

УДК 629.12

А.А. Куркин, С.А. Васильев, М.Н. Ребрушкин

**СУДОВОЙ ЭЛЕКТРОННЫЙ УПРАВЛЯЮЩИЙ КОМПЛЕКС ГРУЗОВЫХ СУДОВ
ВНУТРЕННЕГО ПЛАВАНИЯ**

Нижегородский государственный технический университет им. П.Е. Алексеева

Настоящая статья посвящена вопросу выбора оптимальных, экономически и технически выгодных режимов работы главных двигателей судов внутреннего плавания в зависимости от постоянно изменяющихся сложных путевых, гидрометеорологических и экономических условий эксплуатации. Данная практическая задача решается с использованием теории работы судового пропульсивного комплекса «корпус – движитель – двигатель – средства управления». Комплексная теория позволяет достоверно оценить работу всех перечисленных элементов в их взаимосвязях, учитывать внешние путевые и гидрометеорологические условия, в нее легко могут быть введены планируемые и фактические технико-экономические показатели и условия конкретного рейса. Данная теоретическая модель эксплуатации судна позволяет в любой момент времени поменять исходные и назначить наиболее целесообразные режимы работы судового движительно-рулевого комплекса. Рассматривается метод повышения эффективности работы судовых энергетических установок судов внутреннего плавания за счет использования модернизированного судового электронного управляющего комплекса.

Ключевые слова: режимы работы главных двигателей, суда внутреннего плавания, движение судна, экономичность работы судна, экономия топлива.

Суда внутреннего плавания движутся в постоянно меняющихся путевых и гидрометеорологических условиях. К данным условиям относят различные характеристики фарватера, его ширину и извилистость, течения разных направлений и интенсивности, путевые ограничения, разнообразный по силе и направлению ветер, а также различную загрузку самого судна. Как показывают источники [3, с. 25-28; 5, с. 95] для множества сочетаний этих условий характерны свои целесообразные режимы движения судна, и, следовательно, параметры работы его энергетической установки. При этом целесообразные режимы работы судового комплекса могут значительно отличаться от номинальных. Одновременно наблюдается значительное снижение нагрузки на судовые двигатели, что приводит к существенной экономии топлива [4, с. 57-60].

Изменение условий движения судна происходит постоянно и его очень трудно спрогнозировать, это сильно затрудняет предварительное назначение оптимальных режимов работы судовых комплексов. Естественно, что судоводитель не в состоянии оперативно реагировать на изменение условий движения, так как количество параметров, подлежащих одновременному учёту, достаточно велико. Поэтому реальные режимы движения транспортных судов в настоящее время далеки от оптимальных.

Проблема оптимальных параметров работы главных двигателей транспортных судов внутреннего и смешанного плавания в зависимости от постоянно изменяющихся и трудно прогнозируемых условий является весьма актуальной и серьёзной. Примечательно, что оптимизация режимов работы судового комплекса связана со снижением нагрузок на судовые двигатели, экономией их моторесурса и расхода топлива.

Движение судна по речному фарватеру с номинальными скоростями вращения главных двигателей (движителей) или на полную мощность вовсе не является экономически наиболее выгодным [2, с. 48-50; 5, с. 95-96, 6 с.73-74].

Следует отметить, что вместе с сокращением общего ходового времени в рейсе, повышении производительности работы судна, улучшении использования фонда заработной платы заметно ухудшаются другие эксплуатационные составляющие, такие как расход топ-

лива главным двигателем за рейс, появляется повышенный износ механизмов и, в первую очередь, элементов судовой энергетической установки, снижается безопасность плавания. Наоборот, если судно движется со слишком малыми скоростями, то ухудшение экономических и эксплуатационных показателей будет наблюдаться за счет увеличения доли заработной платы, ходового времени, снижения объема перевозок. Картина еще более ухудшается, если при работе судна появляются незапланированные простои при ожидании разгрузки, шлюзования и т.п.

Определение такой оптимальной скорости движения судна в рейсе, при которой эксплуатационные характеристики работы главных двигателей оказались бы экономически наиболее выгодными, ведется на протяжении многих лет. При этом к понятию «оптимальная скорость» добавилось ограничение в виде некоторой «безопасной» скорости, при которой прохождение мелководных участков происходило бы без сильного увеличения волнообразования, заметной просадки кормовой оконечности судна, недопустимой перегрузки главных двигателей, без опасного увеличения вибрации. Над решением этой задачи работало множество специалистов, однако такие решения оказались лишь приблизительными, не учитывающими полную картину эксплуатации судна.

