Александр Николаевич** – НГТУ  
им. Р.Е. Алексеева, канд. техн. наук., доц.,  
тел. 436 80 13

**Лужавин Юрий Иванович** – ОАО “НПП  
“Полет”, нач. сектора,  
e-mail: luzhavin@rambler.ru

**Хранилов Валерий Павлович** – НГТУ  
им. Р.Е. Алексеева, д-р техн. наук,  
зам. директора ИРИТ, проф.,  
e-mail: hranilov@nntu.nnov.ru

**МЕХАНИКА ЖИДКОСТИ, ГАЗА  
И ПЛАЗМЫ**

**Авербух Елена Леонидовна** – НГТУ  
им. Р.Е. Алексеева, аспирант,  
e-mail: Averbukh.lena@gmail.com

**Тюгин Дмитрий Юрьевич** - НГТУ  
им. Р.Е. Алексеева, м.н.с.,  
e-mail: dtyugin@gmail.com

**Наумов Александр Александрович** - НГТУ  
им. Р.Е. Алексеева, магистрант,  
e-mail: naumov.alexander.08am@gmail.com

**Чураев Егор Николаевич** – НГТУ  
им. Р.Е. Алексеева, студент,  
e-mail: egor.churaev@gmail.com

**Смирнов Денис Юрьевич** - НГТУ  
им. Р.Е. Алексеева, студент,  
e-mail: naaxall@bk.ru

**Николкина Ирина Федоровна** - Институт  
Кибернетики, Таллинский тех. ун-т, канд. физ.-  
мат. наук, e-mail: irinan@cens.ioc.ee

**Диденкулова Ирина Игоревна** - НГТУ  
им. Р.Е. Алексеева, канд. физ.-мат. наук, e-mail:  
dii@hydro.appl.sci-nnov.ru

**Пелиновский Ефим Наумович** – НГТУ  
им. Р.Е. Алексеева, д-р физ.-мат. наук, проф.  
e-mail: pelinovsky@hydro.appl.sci-nnov.ru

**Шургалина Екатерина Геннадьевна** – НГТУ  
им. Р.Е. Алексеева, аспирант, тел. (831)436 56 72

**Панкратов Артем Сергеевич** - НГТУ  
им. Р.Е. Алексеева, магистрант,  
тел. (831)436 56 72

**Рувинская Екатерина Александровна** –  
НГТУ им. Р.Е. Алексеева, м.н.с., канд.  
физ.-мат. наук, тел. (831)436 56 72

**ИНФОРМАТИКА И СИСТЕМЫ  
УПРАВЛЕНИЯ**

**Соколова Элеонора Станиславовна** – НГТУ  
им. Р.Е. Алексеева, зав. каф. ИСУ, д-р техн.  
наук, проф., e-mail: essokolova@mail.ru

**Тимофеева Ольга Павловна** - НГТУ  
им. Р.Е. Алексеева, канд. техн. наук,  
e-mail: optimofeeva@mail.ru

**Милов Кирилл Владиславович** – НГТУ  
им. Р.Е. Алексеева, магистрант, тел. 436 83 44

**Бронфельд Геннадий Борисович** - ООО  
«НИПИ «Сириус-2», e-mail: sirius-2@yandex.ru

**МАШИНОСТРОЕНИЕ  
И АВТОМАТИЗАЦИЯ**

**Жилин Павел Львович** – НГТУ  
им. Р.Е. Алексеева, канд. техн. наук, доц.,  
e-mail: cc.nn@mail.ru

**Конищев Борис Петрович** – НГТУ  
им. Р.Е. Алексеева, канд. техн. наук, доц.,  
e-mail: cc.nn@mail.ru

**Осипов Игорь Васильевич** – ФНПЦ  
им. Ю.Е. Седакова, инженер-технолог,  
e-mail: osipov-diplom@yandex.ru

**Латаев Павел Алексеевич** - ОАО ПКО «Теплообменник», инженер-технолог,  
e-mail: lataev-diplom@yandex.ru

**Кабалдин Юрий Георгиевич** - НГТУ им. Р.Е. Алексеева, д-р техн. наук, проф.,

**Кузьмишина Анастасия Михайловна** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, аспирант,  
тел. (831)436 57 10

