

УДК 629.123

М.П. Петров, В.Н. Лубенко, Д.А. Пичугин

**ЗАДАЧА ВНЕШНЕГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ФЛОТА,
ОБСЛУЖИВАЮЩЕГО УГЛЕВОДОРОДНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ
СЕВЕРНОГО КАСПИЯ**

Астраханский государственный технический университет

Для решения задачи выбора оптимального транспортировочного состава морской техники для обслуживания углеводородных месторождений российского шельфа северного Каспия производится построение расчётной математической модели, представляющей собой программу численного эксперимента, производящую расчёт по трём направлениям: танкерному, баржевому и трубопроводному. Выбор оптимального варианта транспортных средств производится по экономическому критерию приведённых затрат.

Ключевые слова: оптимальный транспорт, морская техника, углеводородные месторождения, шельф Каспия, танкеры, баржи, трубопроводы.

Исходными данными для выбора оптимального варианта транспортных средств при обслуживании углеводородных месторождений российского шельфа северного Каспия являются средняя удалённость месторождений от портов приёма нефти, длительность навигационного периода - 260 дней для Северного Каспия, интенсивность нефтедобычи - 2,3 млн т нефти в год [1].

Российские месторождения Каспийского моря расположены в пределах двух блоков: северного с центром в точке 44°30' с.ш., 48° в.д. и центрального в районе 43° с.ш., 49° в.д. Соответствующей морской транспортно-добывающей инфраструктурой необходимо обеспечить каждый из этих блоков. Специфика месторождений северного блока заключается в расположении в зоне зимнего ледообразования и в зоне северной мелководной части шельфа [2].

Для каждого из месторождений северного блока возможно применение одного из пяти вариантов транспортировки добываемых углеводородов (рис. 1), а именно транспортировка в Астрахань или Махачкалу танкерами или баржевыми составами, либо прокладка подводного трубопровода с продолжением на суше и подключением его к существующим магистральным нефтепроводам.

Для месторождений центрального блока Российского шельфа приемлемыми являются три варианта транспортировки углеводородов, а именно - в порт Махачкала танкерами, баржевыми составами или посредством подводного трубопровода.

Варианты транспортировки наливным флотом требуют установки в районе нефтедобычи плавучего нефтехранилища и точечного рейдового причала. При рассмотрении варианта транспортировки нефти с северных месторождений в Махачкалу возможна установка нефтехранилища и точечного причала за границей зимнего ледообразования с их подключением к месту добычи посредством подводного трубопровода для осуществления круглогодичной навигации.

Разработанная математическая модель, блок-схема которой показана на рис. 2, производит расчёт стоимости приведённых затрат постройки и эксплуатации требуемой морской техники по каждому из обозначенных ранее вариантов и выбирает оптимальный из них для северного и центрального блоков углеводородных месторождений Российского шельфа Каспия. В случае признания оптимальным варианты транспортировки с помощью танкеров или наливного флота, программа осуществляет расчёт основных характеристик требуемых плавучего нефтехранилища и точечного рейдового причала.

Подпрограмма расчёта танкеров рассчитывает множество вариантов судов, определяя

стоимость приведённых затрат каждого из вариантов, в качестве результата получая требуемый состав челночных танкеров и их основные параметры. В качестве переменных варьируемых величин выступали эксплуатационная скорость и дедвейт. Расчёт основывается на статистическом анализе характеристик современных танкеров, подходящих по своим параметрам для эксплуатации на севере Каспия. Исходя из проведённого анализа на основании метода наименьших квадратов было произведено построение графиков функциональных зависимостей главных размерений танкеров от дедвейта вида:

