

УДК 639.2

Решение задачи оптимизации рыбодобывающей деятельности

С. В. Лисиенко, Н. С. Иванко*

*Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
г. Владивосток, Россия;
e-mail: ivns@mail.ru

Информация о статье Реферат

Поступила
в редакцию
07.06.2023;

получена
после доработки
27.06.2023;

принята к публикации
29.06.2023

Ключевые слова:
рыбодобывающая
деятельность,
водные биологические
ресурсы,
добывающий флот,
оптимизация,
математическая модель

Предлагается модель оптимального планирования рыбодобывающей деятельности, включающая в себя формирование биологического компонента (совокупности промысловых объектов, рассматриваемых с учетом их распределения по промысловым зонам) и технологического компонента (совокупность добывающих судов и технологий промысла). На основе этих компонент формируется технологическая цепочка "объект промысла – добывающее судно – технология добычи". Для каждого типа промыслового судна допустимо использование определенного вида (или нескольких видов) технологий промысла, напрямую связанных с промысловыми объектами, добыча которых осуществляется только с применением определенной технологии. Особое внимание в модели отводится задаче определения оптимального количественного состава добывающего флота. Критерием оптимизации является минимизация издержек, связанных с рыбодобывающей деятельностью специализированных судов при условии достижения заданных объемов добычи (вылова). Издержки напрямую связаны с используемыми типами судов, топливными расходами, которые зависят от порта базирования судна и времени, необходимого для осуществления погрузо-разгрузочных работ. В задаче оптимизации используются оценки средневзвешенного суточного вылова и промыслового времени для учета большинства издержек, связанных с процессом добычи водных биологических ресурсов. Алгоритм оптимизации рассмотрен на примере добычи кальмара командорского (*Berryteuthis magister*) в Северо-Курильской зоне, вылов которого ведется с использованием траловой технологии. Основными типами судов, осуществляющими добычу кальмара, являются крупнотоннажные и среднетоннажные суда.

Для цитирования

Лисиенко С. В. и др. Решение задачи оптимизации рыбодобывающей деятельности. Вестник МГТУ. 2023. Т. 26, № 3. С. 335–343. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2023-26-3-335-343>.

Solving the problem of optimizing fishing activities

Svetlana V. Lisienko, Nina S. Ivanko*

*Far Eastern State Technical Fishery University, Vladivostok, Russia;
e-mail: ivns@mail.ru

Article info
Received 07.06.2023;

received
in revised form
27.06.2023;

accepted 29.06.2023

Key words:
fishing activity,
aquatic biological
resources,
fishing fleet,
optimization,
mathematical model

Abstract

A model for optimal planning of fishing activities has been proposed. It includes the formation of a biological component (a set of fishing objects considered taking into account their distribution over fishing zones) and a technological component (a set of fishing vessels and fishing technologies). On the basis of these two components, the technological chain "field object – production vessel – production technology" is formed. For each type of fishing vessel, it is permissible to use a certain type (or several types) of fishing technologies that are directly related to fishing objects, their catch can be carried out only using a certain production technology. Particular attention in the model is given to the problem of determining the optimal quantitative composition of the production fleet. The optimization criterion is the minimization of the costs associated with the fishing activities of specialized vessels, provided that the specified volumes of catch are achieved. The costs are directly related to the types of vessels used, fuel costs depending on the vessel's home port and the time required for loading and unloading operations. In the optimization problem, estimates of the weighted average daily catch and fishing time are used to account for most of the costs associated with the extraction of aquatic biological resources. The optimization algorithm is considered on the example of the Commander squid (*Berryteuthis magister*) in the North Kuril zone. In the area under consideration, squid production is carried out using trawl technology. The main types of vessels engaged in squid harvesting are large-capacity and medium-capacity vessels.

For citation

Lisienko, S. V. et al. 2023. Solving the problem of optimizing fishing activities. *Vestnik of MSTU*, 26(3), pp. 335–343. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2023-26-3-335-343>.