**Серый Сергей Владимирович** – КНАГТУИКПИО, доц., e-mail: ktm@knastu.ru

## **ЯДЕРНАЯ ЭНЕРГЕТИКА И ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА**

**Дмитриев Сергей Михайлович** – ректор НГТУ им. Р.Е. Алексеева, д-р техн. наук, проф., e-mail: dmitriev@nntu.nnov.ru

**Легчанов Максим Александрович** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, зам. директора ИЯЭ и ТФ канд. техн. наук, доц., e-mail: legchanov@mail.ru

**Солнцев Дмитрий Николаевич** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, м.н.с.,  
e-mail: dim-solncev@yandex.ru

**Варенцов Андрей Владиславович** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, инженер, e-mail: vav88@mail.ru

**Доронков Денис Владимирович** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, инженер,  
e-mail: nevid000@mail.ru

**Безносков Александр Викторович** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, д-р техн. наук, проф.,  
beznosov@nntu.nnov.ru

**Антоненков Максим Александрович** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, аспирант, e-mail: ats@nntu.nnov.ru

**Бокова Татьяна Александровна** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, канд. техн. наук, доц.,  
e-mail: ats@nntu.nnov.ru

**Львов Александр Вячеславович** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, аспирант,  
e-mail: ats@nntu.nnkv.ru

**Лемехов Вадим Владимирович** – НИИКИЭ, гл. конструктор, e-mail: nikiet@nikiet.ru

## **ПРОБЛЕМЫ КОРАБЛЕСТРОЕНИЯ**

**Шайдуллин Миннахмат Габдульбарович** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, канд., техн. наук, доц., e-mail: ShaNaMix@yandex.ru

**Булаткин Виталий Семенович** – ОАО «ЦКБ Лазурит», инженер-конструктор,  
тел. (831)43-52 30

**Антонов Владимир Сергеевич** – ОАО «Санкт-Петербургское морское бюро машиностроения «Малахит», гл. конструктор,  
e-mail: malahit@list.ru

**Трапезников Юрий Михайлович** – ОАО СпбМБМ «Малахит», зам гл. конструктора,  
e-mail: malahit@list.ru

**Зуев Валерий Андреевич** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, д-р техн. наук, проф.,  
зав. каф. КиАТ, e-mail: ship@nntu.nnov.ru

**Грамузов Евгений Михайлович** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, д-р техн. наук,  
e-mail: ship@nntu.nnov.ru

**Ларин Александр Геннадьевич** - НГТУ им. Р.Е. Алексеева, ст. препод.,  
e-mail: ship@nntu.nnov.ru

## **ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА**

**Смирнов Александр Юрьевич** – ОАО ОКБМ “Африкантов”, вед. инженер, проф. НГТУ им. Р.Е. Алексеева,  
e-mail: a\_yu\_smirnov@mail.ru

**Лоскутов Алексей Борисович** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, д-р техн. наук, проф.,  
тел. (831) 436

**Чивенков Александр Иванович** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, канд. техн. наук, доц.,  
тел. (831)436

**Соснина Елена Николаевна** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, канд. техн. наук, доц.,  
тел. (831) 436

**Лоскутов Антон Алексеевич** - НГТУ им. Р.Е. Алексеева, аспирант, тел. (831)436

**Зырин Д. В.** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева,  
e-mail: epa131@nntu.nnov.ru

## **МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ**

**Курашкин Константин Владимирович** - ИПМ РАН, науч. сотрудник,  
e-mail: imndt31@mts-nn.ru

**Мишакин Василий Васильевич** – ИПМ РАН, зав. лабораторией, д-р техн. наук, проф.,  
e-mail: imndt31@mts-nn.ru

**Магин Дмитрий Юрьевич** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, магистрант,  
e-mail: mtm@nntu.nnov.ru

**Костромин Сергей Викторович** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, зав. каф. МТНМ, канд. техн. наук, доц., e-mail: mtm@nntu.nnov.ru