$$X = f(DW), \quad (1)$$

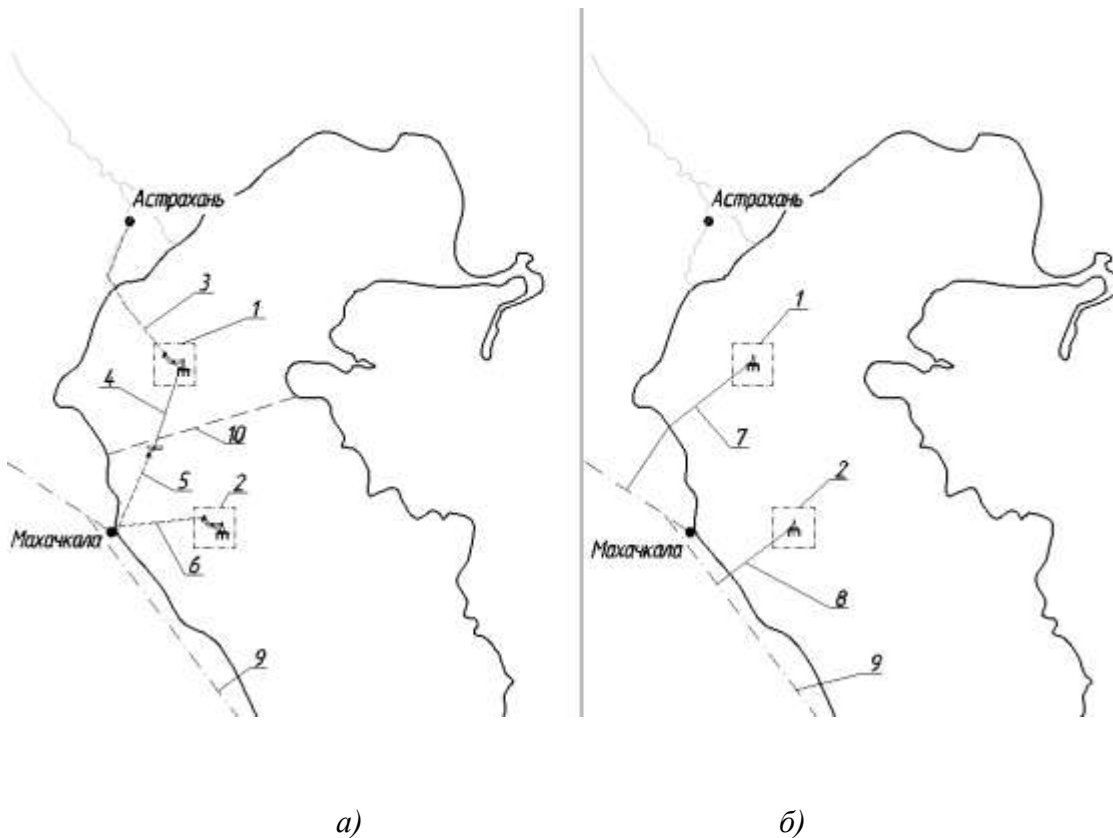


Рис. 1. Варианты транспортировочных схем для вывоза углеводородов Российского шельфа Каспия:

a – варианты транспортировки танкерами и баржами; *б* – вариант транспортировки по трубопроводам;
 1 – северный блок месторождений; 2 – центральный блок месторождений; 3 – транспортировка в Астрахань танкерами или баржами; 4 – подводный нефтепровод для доставки нефти за границу зимнего оледенения; 5, 6 – транспортировка наливным флотом в Махачкалу; 7, 8 – прокладка подводных магистральных трубопроводов; 9 – нефтепровод Баку-Новороссийск;
 10 – граница зимнего ледообразования

Далее на основании уравнений теории проектирования судов [3, 4], в том числе уравнения плавучести, и по исходным данным варьируемых величин производится расчёт основных характеристик каждого из вариантов танкеров.

Требуемое количество танкеров рассчитывается из годового объёма добываемой нефти с месторождения, грузместимости и времени полного рейса одного танкера.

Стоимость нового судна определяется по формуле:

$$Ц_i = C_i / (1 + P_c) K_{вр}, \quad (2)$$

где C_i – себестоимость i -го серийно освоенного судна;

P_c – норматив рентабельности к себестоимости судна;

$K_{вр}$ – коэффициент, учитывающий повышение стоимости строительства судов в перспективный период.

Индивидуальная себестоимость любого судна до серийно освоенного определяется комбинированным методом:

$$C_i = [20C_{mi} + 20C_{ki} + T_i K_n t(1 + K_{кр})] K_{спец}, \quad (3)$$

где C_{mi} – затраты на материалы, покупные комплектующие изделия, полуфабрикаты и услуги предприятий, тыс. руб.;

C_{ki} – затраты на контрагентские поставки и работы, тыс. руб.;

T_i – трудоёмкость постройки судна, тыс. чел.ч.;

K_n – коэффициент выполнения норм выработки;

Эксплуатационные расходы C вычисляются как:

$$C = C_1 + (C_2 + C_3) \cdot n_p, \quad (4)$$

где n_p – количество рейсов за навигацию.

Эксплуатационные расходы складываются из трех основных составляющих: так называемых постоянных расходов C_1 , подсчитываемых сразу за весь навигационный период, и расходов на топливо и смазочные материалы на ходу C_2 и на стоянке в портах C_3 , определяемых за каждый круговой рейс.

