

# Раздел 1 ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА И ТРАНСПОРТНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 519.2: 330.4

DOI: 10.34046/aumsuomt100/1

## ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РЫБОПРОМЫСЛОВЫХ И ТРАНСПОРТНЫХ СУДОВ В РАЙОНАХ ПРОМЫСЛА

*Е.И. Антонова, кандидат технических наук, доцент*

*И.Н. Вольнов, кандидат физико-математических наук, доцент*

В статье рассмотрен наглядный пример использования математического моделирования для анализа операций в рыбопромысловой экспедиции. В качестве объекта исследования выбраны процессы организации работы рыбодобывающего и транспортного флота в их взаимодействии друг с другом. Результатом исследования является формализованное описание процесса принятия решений в оперативном планировании и управлении флотом компании с использованием математических моделей исследования операций. Представлены математические модели следующих подпроцессов: вылов биоресурсов рыбодобывающим флотом в заданных районах промысла; вывоз рыбопродукции транспортными судами из районов промысла и распределение полученной прибыли между судами участниками промысловой экспедиции. Применение данных моделей в экономико-математическом анализе позволяют дополнить комплексную оптимизацию технологических процессов, их планирование и прогнозирование для качественного принятия управленческих решений, сохранения уровня рентабельности флота и оптимального использования всех имеющихся у компании технологических ресурсов.

**Ключевые слова:** анализ операций, организация работы флота, районы промысла, рентабельность, математическое моделирование, оптимальное планирование.

## ECONOMIC AND MATHEMATICAL ANALYSIS OF THE FISHERY AND TRANSPORTS VESSELS' COORDINATED ACTIONS IN FISHING AREAS

*E.I. Antonova, I.N. Volnov*

The paper gives consideration to a demonstrative example of the use of mathematical modeling for a fishing expedition operations' analysis. The processes of organizing the work of the fishing and transport fleets and their coordinated actions were selected as the object of research. The result of the research is a formalized description of the decision-making process in the short-term planning for and management of a company's fleet using mathematical models of operation study. The mathematical models of the following sub-processes are presented: catch of biological resources by the fishing fleet in given fishing areas; export of fish products by transport vessels from the fishing areas, as well as distribution of the profit gained among the vessels participating in the fishing expedition. The deployment of such models in economic and mathematical analysis will make it possible to carry out an all-inclusive process flow optimization, their planning and forecasting for high-quality management decisions, maintaining the level of profitability of the fleet and best use of all technological resources available with a company.

**Key words:** operations' analysis, organization of the fleet, fishing areas, profitability, mathematical modeling, optimal planning.

Развитие рыбодобывающей отрасли требует значительных финансовых вложений, что определяет высокую цену ошибочно принятого решения. Организация работы флота в рыбопромысловой экспедиции без проведения прогнозного анализа рыночной ситуации и востребованности услуг рыбодобывающих и транспортных судов, может оказаться убыточной, что приведет к моральному устареванию инфраструктуры рыбодобывающей компании и потере ею части квот на добычу био-

ресурсов. Наиболее важной и сложной задачей является комплексная оптимизация технологических процессов, их планирование и прогнозирование для качественного принятия управленческих решений, сохранения уровня рентабельности флота и оптимального использования всех имеющихся у компании технологических ресурсов.

Рыбопромысловая экспедиция является уникальным транспортным объектом. Ввиду широкого охвата социально-экономических, транс-

портных и инфраструктурных, технических, вопросов организации ее работы, эффективного взаимодействия рыбодобывающего и транспортного флота и учета влияния окружающей среды возникает потребность в применении исследования технологических процессов системного многокритериального анализа [1, 2]. Исходя из этого, активное использование математического моделирования в процессе планирования и управления работой рыбодобывающего и транспортного флота является актуальным для рыбодобывающей отрасли.

Обзор литературных источников на предмет применимости для исследования технологических процессов морского транспорта математического инструментария показал, что наиболее востребованными в теоретическом плане на сегодняшний день являются эмпирические методы [3, 4], методы системного анализа [5, 6], методы теории массового обслуживания [7, 8, 9] и имитационное моделирование [10, 11, 12]. Применение же данных методов в практической деятельности небольших рыбодобывающих компаний является, во-первых, времязатратным мероприятием (время на постановку и выполнения экспериментов, либо время на итерационные процессы имитационного моделирования). Во-вторых, обязательное использование в процессе имитационного моделирования лицензированных пакетов прикладных программ [13], требует дополнительных финансовых затрат на покупку и ежегодное продление лицензии программного продукта. В-третьих, необходимо иметь в штате или на аутсорсинге специалистов, обладающих навыками постановки и решения имитационных задач, а также имеющих опыт практического использования современных IT-технологий в приложениях к управлению морским транспортом.