Необходимо отметить, что в каждый момент рейса судно внутреннего плавания движется в постоянно изменяющихся путевых и гидрометеорологических условиях. К ним, в первую очередь, можно отнести ветроволновые условия, извилистость судового хода, переменную глубину фарватера, ожидание шлюзования и т.д. Эти величины не поддаются точному прогнозированию, могут приниматься лишь как средние за рейс, однако очень сильно влияют на режимы работы главных двигателей, рулевого комплекса судна, на технико-экономические показатели его работы.

Одним из способов решения данной задачи является разделение вероятных основных рейсов судов на отдельные участки, для которых определяют оптимальные скорости и режимы работы силовой установки. Но и в этом способе есть свои недостатки, особенно если принимать во внимание изменение уровня воды в реке на протяжении навигации. Кроме того, такой подход возлагает дополнительную нагрузку на судоводителей, и они, естественно, не принимают его в практику судовождения. Поэтому оптимистические результаты испытаний судов при таком подходе искусственны, наблюдаются только при проведении самих испытаний. Кроме того, оптимальные скорости зависят и от технического состояния судна, количества перевозимого груза (посадки судна), характера груза (провозной платы), других условий рейса, например, возможных премий за срочную доставку или, наоборот, штрафов за опоздание и др. Поэтому потребовалась бы огромная работа по составлению справочников величин оптимальных скоростей для разнообразных условий, пользоваться которыми было бы крайне затруднительно. А если принять во внимание и разное техническое состояние силовых установок конкретных теплоходов, то такой подход к решению задачи оказывается просто неосуществимым.

Напрашивается вывод, что управление режимами главных двигателей в целях наиболее выгоднейшей работы судна, экономии топлива целесообразно поручить автоматизированному комплексу, который в любой момент времени мог бы достоверно обеспечивать наиболее рациональные режимы движения судна с учетом не только внешних условий движения, экономических показателей, но и его конкретных технических параметров. Таким образом, одной из узловых задач автоматизации и компьютеризации судоходства является задача обеспечения оптимальных, экономически и технически выгодных режимов работы движительно-рулевых комплексов судов, особенно главных двигателей в постоянно меняющихся сложных путевых, гидрометеорологических и экономических условиях их эксплуатации.

Данная задача поддержания единственно правильного рационального режима работы судового комплекса в зависимости от многочисленных, постоянно меняющихся факторов не может быть возложена на судоводителей, так как решение данной задачи находится за пределами человеческих возможностей. Если обязать судоводителей поддерживать оптимальные режимы

хотя бы в зависимости от небольшого числа параметров, это приведет к усложнению и без того напряженной их работы, увеличит число ошибок, снизят показатели безопасности плавания.

Вместе с тем, эта задача вполне разрешима на основе современных методов судовождения, базирующихся на достоверной теории работы судового комплекса «корпус судна - средства управления - судовые главные двигатели» [1, с. 42-44].

Такой комплекс должен полностью учитывать, как постоянные (вид груза, загрузку и посадку судна, экономические показатели и т.п.), так и переменные (глубина и извилистость фарватера, течение, скорость и направление ветра и т.д.) в течение рейса параметры работы судна и поддерживать их при условии достижения наибольшей экономической эффективности и безопасности эксплуатации судна.

Таким требованиям отвечают существующий судовой электронный управляющий комплекс (СЭУК) и, в особенности, модернизированный судовой электронный управляющий комплекс (СЭУК-М) [5, с. 97-98]. Они разработаны для определения таких режимов работы главных двигателей реального судна, при которых прибыль за рейс является максимальной при минимизации эксплуатационных затрат, особенно в отношении расхода топлива главными двигателями при постоянно изменяющихся условиях реального рейса. Основной особенностью этих комплексов является то, что их работа не ограничивается только определением подобных режимов, но также одновременно происходит текущее автоматическое управление главными двигателями судна с целью постоянного поддержания расчетных рациональных режимов.

Первоначально разработанный СЭУК состоит из двух основных блоков: вычислительного комплекса (ВК) и электронного регулятора оптимальных режимов работы главных двигателей (ЭРД) (рис. 1).