Суммарные приведенные затраты по танкерам для обслуживания месторождений рассчитываются следующим образом:

$$З = n_t \cdot (C + E_1 Ц), \quad (5)$$

где n_t – необходимое число танкеров для обслуживания месторождений;

$Ц$ – строительная стоимость танкера.

E_1 – отраслевой нормативный коэффициент. В судостроительной области $E_1 = 0,15$ [5].

Подпрограмма расчёта характеристик и состава несамоходного наливного флота выполняет аналогичный расчёт, получая на выходе значения приведённых затрат для различных вариантов баржевых составов. В качестве исходных данных подпрограммы приняты: гидромеханический тип судна; форма счала состава с полным грузом; форма счепа порожнего состава; тип серийного толкача и его характеристики (мощность, строительная стоимость и т.д.); характеристики линии эксплуатации. В качестве варьируемых величин принимаются L , B отдельно взятой баржи в составе и количество барж в составе.

Программа последовательно выполняет расчёт осадки и высоты борта баржи, её водоизмещения порожнем и полного водоизмещения на основе уравнения плавучести и эмпирических формул расчёта отдельных составляющих нагрузок масс по соответствующим измерителям. Далее производится расчёт скорости состава порожнем и в грузу, времени рейса, а также экономический расчёт приведённых затрат постройки и эксплуатации баржевого состава аналогично расчёту в подпрограмме расчёта танкеров [6].

Подпрограмма расчёта магистрального трубопровода определяет его основные характеристики – суточную пропускную способность и диаметр трубы на основании интенсивности нефтедобычи с нетяного месторождения. Диаметр и толщина стенок магистрального трубопровода выбирается в соответствии с рекомендациями [7], отраслевыми и государственными стандартами. Скорость движения нефти в трубе рассчитывается на основании пропускной способности и внутреннего диаметра нефтепровода.

Программа производит расчёт количества требуемых для нефтепровода насосных станций n в зависимости от величины расчётной потери напора [8]:

$$n = \frac{i \cdot L + \Delta h}{H_{расч} - \Delta h_{доп}}, \quad (6)$$

где I – величина гидравлического уклона, т.е. потери напора на трение;

L – длина трубопровода или его рассматриваемого участка, м;

Δh – разность геодезических отметок, м;

$H_{\text{расч}}$ – расчётный напор насосной станции, тыс.м/час;

$\Delta h_{\text{расч}}$ –дополнительный напор.

Экономический расчёт трубопровода основывается на определении расходов на его постройку и эксплуатацию. Расходы на постройку нефтепроводов включают в себя следующие статьи затрат:

- приобретение труб;
- укладку труб;
- строительство инфраструктуры (насосных перекачивающих станций, резервуаров, внешнего энергоснабжения, систем канализации, теплоснабжения, пожаротушения, подсобных и обслуживающих объектов, пунктов налива нефти);

Расходы на эксплуатацию рассчитываются по средним показателям транспортировки 1 т. нефти на 1 км. Приведённые затраты для нефтепроводов для обслуживания месторождения рассчитываются на основании строительных и эксплуатационных затрат по аналогии с (5).

В случае определения программой танкерного или баржевого вариантов транспортировки в качестве оптимальных, происходит переход к подпрограмме расчёта характеристик требуемых точечного рейдового причала и плавучего нефтехранилища.

Подпрограмма расчёта точечного причала производит расчёт калибра и длины фиксирующих цепей, массу якоря и габариты буя плавучего многоякорного точечного причала. Расчёт параметров цепей и якоря производится на основании нагрузок от ветра и течения в месте установки причала. Габариты буя определяются на основании измерителей, полученных с помощью статистической обработки характеристик существующих точечных причалов подобного типа.

Расчёт плавучего нефтехранилища основывается в принятии к качеству нефтехранилища существующего танкера, срок эксплуатации которого подходит к концу, поэтому полное водоизмещение танкера D^{xp} , переоборудованного в нефтехранилище, определяется как:

$$D^{\text{xp}} = D_0^{\text{T}} + P_{\text{уст.об}} - P_{\text{сн.об}} + P_{\text{сн}} + W_{\text{xp}} \cdot \rho_{\text{н}}, \quad (7)$$

где D_0^{T} – водоизмещение порожнем танкера-претендента, т;

$P_{\text{уст.об}}$ –масса дополнительно устанавливаемого оборудования и конструкций, т;

$P_{\text{сн.об}}$ –масса снимаемого оборудования, т.