Математический аппарат исследования операций лишен перечисленных выше недостатков, на протяжении многих лет использовался и хорошо зарекомендовал себя в процесс оперативного планирования и управления флотом компаний морских перевозчиков. Кроме того, владение методами исследования операций входит в перечень профессиональных компетенций курсантов морских вузов [14]. Востребованность и эффективность данного математического аппарата в производственной деятельности небольших судоводных компаний подтверждается также научными разработками последних лет [15, 16]. Исходя из выше изложенного в основание экономико-математический анализ процесса взаимодействия рыбодобывающего и транспортного

флота в экспедиции были заложены математические модели линейного и динамического программирования.

Использование разных типов рыбодобывающих и транспортных судов с различными технико-эксплуатационными характеристиками в одних и тех же районах промысла дает разный экономический эффект. Различный результат получается и при работе одного и того же типа судна в разных районах промысла. Эффективность работы флота в значительной степени обеспечивается правильной расстановкой судов в рыбопромысловой экспедиции. Поэтому основной целью выполнения экономико-математического анализа процесса взаимодействия рыбодобывающих и транспортных судов является нахождение оптимального плана расстановки судов [17, 18].

При организации работы промыслового флота используется понятие рыбопромысловая экспедиция в двух разных контекстах – организация рыболовства по объекту либо району промысла [19]. Организация по объекту промысла осуществляется в отношении рыбных биоресурсов, обладающих свойством промысловой доступности в определенное время года, что в свою очередь позволяет осуществлять их изъятие в промышленных масштабах в одной промысловой зоне. В свою очередь, организация по району промысла предполагает формирование группы рыбодобывающих судов, осуществляющих вылов рыбы в нескольких промысловых зонах одновременно. В контексте данного исследования экономико-математический анализ выполняется в отношении комплексной организации работы флота (рыбодобывающего и транспортного) по районам промысла (объект анализа).

Работу рыбодобывающего флота будем рассматривать как единую материалопроводящую систему, производственными процессами которой являются: вылов в зонах промысла рыбы-сырца и выпуск из нее готовой продукции или полуфабриката; доставка полученной продукции транспортными судами в пункты потребления (порты). При этом процесс взаимодействия рыбодобывающих и транспортных судов в районах промысла условно можно, в свою очередь, разделить на три взаимосвязанных последовательных подпроцесса: вылов биоресурсов рыбодобывающим флотом в заданных районах промысла; вывоз рыбопродукции транспортными судами из районов промысла; распределение полученной прибыли между судами участниками промысловой экспедиции.

Структурно экономико-математический анализ выбранного объекта исследования состоит из последовательного (поэтапного) решения двух задач линейного программирования и одной задачи динамического программирования: задача расстановки рыбодобывающего флота по районам промысла, задача расстановки транспортных судов по районам промысла для вывоза выловленных объемов рыбопродукции, задача распределения полученной прибыли между судами соответственно. Каждый этап описывается соответствующей ему математической моделью. Исходя из принципа последовательного решения, оптимальные значения управляющих параметров предыдущего этапа являются входными параметрами в математическую модель следующего этапа.

В процессе функционирования системы происходят комплексные затраты материальных и технических ресурсов как по рыбодобывающему, так и транспортному флоту. Различные комбинации объемов имеющихся в системе ресурсов с учетом их взаимодействия друг с другом позволяют описать результаты производственной деятельности флота в количественных показателях – объем вылова и/или выпуска готовой продукции и величина прибыли, полученной от реализации рыбопродукции. В общем виде объект исследования можно описать исходя из имеющихся объемов ресурсов и их взаимосвязей следующим образом.

Первый этап – расстановка рыбодобывающего флота по районам промысла. В течение планового периода на бассейне функционируют  $n$  районов промысла ( $j = \overline{1, n}$ ). Добычу биоресурсов осуществляют  $m$  типов рыбопромысловых судов ( $i = \overline{1, m}$ ). Количество судов каждого типа равно  $N_i$ . Также известен порт базирования флота и расстояния до районов промысла  $L_j$ . К биологическим ресурсам системы относятся план добычи каждого вида рыбы  $Q_j^{nl}$  в соответствующем районе промысла и норматив максимально возможного изъятия каждого вида рыбы по районам промысла (квота)  $Q_j^{\max}$ . Условно примем, что в каждом районе промысла добывается один вид рыбы. Оптовые цены от реализации каждой тонны рыбопродукции известны и равны  $C_j$ . К техническим ресурсам системы относятся: суточные нормы вылова каждого вида рыбы в каждом районе промысла  $g_{ij}$ , нормативы стояночного времени судов в портах между очередными рейсами  $T_i^n$ ; нормативы пребывания судна в море  $T_i^M$ ; суточные

нормы содержания судна в порту  $S_i^n$ ; суточные нормы содержания судна на переходе  $S_{ij}^x$  и суточные нормы содержания судна на промысле  $S_i^{np}$ .