Введение

Рыбодобывающая деятельность – сложный стохастический процесс, характеризующийся большим количеством управляемых и неуправляемых факторов различной природы. Одним из возможных способов исследования влияния неуправляемых факторов на сложный процесс является моделирование. При создании моделей с учетом неопределенностей используется математический аппарат, в частности методы линейного программирования (Андреев и др., 1975; Perez-Lechuga et al., 2006; Мельников, 2009; Мельников и др., 2010; Лисиенко и др., 2019, 2021б; Иванко, 2021; Осипов и др., 2021), а также аппарат динамического программирования (Андреев и др., 1975; Babcock et al., 2011; Forootani et al., 2020; Лисиенко и др., 2021). Частные модели управления промыслом на протяжении более чем века рассматривались различными авторами, к таким моделям можно отнести модель управления промыслом с учетом неуправляемых факторов (Андреев и др., 1975; Taleizadeh et al., 2013; Bakhrankova et al., 2014; Kuppulakshmi et al., 2021; Лисиенко и др., 2021а), интегральную стохастическую модель, учитывающую неопределенности процессов переработки сырья, при этом берется во внимание ухудшение качества рыбы и ограничения срока годности (Лисиенко и др., 2020; Finnis et al., 2022). Моделирование проблем логистики и способы их решения описаны в работах (Дверник, 2013; Taleizadeh et al., 2013; Мойсеев и др. 2016; 2018; Лисиенко, 2021).

Процесс добычи рыбы и морепродуктов является частью единого производственного процесса рыбохозяйственной деятельности, в состав которой входят такие процессы, как переработка, транспортировка и сбыт. В каждом из этих процессов присутствуют неопределенности, так, например, в системе "Добыча" присутствует неопределенность, связанная с суточным выловом. На величину суточного вылова оказывают влияние неуправляемые факторы, такие как гидрометеосостояние района промысла, биологическое состояние объекта промысла и другие. Влияние всех факторов ведет к появлению промысловых издержек, а их формирование находится в прямой зависимости от полученного суточного вылова. При моделировании для каждого типа судна выполняется расчет среднесуточного вылова (Лисиенко и др., 2021а).

При наличии оценки среднесуточного вылова $\bar{a}_{ср}$ для определенного типа судна на основании предложенной методики планирования рейсов можно произвести расчет промыслового времени $t_{пром}$ и потребного количества судов n данного типа для получения оптимального освоения промыслового объекта.

Цель работы – составить задачу оптимизации на основе метода исследования необходимых операций для выбора состава флота с минимизацией дополнительных издержек.

Материалы и методы

Ресурсный потенциал промысловой зоны представлен совокупностью промысловых объектов, которые условно можно разделить на две составляющие – совокупность промысловых объектов, на которые устанавливаются общие допустимые уловы (ПООД_і, ОДУемые объекты), и совокупность промысловых объектов, на которые общие допустимые уловы не устанавливаются (ПОНД_і, неОДУемые объекты). Обе эти совокупности формируют блок биологических компонент (биоблок) при моделировании системы "Промысловая зона".

Для каждого промыслового объекта устанавливаются технологические цепочки "объект промысла – добывающее судно – технология добычи" (Лисиенко, 2021).

Обозначим ДС_z – добывающее судно типа z, ТД_l – технология добычи. Все добывающие суда можно разделить на крупнотоннажные (обозначим КТДС_k), среднетоннажные (СТДС_N) и малотоннажные (МТДС_l).

В общем случае можно выделить 6 основных технологий добычи. Для судов КТДС_k независимо от вида промыслового объекта используется одна технология добычи, для удобства обозначим ее ТД₁, для судов МТДС_l и СТДС_N используемая технология добычи зависит от добываемого объекта. На рис. 1 представлена схема соотношения технологии добычи и совокупностей добывающих судов, разделенных по тоннажу.

Представленная схема является частью технологического компонента при моделировании системы "Промысловая зона" и формирует техноблок (Лисиенко, 2021).