## **ЭКОНОМИКА, ИННОВАЦИИ И МЕНЕДЖМЕНТ**

**Мкртычян Герасим Амирович** – НИУ ВШЭ, зав. каф. ОПП, д-р психолог наук, проф.,  
тел. (831) 436 73 74

**Войлокова Елена Евгеньевна** – НИУ ВШЭ,  
канд. психолог. наук, доц., тел. (831) 436 73 74

**Яшин Сергей Николаевич** – НГТУ  
им. Р.Е. Алексеева, д-р эконом. наук, проф.,  
e-mail: jashin@52/ru

**Охезина Галина Михайловна** – НГТУ  
им. Р.Е. Алексеева, ст. препод.,  
e-mail: gohezina@mail.ru

## **СОЦИАЛЬНЫЕ НАУКИ, ИННОВАЦИИ В ОБРАЗОВАНИИ, PR-ТЕХНОЛОГИИ**

**Маркова Татьяна Владиславовна** – НГТУ  
им. Р.Е. Алексеева, канд. философ. наук, доц.,  
e-mail: mrkttv@mail.ru

**Савенкова Елена Сергеевна** – НГТУ  
им. Р.Е. Алексеева, канд. филолог. наук, доц.,  
e-mail: savenkova\_e\_s@mail.ru

## **МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ЕСТЕСТВЕННЫХ, ТЕХНИЧЕСКИХ И СОЦИАЛЬНЫХ НАУКАХ**

**Елисеев Михаил Евгеньевич** – НГТУ  
им. Р.Е. Алексеева, канд. физ.-мат. наук, доц.,  
e-mail: eliseevmic@mail.ru

**Сангалова Марина Евгеньевна** – ННГУ  
им. Н.И. Лобачевского (Арзамас. филиал),  
канд. пед. наук, доц., тел. (831) 257 86 91

**Баранова Мария Сергеевна.** – НГТУ  
им. Р.Е. Алексеева, ст. препод.,  
e-mail: vm@nntu.nnov.ru

**Гладков Владимир Владимирович.** – НГТУ  
им. Р.Е. Алексеева, канд. физ.-мат. наук, доц.,  
e-mail: vm@nntu.nnov.ru

**Ромашевская Енеса Федоровна** – НГТУ  
им. Р.Е. Алексеева, канд. физ.-мат. наук, доц.,  
e-mail: vm@nntu.nnov.ru

**ПРИНИМАЕМ В ПЕЧАТЬ НАУЧНЫЕ СТАТЬИ В ЖУРНАЛ  
«ТРУДЫ НИЖЕГОРОДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА им. Р.Е. АЛЕКСЕЕВА»**

*Адрес редакции: 603950, Нижний Новгород, ул. Минина, 24*  
*Тел. 8 312 4367372*  
*E-mail: [rio@nntu.nnov.ru](mailto:rio@nntu.nnov.ru)*

***ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ, НАПРАВЛЯЕМЫХ В РЕДАКЦИЮ***

- В редакцию направляют **два экземпляра** статьи, отпечатанных на лазерном принтере на белой бумаге формата А4, с одной стороны листа, через один интервал 12 кеглем. Сноски и примечания 10 кеглем. Поля: левое, правое и нижнее – 20 мм, верхнее – 25 мм.
- Желательно, чтобы объем статьи не превышал 10 страниц текста и 4–6 рисунков. Все страницы должны быть пронумерованы. Минимальное количество страниц – 6.
- Статью необходимо сопроводить актом экспертизы, выпиской из заседания кафедры, рекомендующей статью к опубликованию, сведениями об авторах и рецензией.
- Статья должна быть подписана **всеми авторами**.
- Текст набирают без переносов, используя формат *Word for Windows* и стандартные шрифты *Times New Roman* и *Symbol*.
- Формульные выражения выполняют строго в редакторе MS Equation 3 – 12 кегль. Размерность физических величин должна соответствовать системе СИ.
- Первая страница статьи должна содержать следующую информацию: УДК (код по универсальному десятичному классификатору); инициалы и фамилии авторов (в таком порядке); название статьи; место работы всех авторов (полное название организации, город); аннотацию; ключевые слова (не более 10).
- Изложение материала должно быть ясным, логически выстроенным. Рекомендуется следующая структура статьи: вводная часть с обоснованием необходимости и изложением цели работы, теоретический анализ, методика, экспериментальная часть, результаты и выводы (не более 0,5 страницы), библиографический список.
- Сокращение слов, кроме общепринятых, не допускается.
- Таблицы (11 кегль жирный) должны иметь названия, их следует располагать по тексту статьи, ссылки на таблицы (табл. 1).
- Диаграммы выполняются в формате Excel.
- Графический материал (только в черно-белом изображении) должен быть четким и не требовать перерисовки. Изображение выполняется в формате **jpf** или **tif** с разрешением 300 **dpi**. Рисунки выполняются по ГОСТ, подрисуночная подпись 11 жирный кегль.
- К статье следует приложить CD с файлами: текста статьи с библиографией на русском языке; **фамилиями авторов, названием статьи, информацией о месте работы всех авторов, аннотацией и ключевыми словами на английском языке**.
- В сведениях об авторах следует сообщить: ФИО (полностью), место работы, должность, ученую степень и звание, телефон и адрес электронной почты.