На основании имеющихся в системе ресурсов выполняется расчет входных параметров (экономических показателей) математической модели первого этапа.

1. Эксплуатационные расходы судна за рейс:

$$S_{ij}^p = T_i^n \times S_i^n + T_{ij}^x \times S_{ij}^x + T_{ij}^{np} \times S_i^{np},$$

где  $T_i^n$  – норматив стояночного времени  $i$ -го судна в порту, сутки;  $T_{ij}^x$  – время перехода  $i$ -го судна в  $j$ -ый район промысла и обратно, сутки;  $T_{ij}^{np}$  – время нахождения  $i$ -го судна на промысле в  $j$ -ом районе, сутки;  $S_i^n$ ,  $S_{ij}^x$ ,  $S_i^{np}$  – себестоимость содержания  $i$ -го судна на стоянке в порту, на ходу и на промысле соответственно, ден. ед./сут.

2. Время на переходы в район промысла и обратно рассчитывается по формуле:

$$T_{ij}^x = \frac{2L_j}{V_i}, \quad (1)$$

где  $L_j$  – расстояние от порта базирования до  $j$ -го района промысла, миль;  $V_i$  – эксплуатационная скорость судна, миль/сут.

3. Время нахождения судна на промысле определяется по формуле:

$$T_{ij}^{np} = T_i^M - T_{ij}^x,$$

где  $T_i^M$  – норматив пребывания  $i$ -го судна в море, сутки.

4. Объем добычи рыбы за рейс определяется по формуле:

$$G_{ij} = T_{ij}^{np} \times g_{ij},$$

где  $g_{ij}$  – суточная норма вылова рыбы  $i$ -ым судном в  $j$ -ом районе промысла, т/сут.

5. Себестоимость добычи одной тонны рыбы рассчитывается по формуле:

$$S_{ij}^{1T} = \frac{S_{ij}^p}{G_{ij}}, \text{ ден. ед.}$$

6. Прибыль от реализации одной тонны рыбы определяется по формуле:

$$P_{ij}^{1T} = C_j - S_{ij}^{1T},$$

где  $C_{ij}$  – оптовая цена реализации 1 тонны продукции, ден. ед.

7. Количество рейсов за эксплуатационный период рассчитывается по формуле:

$$r_{ij} = \frac{T_i^{\circ}}{T_{ij}^p}, \quad (2)$$

где  $T_i^{\circ}$  – эксплуатационный период  $i$ -го судна, сутки;  $T_{ij}^p$  – время рейса  $i$ -го судна в  $j$ -ый район промысла, сутки.

8. Эксплуатационный период судна определяется по формуле:

$$T_i^{\circ} = T_i^k - T_i^{pem}, \quad (3)$$

где  $T_i^k$  – календарный период, сутки;  $T_i^{pem}$  – время ремонта  $i$ -го судна в течение календарного периода, сутки.

9. Время рейса определяется по формуле:

$$T_{ij}^p = T_i^m + T_i^n, \text{ сут.}$$

10. Максимально возможный период пребывания судов в море  $T_i^{\circ, \max}$  определяется следующим образом

$$T_i^{\circ, \max} = T_i^{\circ, n.l} + 0,1T_{ij}^p,$$

где  $T_{ij}^p$  – время рейса судна, сутки.

11. Прибыль за один рейс определяется по формуле:

$$P_{ij}^{1p} = P_{ij}^{1T} \times G_{ij},$$

где  $P_{ij}^{1T}$  – прибыль от реализации одной тонны рыбы, ден. ед.;  $G_{ij}$  – объем добычи за один рейс, т.

В табл. 1 представлено несколько возможных вариантов формализации первого технологического подпроцесса. Выбор конкретной математической модели из трех предложенных ниже осуществляется в зависимости оттого, какое смысловое значение будет заложено в параметры управления  $X_{ij}$ , т. е. какой экономический показатель необходимо найти в ходе решения математической задачи (модели). В качестве критерия оптимальности во всех предложенных вариантах принят максимум прибыли от реализации продукции, но он может быть и другим в зависимости от конкретной цели, выбранной руководством рыбодобывающей компании. Например, минимизация

расходов рыбодобывающего флота. Третий вариант математической модели (табл. 1) рекомендуется применять в условиях дефицита флота.