Для дальнейшего удобства обозначим совокупность технологий добычи доступных для судов типа МТДС_l как ТД_l, для судов типа СТДС_N – ТД_N, а для судов типа КТДС_k – ТД_k. Далее под ТД_l, ТД_N, ТД_k будем понимать и использовать совокупности доступных технологий добычи. Тогда для ОДУемого промыслового объекта ПООД_і может быть использован тип добывающего судна МТДС_l или СТДС_N, или КТДС_k с определенной технологией добычи.

В процессе ведения добывающей деятельности имеют место затраты, связанные с издержками на добычу, переработку и транспортировку водных биологических ресурсов. Рассмотрим некоторое добывающее судно, его затраты можно представить как сумму таких сметных затрат (Лисиенко, 2013):

- заработная плата;
- стоимость орудий лова;
- затраты на топливо, смазочные и вспомогательные материалы (вода, лед, хладагенты);
- износ и ремонт орудий лова, промснаряжения и проминвентаря;
- затраты на тару и тарные материалы;
- амортизационные отчисления;

- затраты на вспомогательные материалы;
- транспортные расходы;
- цеховые и общезаводские расходы;
- внепроизводственные расходы;
- прочие производственные расходы.

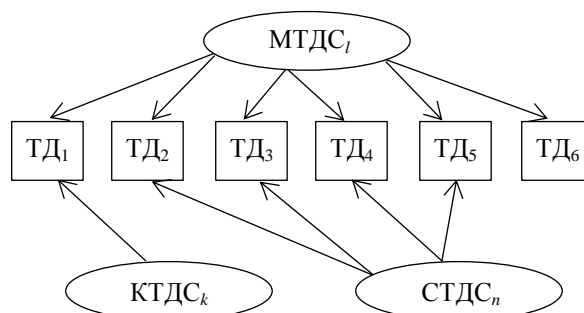


Рис. 1. Соотнесение технологий добычи и добывающих судов
 Fig. 1. Correlation of fishing technologies and fishing vessels

Для расчета каждого вида затрат из представленного списка определены формула и зависимости (Лисиенко, 2013). На основании данных зависимостей и анализа рассчитанных затрат для различных технологических цепочек "объект промысла – добывающее судно – технология добычи" можно сделать следующие выводы:

- все затраты зависят от выбранного промыслового объекта, некоторые (например, затраты на тару и тарные материалы) – напрямую от вида добываемого промыслового объекта, так как количество и вид тары зависит от имеющихся разрешений на добычу (вылов) промысловых объектов. Некоторые затраты (например, на топливо, смазочные и вспомогательные материалы) – косвенно, так как зависят от района промысла, в котором будет вестись добыча промыслового объекта, точнее от расстояния от порта базирования судна до места промысла. Также на сумму затрат оказывает влияние факт, устанавливаются ли на промысловый объект ОДУ;

- стоимость орудий лова, износ и ремонт зависят от выбранной технологии промысла. Затраты на топливо, смазочные и вспомогательные материалы зависят от выбранного добывающего судна, но для судов, относящихся к одному классу тоннажности, суммарные затраты близки по итоговым значениям.

Аналогичные выводы можно сделать по каждому показателю затрат и, таким образом, получить зависимость среднесуточных затрат добывающего судна от его тоннажности, выбранной технологии добычи и выбранного промыслового объекта.