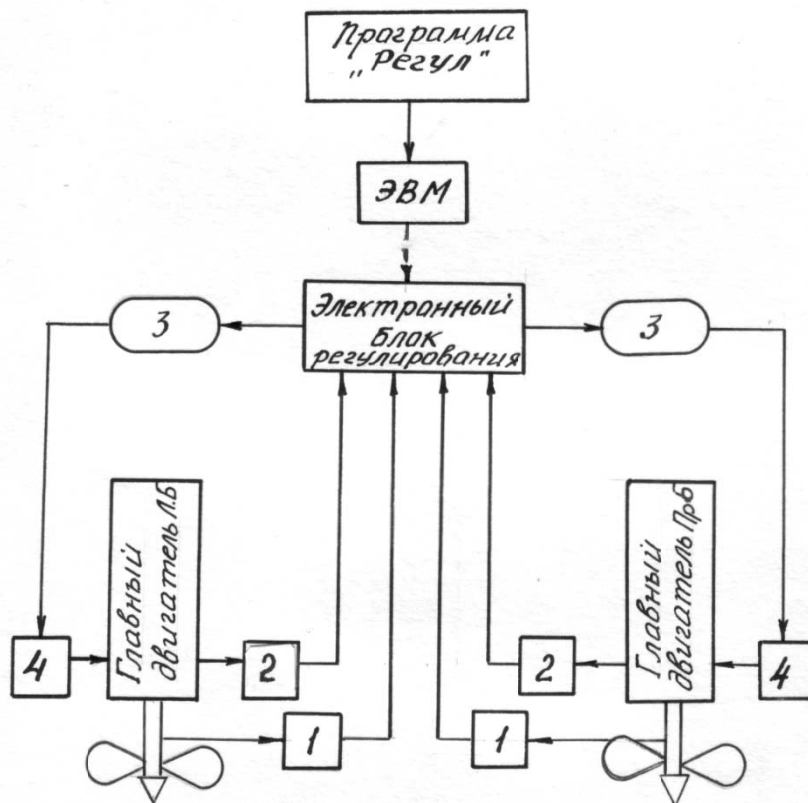


Рис. 1. Структурная схема СЭУК:

1 – тахогенератор; 2 – датчик обратной связи по подаче топлива в ГД;
3 – исполнительный механизм; 4 – штатный регулятор

Ядром ВК является установленный на судне персональный компьютер, для которого на основе комплексной теории переходных процессов судового комплекса специально разработано оригинальное программное обеспечение. ЭРД создан на электронно-механическом принципе [3, 5]. В него включены электронный блок регулирования, датчики положения элементов управления главными двигателями, а также исполнительные механизмы, подключенные к штатной судовой системе дистанционного управления главными двигателями.

ЭРД перед рейсом настраивается по параметрам, рассчитанным вычислительным комплексом, и далее работает автономно, постоянно и автоматически учитывая изменения условий движения судна в реальном рейсе [3, с. 68-70]. Вместе с тем, при необходимости, например, возникновении резерва времени в ожидании шлюзования или подхода к причалам, возможна простая корректировка режимов работы по поправкам, рассчитанным ВК.

Принципиальные решения, положенные в основу работы СЭУК, а также элементы его конструкции прошли проверку и надлежащую доработку на опытном образце в процессе проведения его натурных испытаний, проведенных на грузовых судах в условиях реальных рейсов в течение нескольких навигаций [3, с. 72-73]. Доработанный вариант СЭУК был внедрен на малой серии грузовых судов типа "Волго-Дон" (5 единиц) с целью проведения пробной эксплуатации в течение реальных навигаций [4, с. 88-90]. Пробная эксплуатация и проведенные сравнительные натурные испытания показали достаточную простоту использования и надежность работы СЭУК, а также весьма высокую экономическую эффективность их применения. Показательно, что на сложных участках пути экономия топлива превышала 23%, а средние ориентировочные показатели экономии ГСМ за навигацию оказались не менее 8% [4, с. 74-75].

Был отмечен большой интерес судоводителей-практиков к устройству и применению СЭУК, получены хорошие отзывы о их работе. Однако они еще не в полной мере освоились с проведением вычислений на ЭВМ. Однако при эксплуатации малой серии не был налажен постоянный контроль правильности использования СЭУК. Поэтому хотя и имеются положительные результаты по итогам навигации, но они несколько меньше ожидаемых расчетных величин.