Совокупность приведенных выше уравнений и неравенств составляет математическую модель (по вариантам) расчета оптимального плана расстановки промысловых судов по районам промысла. В результате решения задачи одним из известных методов [20, 21] наряду с оптимальным планом работы рыбодобывающего флота становятся известными оптимальные объемы вылова рыбы в каждом районе промысла  $Q_j$ . Эти объемы надо вывезти из районов промысла в пункты (порты) реализации готовой продукции. Таким образом, на втором этапе экономико-математического анализа необходимо выполнить расстановку уже транспортного флота по направлениям. В данном контексте под направлением понимают перевозку груза из района промысла в порт выгрузки. При этом оптимальные объемы вылова рыбы в каждом районе промысла  $Q_j$  являются входными параметрами в математическую модель второго этапа и называются заданными объемами перевозок.

Второй этап – расстановка транспортного флота по направлениям. При решении данной задачи могут выдвигаться различные критерии оптимальности: достижение максимальной прибыльности работы транспортного флота; обеспечение максимального использования тоннажа; минимизация эксплуатационных расходов или времени на перевозку. При этом наиболее часто используемым в практической деятельности критерием является требование минимизации затрат на перевозку. Его и выберем в качестве признака оптимальности плана расстановки транспортного флота.

Технические ресурсы данного этапа. В течение планового периода из районов промысла вывоз рыбопродукции осуществляют  $m$  типов транспортных судов ( $i = \overline{1, m}$ ) по  $n$  направлениям доставки грузов ( $j = \overline{1, n}$ ). Количество транспортных судов каждого типа равно  $N_i$ . Объем перевозок на этих направлениях составляет  $Q_j$  тонно-милей соответственно. Известно, что если судно  $i$ -го типа использовать на  $j$ -ом направлении, то его провозная способность составит  $P_{ij}$  тонно-милей за весь планируемый период. Эксплуатация  $i$ -го типа на  $j$ -ом направлении в течение всего эксплуатационного периода требует расхода  $S_{ij}$  ден. ед.

Таблица 1 – Варианты формализации задачи расстановки рыбодобывающего флота по районам промысла

Математические модели		
1-ый вариант	2-ый вариант	3-ый вариант
Параметры управления $x_{ij}$ (неизвестные величины) –		
количество суток, в течение которых $i$ -е судно находится в $j$ -м районе промысла.	количество рейсов $i$ -го судна в $j$ -ый район промысла.	требуемое количество судов $i$ -го типа в $j$ -ым районе промысла.
Критерий оптимальности (максимум прибыли от реализации добытой рыбы)		
$Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n g_{ij} P_{ij}^{1T} N_i x_{ij} \rightarrow \max$	$Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n P_{ij}^{1P} N_i x_{ij} \rightarrow \max$	$Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n T_{ij}^{nP} g_{ij} r_{ij} C_j x_{ij} \rightarrow \max$
где $g_{ij}$ – суточная норма вылова рыбы $i$ -ым судном в $j$ -ом районе промысла, т/сут; $P_{ij}^{1T}$ – прибыль от реализации одной тонны продукции, добытой $i$ -ым судном в $j$ -ом районе промысла, ден. ед.; $N_i$ – количество судов $i$ -го типа, $r_{ij}$ – количество рейсов $i$ -го судна в $j$ -ый район промысла.		
Ограничения могут быть сформулированы следующим образом:		
В каждом районе промысла должен быть обеспечен вылов рыбы не менее планового $Q_j^{nl}$ , но не более установленной квоты $Q_j^{\max}$ . $Q_j^{nl} \leq \sum_{i=1}^m g_{ij} N_i x_{ij} \leq Q_j^{\max}$ , ( $j = \overline{1, n}$ ).	В каждом районе промысла должен быть обеспечен вылов рыбы не менее планового $Q_j^{nl}$ , но не более максимально возможного объема изъятия $Q_j^{\max}$ . $Q_j^{nl} \leq \sum_{i=1}^m G_{ij} N_i x_{ij} \leq Q_j^{\max}$ , ( $j = \overline{1, n}$ ), где $G_{ij}$ – объем добычи за один рейс, т.	Объем вылова не может быть выше установленной квоты, но должен быть не ниже плановых объемов. $Q_j^{nl} \leq \sum_{i=1}^m T_{ij}^{nP} g_{ij} r_{ij} x_{ij} \leq Q_j^{\max}$ , ( $j = \overline{1, n}$ ).
Продолжительность работы каждого $i$ -го судна в течение заданного календарного периода должна быть не менее планового эксплуатационного периода $T_i^{\text{э.пл}}$ , но не более максимального возможного периода $T_i^{\text{э.мах}}$ . $T_i^{\text{э.пл}} \leq \sum_{j=1}^n x_{ij} \leq T_i^{\text{э.мах}}$ , ( $i = \overline{1, m}$ )	Продолжительность работы каждого $i$ -го судна должна быть не менее планового эксплуатационного периода $T_i^{\text{э.пл}}$ , но не более максимального возможного периода $T_i^{\text{э.мах}}$ . $T_i^{\text{э.пл}} \leq \sum_{j=1}^n T_{ij}^p x_{ij} \leq T_i^{\text{э.мах}}$ , ( $i = \overline{1, m}$ ).	Количество судов $i$ -го типа не может быть больше списочного числа судов $N_i^{cn}$ . $\sum_{j=1}^n x_{ij} \leq N_i^{cn}$ , ( $i = \overline{1, m}$ ).
Условие неотрицательности переменных		
Количество суток пребывания судна на промысле не может быть величиной отрицательной:	Количество рейсов не может быть отрицательным числом:	Количество судов не может быть отрицательным числом:
$x_{ij} \geq 0, (i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n})$ .		