Результаты и обсуждение

Обозначим среднесуточные затраты малотоннажного добывающего судна $МТДС_l$ с технологией добычи $ТД_l$ при добыче объекта $ПООД_i - Z_{cp}(МТДС_l, ТД_l, ПООД_i)$, среднесуточные затраты среднетоннажного добывающего судна $СТДС_N$ с технологией добычи $ТД_N$ при добыче объекта $ПООД_i - Z_{cp}(СТДС_N, ТД_N, ПООД_i)$, среднесуточные затраты крупнотоннажного добывающего судна $КТДС_k$ с технологией добычи $ТД_k$ при добыче объекта $ПООД_i - Z_{cp}(КТДС_k, ТД_k, ПООД_i)$. Обозначив аналогичным образом затраты добывающих судов, ведущих промысел неОДУемых объектов $ПОНД_j$, получаем

$$\begin{aligned} & Z_{cp}(МТДС_l, ТД_l, ПОНД_j); \\ & Z_{cp}(СТДС_N, ТД_N, ПОНД_j); \\ & Z_{cp}(КТДС_k, ТД_k, ПОНД_j). \end{aligned}$$

Обозначим n_l количество добывающих судов типа $МТДС_l$, n_N – количество добывающих судов типа $СТДС_N$, n_k – количество добывающих судов типа $КТДС_k$.

Для каждой технологической цепочки "объект промысла – добывающее судно – технология добычи" определяется средневзвешенный суточный вылов объекта, например, для малотоннажного судна $\tilde{a}_{cp}(МТДС_l, ТД_l, ПООД_i)$, и соответствующее время промысла $t_{пром}(МТДС_l, ТД_l, ПООД_i)$.

Таким образом, затраты малотоннажного судна $МТДС_l$ за сутки промысла на 1 т добытого объекта составляют

$$\frac{Z_{cp}(МТДС_l, ТД_l, ПООД_i)}{\tilde{a}_{cp}(МТДС_l, ТД_l, ПООД_i)}$$

За рейс эти затраты составят

$$\frac{Z_{cp}(МТДС_l, ТД_l, ПООД_i) t_{пром}(МТДС_l, ТД_l, ПООД_i)}{\tilde{a}_{cp}(МТДС_l, ТД_l, ПООД_i)}$$

Если будет использовано n_i судов, то их затраты составят

$$\frac{Z_{cp}(MTDC_l, TД_l, POOD_i)t_{пром}(MTDC_l, TД_l, POOD_i)}{\tilde{a}_{cp}(MTDC_l, TД_l, POOD_i)}n_i.$$

Так как добыча объекта может вестись судами различного типа, получаем суммарные затраты добычи объекта POOD_i

$$\begin{aligned} & \sum_l \frac{Z_{cp}(MTDC_l, TД_l, POOD_i)t_{пром}(MTDC_l, TД_l, POOD_i)}{\tilde{a}_{cp}(MTDC_l, TД_l, POOD_i)}n_i + \\ & + \sum_N \frac{Z_{cp}(CTDC_N, TД_N, POOD_i)t_{пром}(CTDC_N, TД_N, POOD_i)}{\tilde{a}_{cp}(CTDC_N, TД_N, POOD_i)}n_N + \\ & + \sum_k \frac{Z_{cp}(KTDC_k, TД_k, POOD_i)t_{пром}(KTDC_k, TД_k, POOD_i)}{\tilde{a}_{cp}(KTDC_k, TД_k, POOD_i)}n_k. \end{aligned}$$

Необходимо минимизировать полученные затраты при условии освоения ОДУ на определенный процент согласно стратегии развития. Пусть f_i – процент освоения ОДУ, получаем ограничение

$$\begin{aligned} & \sum_l \tilde{a}_{cp}(MTDC_l, TД_l, POOD_i)t_{пром}(MTDC_l, TД_l, POOD_i)n_l + \\ & + \sum_N \tilde{a}_{cp}(CTDC_N, TД_N, POOD_i)t_{пром}(CTDC_N, TД_N, POOD_i)n_N + \\ & + \sum_k \tilde{a}_{cp}(KTDC_k, TД_k, POOD_i)t_{пром}(KTDC_k, TД_k, POOD_i)n_k \geq f_i \cdot OДУ_i. \end{aligned}$$