Анализ опыта, полученного при пробной эксплуатации СЭУК на теплоходах типа "Волго-Дон" [4 с., 75-78], показал, что заниженные показатели эффективности применения СЭУК в основном объясняются тем, что его работа оказалась почти незащищенной от влияния человеческого фактора.

Во-первых, конструктивной особенностью СЭУК является разделение работы вычислительного комплекса (ВК) и электронного регулятора движения (ЭРД). При этом настройка электронного регулятора осуществляется непосредственно судоводителем вручную. Естественно, качество настройки зависит непосредственно от квалификации и личной ответственности настраивающего. Выявлены случаи настройки ЭРД не по параметрам, рассчитанным ВК, а по собственным соображениям капитана, что приводило к работе СЭУК на режимах, далеких от оптимальных.

Во-вторых, в конструкции СЭУК не заложен постоянный контроль правильности его применения. Поэтому те судоводители, которые не осознают заинтересованности в экономии эксплуатационных расходов, в частности, экономии топлива, зачастую работают на нерациональных режимах или же вообще отключают СЭУК по субъективным соображениям.

В-третьих, работа ЭРД связана с постоянной оценкой расхода топлива каждым из главных двигателей. Вместе с тем, эта информация содержится в структурной схеме в неявном виде, хотя сведения о мгновенном и суммарном расходе топлива в доступном виде весьма полезны для качественной работы судоводителя и, естественно, для судовладельца.

Дополнительно существенным недостатком СЭУК явилось то, что программа, заложенная в него, предназначена только для грузовых теплоходов типа «Волго-Дон». Она построена по «жесткому» принципу и не может быть без существенных переделок использована на теплоходах с иными пропульсивными комплексами.

Таким образом, пробная эксплуатация СЭУК в реальных навигационных условиях показала необходимость развития его принципиальной структуры и конструктивных решений в направлении:

- осуществления настройки СЭУК на расчетные параметры непосредственно при автоматизированном использовании возможностей вычислительного комплекса;
- реализации постоянной фиксации времени и режимов работы СЭУК с автоматической записью в запоминающем устройстве (ведение электронного журнала работы СЭУК);
- представления информации о мгновенном и суммарном расходе топлива главными двигателями в явном виде на экране персонального компьютера с автоматической регистрацией в электронном журнале;

Внедрение обновленных принципов построения программного обеспечения ВК, позволяющих использовать его для разных судов с различными пропульсивными комплексами.

Эти обстоятельства были учтены в последующей работе, в результате которой был создан новый, более совершенный вариант судового электронного управляющего комплекса – СЭУК-М (СЭУК модернизированный) [5, с. 97] (рис. 2).