На основании имеющихся в системе ресурсов выполняется расчет входных параметров (экономических показателей) математической модели второго этапа.

1. Провозная способность флота за эксплуатационный период рассчитывается по формуле:

$$P_{ij} = Dr_i L_{\text{заг}} r_{ij} N_i,$$

где  $Dr$  – чистая грузоподъемность  $i$ -го судна, т;  $L_{\text{заг}}$  – коэффициент использования чистой грузоподъемности  $i$ -го судна (принимается  $L_{\text{заг}} = 0,8$ );  $r_{ij}$  – количество рейсов  $i$ -го судна в  $j$ -й район промысла;  $N_i$  – количество судов  $i$ -го типа.

2. Количество рейсов  $r_{ij}$  может быть рассчитано по формуле (2), причем время рейса транспортного судна рассчитывается по формуле:

$$T_{ij}^P = T_{ij}^x + T_i^{cm..n} + T_{ij}^{cm.np},$$

где  $T_{ij}^x$  – время на переход  $i$ -го судна в  $j$ -ый район промысла и обратно, сут. Может быть рассчитано по формуле (1);  $T_i^{cm..n}$  – стояночное время  $i$ -го судна в порту, сут.;  $T_{ij}^{cm.np}$  – стояночное время  $i$ -го судна на промысле, сут.

3. Стояночное время судна рассчитывается по формуле:

$$T_i^{cm.} = T_i^{2p.} + T_i^{6cn},$$

где  $T_i^{cm.}$  – время нахождения  $i$ -го судна под грузовыми операциями, сут.;  $T_i^{6cn}$  – время вспомогательных операций, сут.

4. Эксплуатационные расходы транспортного судна определяются по формуле:

$$S_{ij} = r_{ij} N_i (S_i^x T_{ij} + S_i^n T_{ij}^n + S_i^{np} T_{ij}^{np}),$$

где  $S_i^x$ ,  $S_i^n$ ,  $S_i^{np}$  – себестоимость содержания  $i$ -го судна на ходу, в порту, на промысле соответственно, ден. ед./сут.

Математическую модель второго этапа анализа можно записать следующим образом. За параметры управления примем  $x_{ij}$  – время работы  $i$ -го типа судна на  $j$ -ом направлении.

Эксплуатационные расходы при этом составят (целевая функция):

$$Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n S_{ij} x_{ij} \rightarrow \min, \quad (4)$$

Система ограничений состоит из двух групп. Первая группа ограничений выражает требования, состоящие в том, что судно на разных направлениях не может работать больше эксплуатационного периода  $T_i^o$  (рассчитывается по формуле 3):

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \leq T_i^o, (i = \overline{1, m}). \quad (5)$$

Вторая группа ограничений выражает требование, предъявленное заданными объемами перевозок  $Q_j$  на каждом направлении. Получим:

$$\sum_{i=1}^m P_{ij} x_{ij} = Q_j (j = \overline{1, n}). \quad (6)$$

Если есть излишек судов, то необходимо учесть их в резерве, т. е.

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} + x_{ippe} = 1 (i = \overline{1, m}). \quad (7)$$

При этом время работы судна не может быть величиной отрицательной, т. е.

$$x_{ij} \geq 0 (i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}). \quad (8)$$

Совокупность приведенных выше уравнений и неравенств (4 – 8) составляет математическую модель расчета оптимального плана расстановки транспортных судов по направлениям вывоза рыбной продукции из зон промысла. Для получения оптимального плана расстановки транспортных судов можно применить уже выбранный на первом этапе метод решения (например, симплексный метод). Примеры решения подобных задач симплексным методом в среде MATLAB представлен в работе [22].

Третий этап – распределение полученной прибыли между судами участниками экспедиции. В процессе работы добывающие суда в течение эксплуатационного периода получают прибыль  $\Pi_{ij}$ . Часть этой прибыли  $S$  (сумма, вкладываемая в модернизацию флота) необходимо распределить между этими судами в различных долях. Известен ожидаемый прирост выпуска продукции (в ден. ед.) в зависимости от объема вложенных средств. Требуется найти оптимальное распределение вышеуказанных средств с тем, чтобы общий прирост выпуска продукции был максимальным. Математическая модель этого этапа может быть представлена следующим образом.