Задача имеет вид

$$\begin{aligned} & \left. \begin{aligned} & \sum_i \left(\sum_l \frac{Z_{cp}(MTDC_l, TД_l, POOD_i)t_{пром}(MTDC_l, TД_l, POOD_i)}{\tilde{a}_{cp}(MTDC_l, TД_l, POOD_i)}n_l + \right. \\ & + \sum_N \frac{Z_{cp}(CTDC_N, TД_N, POOD_i)t_{пром}(CTDC_N, TД_N, POOD_i)}{\tilde{a}_{cp}(CTDC_N, TД_N, POOD_i)}n_N + \\ & \left. + \sum_k \frac{Z_{cp}(KTDC_k, TД_k, POOD_i)t_{пром}(KTDC_k, TД_k, POOD_i)}{\tilde{a}_{cp}(KTDC_k, TД_k, POOD_i)}n_k \right) \rightarrow \min. \end{aligned} \right\} \\ & \sum_l \tilde{a}_{cp}(MTDC_l, TД_l, POOD_i)t_{пром}(MTDC_l, TД_l, POOD_i)n_l + \\ & + \sum_N \tilde{a}_{cp}(CTDC_N, TД_N, POOD_i)t_{пром}(CTDC_N, TД_N, POOD_i)n_N + \\ & + \sum_k \tilde{a}_{cp}(KTDC_k, TД_k, POOD_i)t_{пром}(KTDC_k, TД_k, POOD_i)n_k \geq f_i \cdot OДУ_i, i = 1, 2, \dots, \end{aligned}$$

где $n_l, n_N, n_k \geq 0$ – целые числа.

Для неОДУемых объектов ограничение на объем освоения ОДУ заменяется на плановые показатели освоения квот $f_j \cdot OK_j$, в этом случае задача принимает вид

$$\begin{aligned} & \left. \begin{aligned} & \sum_j \left(\sum_l \frac{Z_{cp}(MTDC_l, TД_l, ПОНД_j)t_{пром}(MTDC_l, TД_l, ПОНД_j)}{\tilde{a}_{cp}(MTDC_l, TД_l, ПОНД_j)}n_l + \right. \\ & + \sum_N \frac{Z_{cp}(CTDC_N, TД_N, ПОНД_j)t_{пром}(CTDC_N, TД_N, ПОНД_j)}{\tilde{a}_{cp}(CTDC_N, TД_N, ПОНД_j)}n_N + \\ & \left. + \sum_k \frac{Z_{cp}(KTDC_k, TД_k, ПОНД_j)t_{пром}(KTDC_k, TД_k, ПОНД_j)}{\tilde{a}_{cp}(KTDC_k, TД_k, ПОНД_j)}n_k \right) \rightarrow \min. \end{aligned} \right\} \\ & \sum_l \tilde{a}_{cp}(MTDC_l, TД_l, ПОНД_j)t_{пром}(MTDC_l, TД_l, ПОНД_j)n_l + \\ & + \sum_N \tilde{a}_{cp}(CTDC_N, TД_N, ПОНД_j)t_{пром}(CTDC_N, TД_N, ПОНД_j)n_N + \\ & + \sum_k \tilde{a}_{cp}(KTDC_k, TД_k, ПОНД_j)t_{пром}(KTDC_k, TД_k, ПОНД_j)n_k \geq f_j \cdot OK_j, j = 1, 2, \dots, \end{aligned}$$

где $n_l, n_N, n_k \geq 0$ – целые числа.

Задача оптимизации рыбодобывающей деятельности по составу добывающего флота при условии минимизации промысловых издержек и для достижения полного освоения ОДУ представлена на рис. 2.