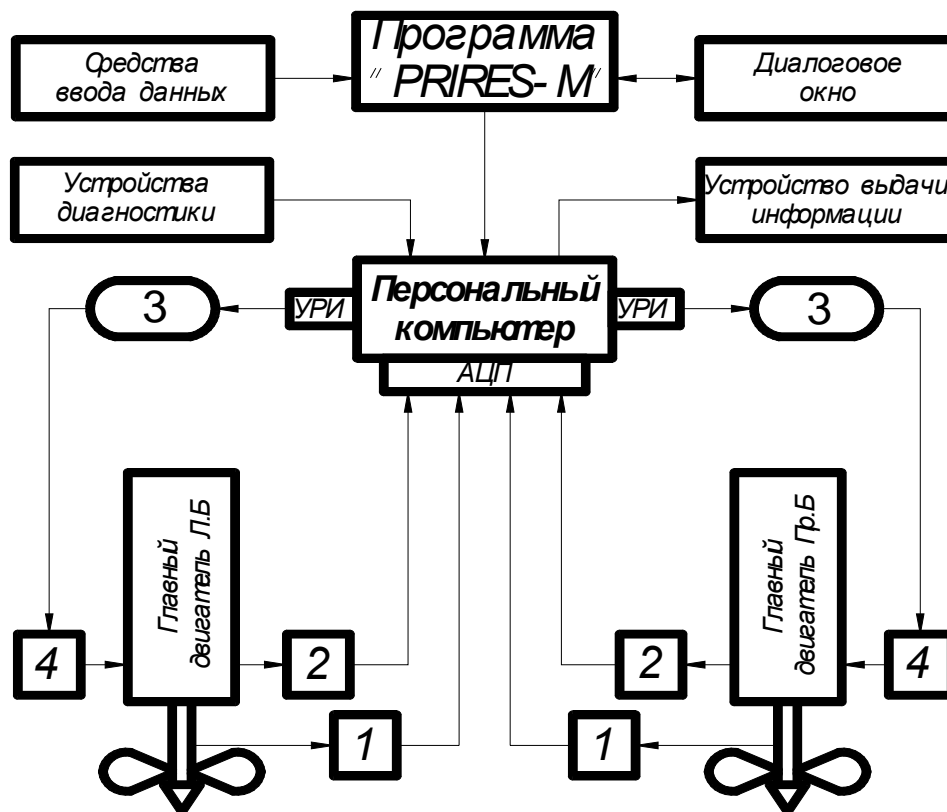


Рис. 2. Структурная схема СЭУК-М

1 – тахогенератор; 2 – датчик обратной связи;
3 – исполнительный механизм; 4 – штатный регулятор

Основной его особенностью явилось объединение в единое взаимосвязанное целое ВК и ЭРД. Вторая существенная особенность – разработка обновленного программного обеспечения, более полно использующего возможности теории переходных процессов судового пропульсивного комплекса. В СЭУК-М в его память перед рейсом вводятся только постоянные данные будущего рейса (рис. 3), а изменяющиеся условия учитываются постоянно работающим в течение движения судна в рейсе вычислительным комплексом.

Изменение режимов работы системы «двигатель – движитель», а также сопровож-

дающие параметры постоянно отражаются на экране дисплея (рис. 4). Вместе с тем реализован диалоговый режим взаимодействия судоводителя с программным обеспечением СЭУК-М, позволяющий в любой момент времени получить информацию о работе комплекса и вводить необходимые корректировки. Данные с датчиков обратной связи и тахогенераторов о работе главных двигателей поступают в вычислительный блок с программным обеспечением PRIRES-M при помощи узла сбора данных (рис. 5).