Необходимо определить наибольшее значение функции:

$$Z = \sum_{i=1}^m f_i(x_i) \rightarrow \max,$$

где  $x_i$  – объем средств, выделенных  $i$ -му судну, ден. ед.;  $f_i$  – прирост выпуска продукции, обеспеченный вложением в  $i$ -ое судно  $x_i$  количество средств.

При условии

$$\sum_{i=1}^m x_i = S,$$

$$x_i \geq 0, (i = \overline{1, m}),$$

где  $S$  – общий объем вложенных в модернизацию флот средств, ден. ед.

Последняя модель из приведенных в работе математических моделей, как было уже сказано выше, относится к классу задач динамического программирования. Нахождение оптимального решения такого типа задач включает несколько шагов решения, на каждом из которых определяется решение некоторой частной задачи, обусловленной исходной задачей. Общее решение задачи определяется совокупностью решений всех частных задач.

На первом шаге распределяют все имеющиеся средства  $S$  только между двумя судами из имеющегося списка судов и выбирают оптимальное распределение как всего объема этих средств, так и любой их части. На следующем шаге к двум первым судам (для которых уже найдено оптимальное распределение капитала) добавляют третье судно из списка судов, и средства перераспределяются уже между тремя этими судами, но с учетом рекомендаций, полученных по оптимальному распределению для двух первых судов. Аналогичные действия продолжают до тех пор, пока средства  $S$  не будут поделены между всеми  $m$  судами.

В своей совокупности, приведенные в работе, математические модели являются формализованным образом исследуемой системы, который отображает свойства системы, связи и взаимосвязи между ее элементами, структурные и функциональные параметры подсистем. Экономико-математический анализ процесса взаимодействия рыбодобывающих и транспортных судов в районах промысла на основе представленных моделей позволяет лицу, принимающему решения, определять или уточнять характеристики технологических процессов, оптимизировать планы работы рыбопромыслового флота, обосновывать схемы движения транспортных судов и ряд других вопросов.

#### Литература

1. Платов А.Ю. О современных методах бизнес-планирования работы речного флота / А.Ю. Платов, Ю. И. Платов // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. – 2018. – № 54. – С. 110-115.
2. Антонова Е. И. Использование системы планирования перегрузочных процессов в работе контейнерного терминала / Е. И. Антонова, И.А. Васильев // Эксплуатация морского транспорта. – 2019. – № 2 (91). – С. 3-8.
3. Янченко А. А. Экспериментальные исследования влияния зонирования контейнерного терминала на эффективность его работы в условиях свободного порта Владивосток / А. А. Янченко, Т. Е. Маликова, Д. А. Оськин // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. – 2019. – Т. 11. – № 1. – С. 57-67. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-1-57-67.
4. Кузнецов А. Л. Планирование имитационных экспериментов в задачах исследования операционных стратегий контейнерных терминалов / А. Л. Кузнецов, А. В. Кириченко, А. Д. Семенов, А. А. Радченко // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. – 2020. – № 4. – С. 105–112. DOI: 10.24143/2073-1574-2020-4-105-112.
5. Маликова Т. Е. Системный анализ взаимодействия участников транспортного рынка при оформлении грузов в морском порту / Т. Е. Маликова, А. А. Янченко // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2015. – № 4. — С. 25–29.
6. Сахнов Д.Ю. Задачи системного подхода организации завоза грузов в зоны Заполярья / Д.Ю. Сахнов // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2018. – № 2. – С. 7-11.
7. Янченко А.А. Разработка модели исследования влияния зонирования контейнерного терминала на эффективность его работы / А. А. Янченко, Т. Е. Маликова, И. Н. Вольнов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. – 2017. – Т. 9. – № 4. – С. 704-713. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-4-704-713.
8. Антонова Е. И. Модель перегрузочных процессов при организации грузовых работ на контейнерном терминале / Е. И. Антонова, И.А. Васильев // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. – 2019. – № 59. – С. 149-157.
9. Янченко А.А. Дискретно-событийная модель в задачах эксплуатации контейнерных терминалов / А.А. Янченко, Т.Е. Маликова // Эксплуатация морского транспорта. – 2017. – № 4 (85). – С. 25-31.
10. Киселёв В. С. Формирование логико-информационной структуры имитационной модели ледовых операций линейных ледоколов / В. С. Киселёв, А. В. Кириченко, А. Л. Кузнецов, Ю. Д. Кравец // Транспортное дело России. – 2019. – № 6. – С. 93-98.
11. Kuznetsov A. L. Simulation for assessment of bulk cargo berths number / A. L. Kuznetsov, A. V. Kirichenko, A. E. Slitsan // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. — IOP Publishing, 2017. – Vol. 87. – Is. 6. – Pp. 062010. DOI: 10.1088/1755-1315/87/6/062010.
12. Kuznetsov A. L. Simulation Model of Container Land Terminals / A.L. Kuznetsov, A.V. Kirichenko, J.J. Eglit // TransNav. – 2018. – Vol.