## РЕКОМЕНДАЦИИ ПО НАПИСАНИЮ АВТОРСКИХ РЕЗЮМЕ

(АННОТАЦИЙ, РЕФЕРАТОВ К СТАТЬЯМ)

Авторский реферат на английском языке должен быть понятен без ссылки на саму статью. Это краткое точное изложение содержания документа, включающее основные фактические сведения и выводы описываемой работы. Объем не менее 10 строк (100–250 слов – 850 знаков). Реферат включает: 1) предмет, тему, цель работы; 2) метод или методологию проведения работы; 3) результаты и область их применения; 4) выводы. Таблицы, формулы, рисунки (нумерация в реферате может не совпадать с текстом статьи) включаются, если раскрывают основное содержание документа и позволяют сократить объем реферата.

Реферат можно начать с изложения результатов работы и выводов. Сведения, содержащиеся в заглавии статьи, не должны повторяться в тексте реферата. Следует применять терминологию, характерную для иностранных специальных текстов, избегать терминов, являющихся прямой калькой русскоязычных слов. Текст должен быть связным с использованием слов «следовательно», «более того», «например», «в результате» (consequently, moreover, for example, the benefits of this study, as a result). Необходимо использовать активный, а не пассивный залог, т.е. «The study tested», но не «It was tested in the study».

Авторское резюме из International Journal of Operations & Production Management. V.22.N 8

**B. Meijboom, M. Houtepens**

### STRUCTURING INTERNATIONAL SERVICE OPERATIONS: A THEORETICAL FRAMEWORK AND A CASE STUDY IN THE IT-SECTOR

#### The name of organization

**Purpose:** The specific challenges with which companies pursuing international manufacturing strategies are faced, if their output also contains a service dimension, are addressed.

**Design/methodology/approach:** A theoretical framework is proposed based on three virtually complementary perspectives by integrating international production, demand, and contemporary ICT-based theory. Subsequently, an exploratory case study in a pure service environment is described that illustrates the value of the framework.

**Findings:** It is possible, for example, to apply the theoretical framework to case studies in internationally-operating companies delivering a mix of goods and services.

**Research limitations/implications:** The present study provides a starting-point for further research in the international manufacturing sector.

**Originality/value:** Moreover, the framework has proven to be useful in improving the European structure of the case company. This is a notable and promising side-effect of the exploratory study, at least from a managerial point of view.

*Key words:* multinationals, service operations, location, decision making, case studies.

ТРУДЫ  
НИЖЕГОРОДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА  
им. Р.Е. АЛЕКСЕЕВА

**№ 4 (101)**

Редакторы: **О.В. Пугина, Н.Н. Максимова**  
Технический редактор **Т.П. Новикова**

*Редакция:*

603950, Нижний Новгород, ул. Минина, д. 24.  
тел.: 8-312-436-73-72, tretjakova@nntu.nnov.ru

Подписано в печать 28.11.2013. Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>8</sub>. Бумага офсетная.  
Печать офсетная. Усл. печ. л. 42. Уч.-изд. л. 38,0. Тираж 300 экз. Заказ

---

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексева.  
Типография НГТУ.

Адрес университета и полиграфического предприятия:  
603950, Нижний Новгород, ул. Минина, 24.

**Индекс 44757**  
**«Объединенный каталог Пресса России. Газеты и журналы»**