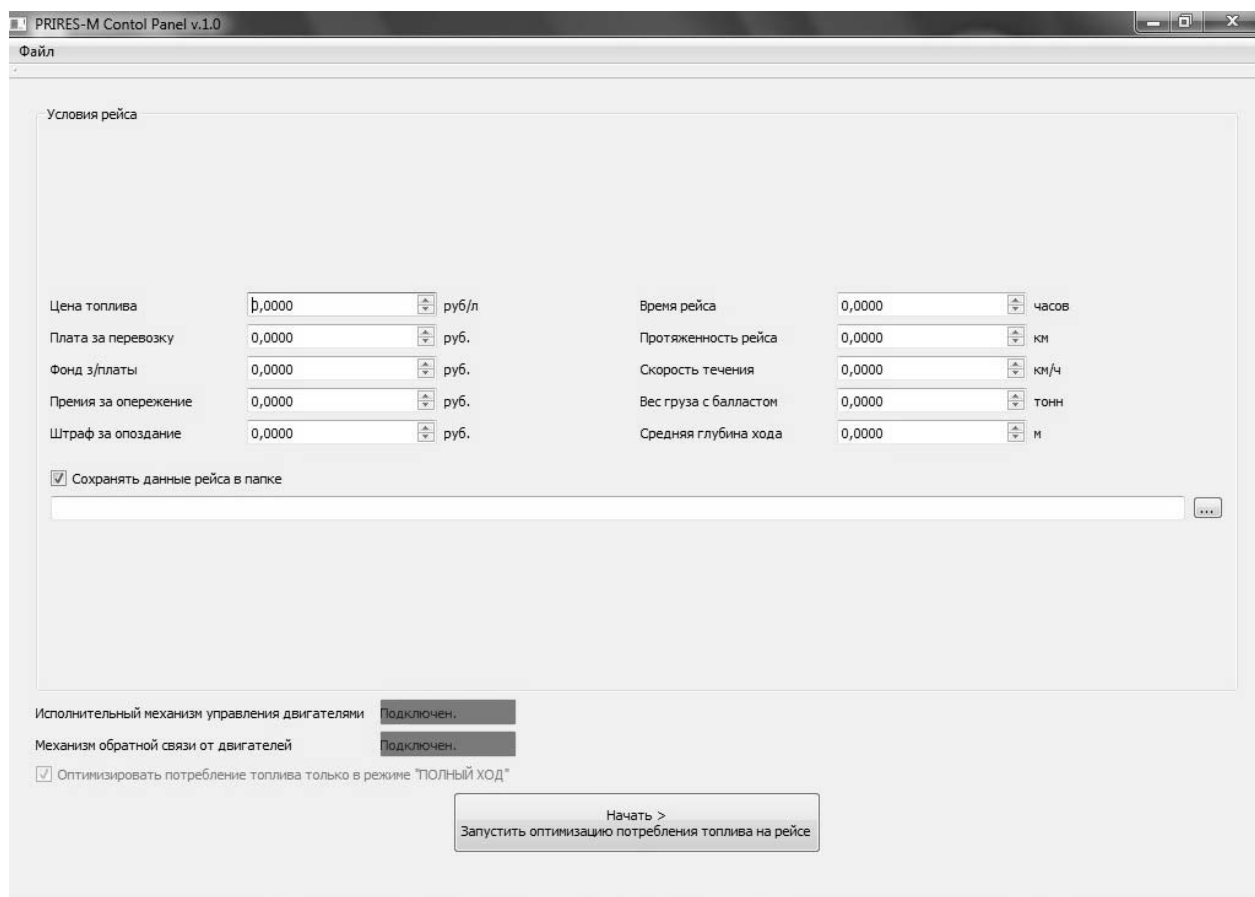


Рис. 3. Окно ввода постоянных условий рейса PRIRES-M

После расчёта рационального режима работы управляющий сигнал от программы PRIRES-M поступает на исполнительные механизмы с помощью узла подготовки и выдачи управляющих сигналов на исполнительные устройства (рис. 6).

Вместе с тем, важная функция учета расходования топлива также поручена ПК и без установки расходомеров, причём этот учёт может проводиться автоматически с постоянным фиксированием фактического расхода топлива главными двигателями непосредственно в памяти ПК. Помимо того может быть осуществлён точный и постоянный учёт и контроль расходования топлива иными механизмами (дизель – генераторами, вспомогательными котлами и т.п.).

Кроме того, серийный СЭУК-М может быть выполнен вполне универсальным, допускающим его применение на грузовых судах различных проектов, т.к. это, в основном, связано с настройкой программного обеспечения комплекса. Одновременно становится возможным постоянный независимый контроль использования СЭУК-М.

В настоящее время работы по созданию СЭУК-М находятся на стадии подготовки натурных испытаний опытного образца. Получено Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015663633 от 25 декабря 2015 г. «Программное обеспечение судового электронного управляющего комплекса PRIRES-M для грузовых судов внутреннего

плавания». Проходит согласование технических условий модернизированных судовых электронных управляющих комплексов на соответствие требованиям Правил РРР и Технического регламента о безопасности объектов внутреннего водного транспорта.