12. – Num. 2. – Pp. 321–326. DOI: 10.12716/1001.12.02.13.
13. Радочинская А. Ж. Моделирование процесса обработки импортного грузопотока на контейнерном терминале в среде MATLAB/ А. Ж.Радочинская, А. А. Янченко, Т.Е. Маликова // В сборнике: Аэрокосмическое приборостроение и эксплуатационные технологии. Сборник докладов Второй Международной научной конференции.– Санкт-Петербург, 2021. – С. 144-149.
14. Тимошек Е. С. Решение задач расстановки флота в среде MATLAB в учебном процессе морских вузов / Е. С. Тимошек // Вестник государственного морского университета им. адмирала Ф.Ф. Ушакова. – 2019.–№ 4(29). – С. 25-30.
15. Изотов О.А. Математическое моделирование мультимодальных перевозок в условиях Крайнего Севера / О. А. Изотов, Д.Л. Головцов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. – 2016. – № 1. – С. 95-102.
16. Тимошек Е. С. Распределительная модель судов снабжения Арктического региона на участке транспортной сети / Е. С. Тимошек, Т. Е. Маликова // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. – 2019. – № 60. – С. 213-222.
17. Румянцева А.А. Рациональная расстановка флота с использованием индексного метода / А.А. Румянцева // Экономика и предпринимательство. – 2019. – № 7(108). – С. 1073-1076.
18. Салько Д.Ю. Применение линейного моделирования при планировании работы флота судоходной компании / Д.Ю. Салько, К.М. Искандаров // Вестник государственного морского университета им. адмирала Ф.Ф. Ушакова. – 2012. – № 1(1). – С. 81-84.
19. Лисиенко С. В. Разработка математической модели и оптимальной задачи по организации и управлению промысловым флотом при ведении добычи водных биологических ресурсов на примере промысла дальневосточной сардины (иваси) и скумбрии в Дальневосточном рыбохозяйственном бассейне // С. В. Лисиенко, В. Е. Вальков, Н. С. Иванко, А. Н. Бойцов / Морские интеллектуальные технологии. – 2019. – 4-2 (46), с. 147-153.
20. Дмитриенко Д. В. Исследование операций – инструмент для повышения эффективности управления водным транспортом / Д. В. Дмитриенко // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. – 2017. – Т. 9. – № 5. – С. 1131-1141. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-5-1131-1141.
21. Маликова Т. Е. Математические методы и модели в управлении на морском транспорте: учебное пособие / Т.Е. Маликова. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2018. – 373 с. – (Серия 11: Университеты России).
22. Маликова Т.Е. Результаты численной реализации задачи расстановки флота малой судоходной компании / Т. Е. Маликова, Е. С. Тимошек // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. – 2020. – Т. 12. – № 4. – С. 654–665. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-4-654-665.

#### References

1. Platov, A.Yu, and Yu. I. Platov “Osovremenny`xmetodaxbiznes-planirovaniyaraboty` rechnogoflota” *VestnikVolzhskoj gosudarstvennoj akademii vodnogo transporta* 54 (2018): 110–115.
2. Antonova, Elena I, and Ilya AVasilev. “Planning cargo operations on cargo management branch of container terminal.” *Eksploatatsiya morskogo transporta* 2 (91)(2019): 3-8.
3. Yanchenko, A. A., T. E. Malikova, and D. A. Oskin. “Experimental studies of the impact of a container terminal zoning on its operation efficiency under the conditions of the free port Vladivostok.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 11.1 (2019): 57–67. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-1-57-67.
4. Kuznetsov, A. L., A. V. Kirichenko, A. D. Semenov, and A. A. Radchenko. “Planning simulation experiments in problems of studying operational strategies of container terminals.” *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seria: Morskaja tekhnika i tekhnologija* 4 (2020): 105–112. DOI: 10.24143/2073-1574-2020-4-105-112.
5. Malikova, T. E., and A. A. Yanchenko. “The system analysis of transport market participants interaction in the process of goods clearance at sea port.” *Nauchnye problem transporta Sibiri i Dalnego Vostoka* 4 (2015): 25–29.
6. Sakhnov D.YU. “Zadachi sistemnogo podkhoda organizatsii zavoza gruzov v zony Zapolyar'ya. //Nauchnye problem transporta Sibiri i Dalnego Vostoka 2 (2018): 7–11.
7. Yanchenko, Anna A., Tatiana E. Malikova, and Igor N. Volnov. “Developing the model for study of terminal zoning impact on its operating efficiency.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 9.4 (2017): 704–713. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-4-704-713.
8. Antonova, Elena I, and Ilya AVasilev. “Cargo