$P_{\text{сн}}$ – масса снабжения;

W_{xp} – ёмкость нефтехранилища, м³;

$\rho_{\text{н}}$ – плотность нефти, т/м³;

Нагрузки P_i определяются через измерители с судов-прототипов. Расчёт осадки порожнем и в полном грузу нефтехранилища выполняется с помощью уравнения плавучести. Требуемая ёмкость нефтехранилища рассчитывается на основании суточной интенсивности нефтедобычи и составляет 4-6 суточных объёмов извлекаемой нефти.

Если прокладка магистрального трубопровода определяется, как оптимальный вариант транспортировки, то программа выполняет переход к подпрограмме расчёта оптимальных характеристик трубоукладочного судна водоизмещающего типа. Данный расчёт параметров основан на анализе аналогичных существующих судов-трубоукладчиков и составлении функциональных зависимостей основных элементов этих судов от дедвейта. Варьируемыми величинами при расчёте множества вариантов являются грузоподъёмность трубоукладчика и эксплуатационная скорость. Уточнённый расчёт характеристик искомого судна-трубоукладчика основан на решении системы основных уравнений теории проектирования судов: плавучести, масс и остойчивости. Водоизмещение в первом приближении определяется с помощью коэффициента использования полной массы по грузоподъёмности. Уточнённый расчёт водоизмещения ведётся с помощью суммирования всех статей нагрузок, входящих в состав масс трубоукладчика. Расчёт каждой из нагрузок производится с помощью формул, опирающихся на измерители, полученные опытным путём.