Рис. 4. Программное обеспечение СЭУК-М



Рис. 5. Узел сбора данных от датчиков обратной связи СЭУК-М

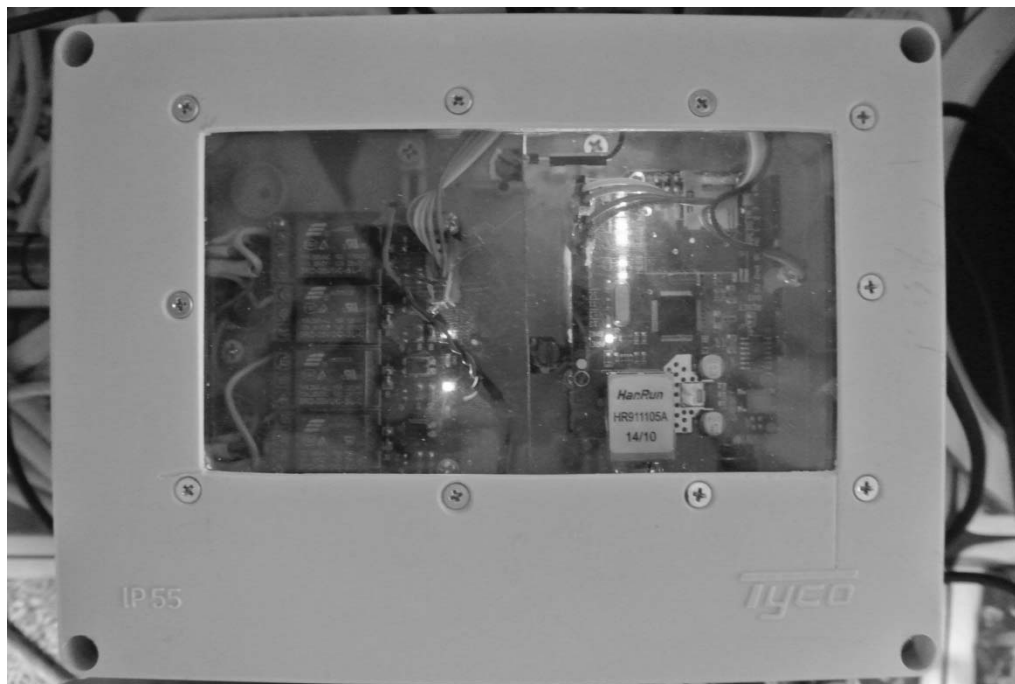


Рис. 6. Узел подготовки и выдачи управляющих сигналов на исполнительные устройства СЭУК-М

Создание судовых управляющих комплексов было направлено, прежде всего, на снижение эксплуатационных затрат на перевозку грузов. Как сказано выше, при определении принципов работы СЭУКов основным являлось достижение максимальной прибыли за рейс и навигацию в целом, за счёт оптимального сочетания производительности судна, платы за перевозку и эксплуатационных затрат. Среди них наиболее важную роль играет сокращение расхода топлива при назначении целесообразных режимов работы ДРК реальных речных грузовых судов, соответственно обеспечивающих такое сочетание.

Вместе с тем, введенные в СЭУК-М принципиальные и конструктивные разработки и предварительные расчеты позволяют надеяться на существенное повышение эффективности работы флота от их внедрения в практику грузовых перевозок.

Представленные результаты получены в рамках выполнения гос. задания в сфере научной деятельности (Задание № 5.4568.2017/6.7) и при финансовой поддержке гранта Президента РФ для государственной поддержки ведущих научных школ РФ НШ-6637.2016.5.

Библиографический список

1. **Васильев, А.В.** Управляемость судов / А.В. Васильев. – Л.: Судостроение, 1989. – 328 с.
2. **Брук, М.А.** Режимы работы судовых дизелей / М.А. Брук, А.А. Рихтер. – Л.: Судпромгиз, 1963. – 484 с.
3. **Васильев, А.В.** Фундаментальные исследования эффективности судового электронного управляющего комплекса. В 3 т. Т.1 / А.В. Васильев, Г.И. Беззубов, А.Б. Ваганов [и др.]. – Н. Новгород: НГТУ, 1994. – 94 с.
4. **Васильев, А.В.** Фундаментальные исследования эффективности судового электронного управляющего комплекса. В 3 т. Т.3 / А.В. Васильев, Г.И. Беззубов, А.Б. Ваганов [и др.]. – Н. Новгород.: Тр. НГТУ, 1995. – 107 с.
5. **Васильев, С.А.** Автоматизированный комплекс оптимизации работы судовых дизелей /
6. С.А. Васильев, С.Н. Зеленов, М.Н. Ребрушкин // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Морская техника и технология. – 2013. – №1. – С. 95-102.

7. Дрожжев, В.Д. Методы определения оптимального уровня основных параметров эксплуатационной работы местного флота / В.Д. Дрожжев, И.А. Горохова // Речной транспорт (XXI век). – 2013. – № 2 (61). – С. 73.

*Дата поступления
в редакцию 26.11.2017*

A.A. Kurkin, S.A.Vasiliev, M.N. Rebrushkin

SHIPBOARD ELECTRONIC CONTROL SYSTEM OF FREIGHT VESSELS OF INLAND NAVIGATION

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

Purpose: The method of increasing the efficiency of ship power plants of inland navigation vessels is considered.

Design/methodology/approach: In this paper, this problem is solved on the basis of modern methods of navigation, based on sound theory of the ship's complex "hull - management - marine main engines."

Findings: The proposed concept and design of marine electronic control of the complex.

Research limitations/implications: Preliminary calculations of the effectiveness of the ship's electronic control complex show that very high fuel economy can be achieved, as well as a significant increase in profit.

Originality/value: The method of providing optimal, economically and technically advantageous modes of operation of the propulsion and steering systems of ships, especially the main engines in the constantly changing complex track, meteorological and economic conditions of their operation.

Key words: Court of internal and external navigation of cargo ships engines, navigation, cargo ships, the environmental load, fuel economy, main engines.