- shipping process modeling for cargo planning activities on container terminal.” *Vestnik Volzhskoj gosudarstvennoj akademii vodnogo transporta* 59(2019): 149-157.
9. Yanchenko, A.A., and T.E. Malikova. “A discrete-event model for operations in container terminals.” *Ekspluatatsiya morskogo transporta* 4 (85) (2017): 25–31.
  10. Kiselev V.S., A. V. Kirichenko, A. L. Kuznetsov, and Y. D. Kravets “The formation of the logic and information structure of the simulation model of ice operations of linear ice-breakers.” *Transportnoe delo Rossii* 6 (2019): 93-98.
  11. Kuznetsov, A. L., A. V. Kirichenko, and A. E. Slitsan. “Simulation for assessment of bulk cargo berths number.” *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Vol. 87. No. 6. IOP Publishing, 2017. DOI:10.1088/1755-1315/87/6/062010.
  12. Kuznetsov, A.L., A.V. Kirichenko, and J.J. Eglit. “Simulation Model of Container Land Terminals.” *TransNav* 12.2 (2018): 321–326. DOI: 10.12716/1001.12.02.13.
  13. Radochinskaia A.Zh., A.A. Yanchenko, and T.E. Malikova “Simulation of the Import Bound Cargo Traffic Processing at a Container Terminal in MATLAB Environment.” *V sbornike: Aehrokosmicheskoe priboro stroenie i ehkspluatatsionnye tekhnologii. Sbor-nikdokladovVtoroj Mezhdunarodnoj nauchnoj konferentsii. Sank-Peterburg, 2021 :144-149.*
  14. Timoshek, Elena S. “Solving the problems of fleet planning in MATLAB in the educational process of maritime universities.” *Vestnik gosudarstvennogo morskogo universiteta im. admirala F.F. Ushakova* 4(29) (2019): 25-30.
  15. Izotov O. A, and D. L. Golovtsov “Mathematical modeling of multimodal transportation in the far north” *Vestnik Astrakhansko gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya* (2016): 95-102.
  16. Timoshek, Elena S., and Tatiana E. Malikova. “Routing model for supply ships operating in the Arctic Region transport network.” *Vestnik Volzhskoj gosudarstvennoj akademii vodnogo transporta* 60 (2019): 213-222.
  17. Rumyancheva A.A. “Racional'naya rasstanovka flota s ispol'zovaniem indeksnogo metoda” *Ekonomika i predprinimatel'stvo* 7 (108) (2019): 1073–1076.
  18. Salko D.Y., and K.M. Iskandarov “The application of linear modeling while planning the shipping company operation.” *Vestnik gosudarstvennogo morskogo universiteta im. admirala F.F. Ushakova* 1 (1) (2012): 81-84.
  19. Lisienko, S. V., V. E. Valkov, N. S. Ivanko, and A. N. Boytsov. “Development of a mathematical model and optimization problem for the organization and management of fishing fleet during production of water biological resources on the example of fisheries case far eastern sardine (iwasi) and mackerel in the Far Eastern fisheries basin.” *Marine Intellectual Technologies* 4.2(46) (2019): 147–153.
  20. Dmitrienko, Dmitry V. “Operations research – a tool to improve the efficiency of management of water transport.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 9.5 (2017): 1131–1141. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-5-1131-1141.
  21. Malikova T. E. “Matematicheskie metody i modeli v upravlenii na morskome transporte: uchebnoe posobie.” *M. Izdatel'stvo Jurajt* (2018). – 373 s. - (Serija 1 : Universitety Rossii).
  22. Malikova, Tatiana E., and Elena S. Timoshek. “The results of numerical implementation of the task of arranging the fleet of a small shipping company.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 12.4 (2020): 654–665. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-4-654-665.

УДК 656.078

DOI: 10.34046/aumsuomt100/2

## ИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ ИНФРАСТРУКТУРНЫХ ОБЪЕКТОВ

*А.В. Трошина, старший преподаватель*

В современных рыночных условиях одним из конкурентных преимуществ деятельности предприятий железнодорожного и морского транспорта является эффективное взаимодействие их транспортных инфраструктур, которые должны проектироваться, строиться и модернизироваться одновременно. Соответственно, возникает проблема корреляции инфраструктур морских портов и припортовых железнодорожных станций. Для ее решения необходим методический подход, позволяющий выбрать и экономически обосновать наиболее рациональные инфраструктуры с использованием, в том числе BIM-технологий. В работе предложены и адаптированы к взаимодействию этих видов транспорта и их инфраструктур BIM-модели, применение которых будет способствовать синхронизации и модернизации