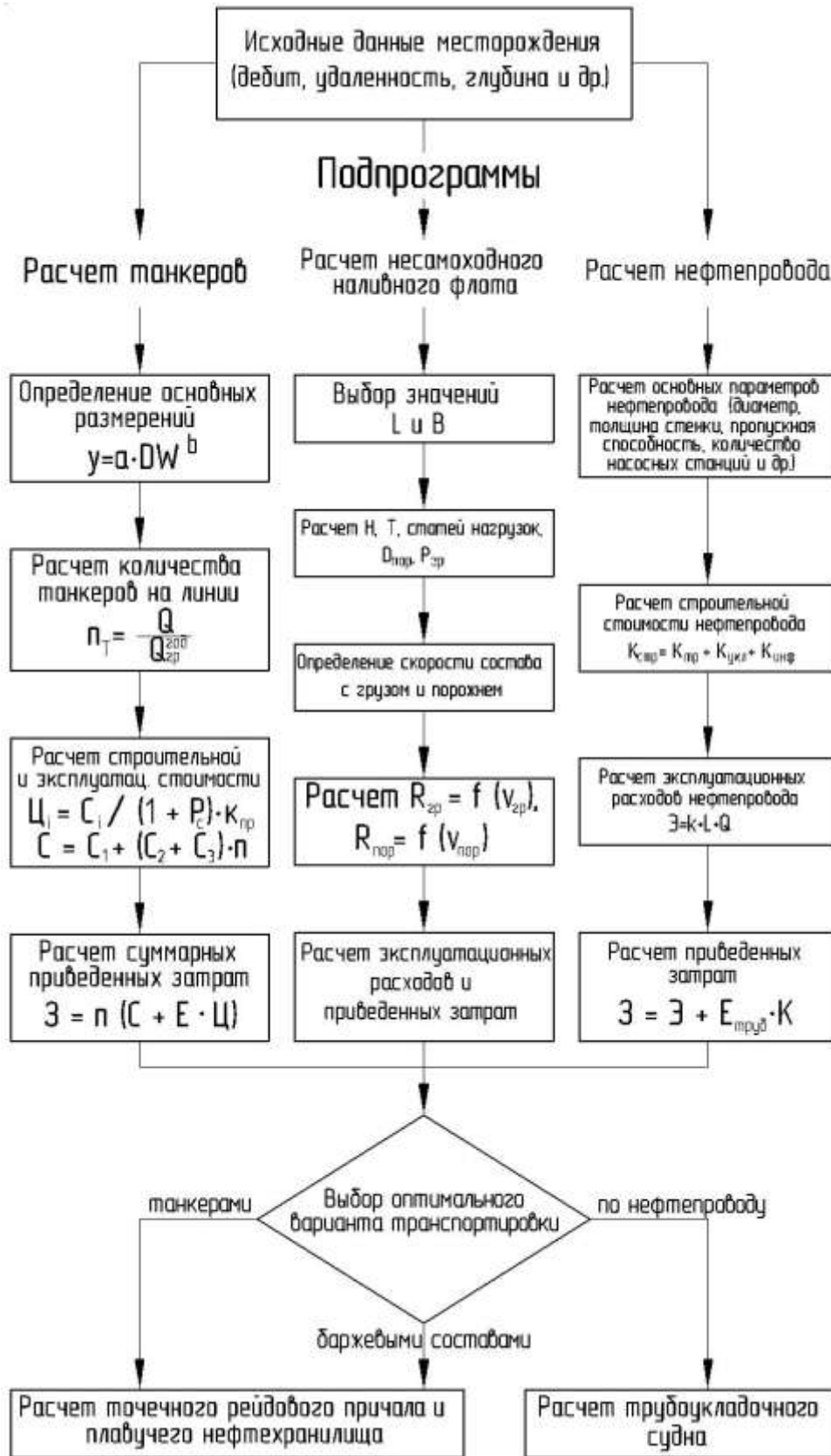


Рис. 2. Блок-схема алгоритма проектирования оптимальных технических средств для транспортировки нефти с морских месторождений Северного Каспия

На основании расчётов, выполненных программой, оптимальными для блока Северных месторождений признан вариант транспортировки нефти по смешанному трубопроводно-

танкерному варианту с прокладкой подводного трубопровода от района добычи за границу зимнего оледенения длиной около 100 км с подключением за границей льдов к комплексу, состоящему из плавучего нефтехранилища и точечного рейдового причала. В дальнейшем нефть доставляется танкерами в порт Махачкала. Диаметр подводного трубопровода 400 мм, толщина стенки 16 мм, приведённые затраты на ветвь подводного трубопровода около 1,5 млрд руб. Параметры плавучего нефтехранилища: дедвейт 30000 т, $L=140$ м, $B=32$ м, $H=15,7$ м. Для осуществления транспортировки нефти по маршруту от точечного причала до Махачкалы оптимальным является использование двух челночных танкеров со следующими характеристиками: $L=121,7$ м, $B=18,3$ м, $H=9,4$ м, $T=6,3$ м, дедвейт 8000 т, с эксплуатационной скоростью 11,2 уз.

Для центрального блока месторождений оптимальным является использование танкерной схемы транспортировки с морской техникой, аналогичной по составу и характеристикам блоку северных месторождений, но без необходимости прокладки ветки подводного нефтепровода в связи с отсутствием ледообразования в центральной части Каспийского моря. В этом случае точечный рейдовый причал и плавучее нефтехранилище устанавливаются непосредственно в районе нефтедобычи.

Библиографический список

1. Лукойл представляет результаты геологоразведки в акватории Северного Каспия // Пресс-релиз ОАО «ЛУКОЙЛ», 2004.
2. **Петров, М.П.** Факторы, влияющие на выбор оптимальной схемы транспортировки углеводородов шельфа Каспийского моря / М.П. Петров, В.Н. Лубенко // Вестник АГТУ. 2009. №1. С. 222-227.
3. **Ашик, В.В.** Проектирование судов / В.В. Ашик. – Л.: Судостроение, 1985. – 320 с.
4. **Бронников, А.В.** Проектирование судов / А.В. Бронников. – Л.: Судостроение, 1991. – 321 с.
5. **Гинзбург, А.И.** Экономическое обоснование проекта судна / А.И. Гинзбург. – Л.: ЛКИ, 1982. – 54 с.
6. **Богданов, Б.В.** Проектирование толкаемых составов и составных судов / Б.В. Богданов. – Л.: Судостроение, 1981. – 364 с.
7. Нормы технологического проектирования магистральных нефтепроводов РД 153-39.4-113-01. – М., 2001.
8. **Горяинов, Ю.А.** Морские трубопроводы / Ю.А. Горяинов. – М.: Недра, 2001. – 242 с.

*Дата поступления
в редакцию 02.04.2010*

M.P. Petrov, V.N. Lubenko, D.A. Pichugin

PROBLEM OF EXTERNAL DESIGN OF THE FLEET FOR NORTH CASPIAN OIL FIELDS SERVICE

Mathematical model for solving the problem of choosing the best shipping of marine equipment to service the oil fields of the Russian shelf of the northern Caspian are produced. This model is a program of numerical experiment produces the calculation in three ways: tanker, barge and pipeline. Selection of optimal variants of vehicles made under the economic criteria contained costs.

Key words: optimal transportation, marine engineering, hydrocarbon deposits, the Caspian shelf, tankers, barges and pipelines.