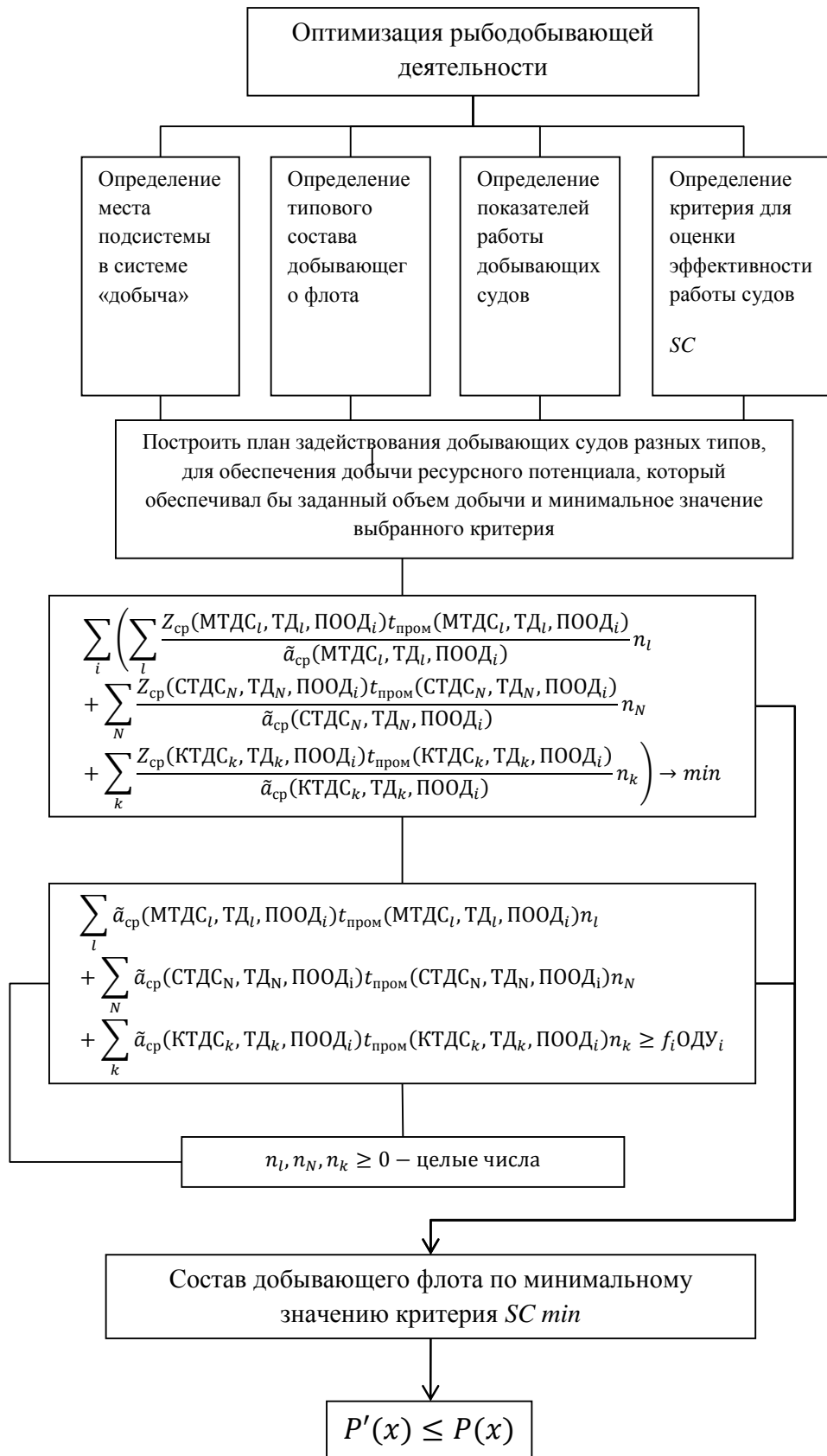


Рис. 2. Задача оптимизации рыбодобывающей деятельности при минимизации промысловых издержек
 Fig. 2. The task of optimizing the fishing activities while minimizing fishing costs

Аналогичный вид имеет задача оптимизации рыбодобывающей деятельности по составу добывающего флота при условии минимизации промысловых издержек и для достижения показателей квот добычи (вылова).

Схема обобщенной оптимизационной модели планирования рыбодобывающей деятельности в индустриальной логистической системе "Промысловая зона" представлена на рис. 3.

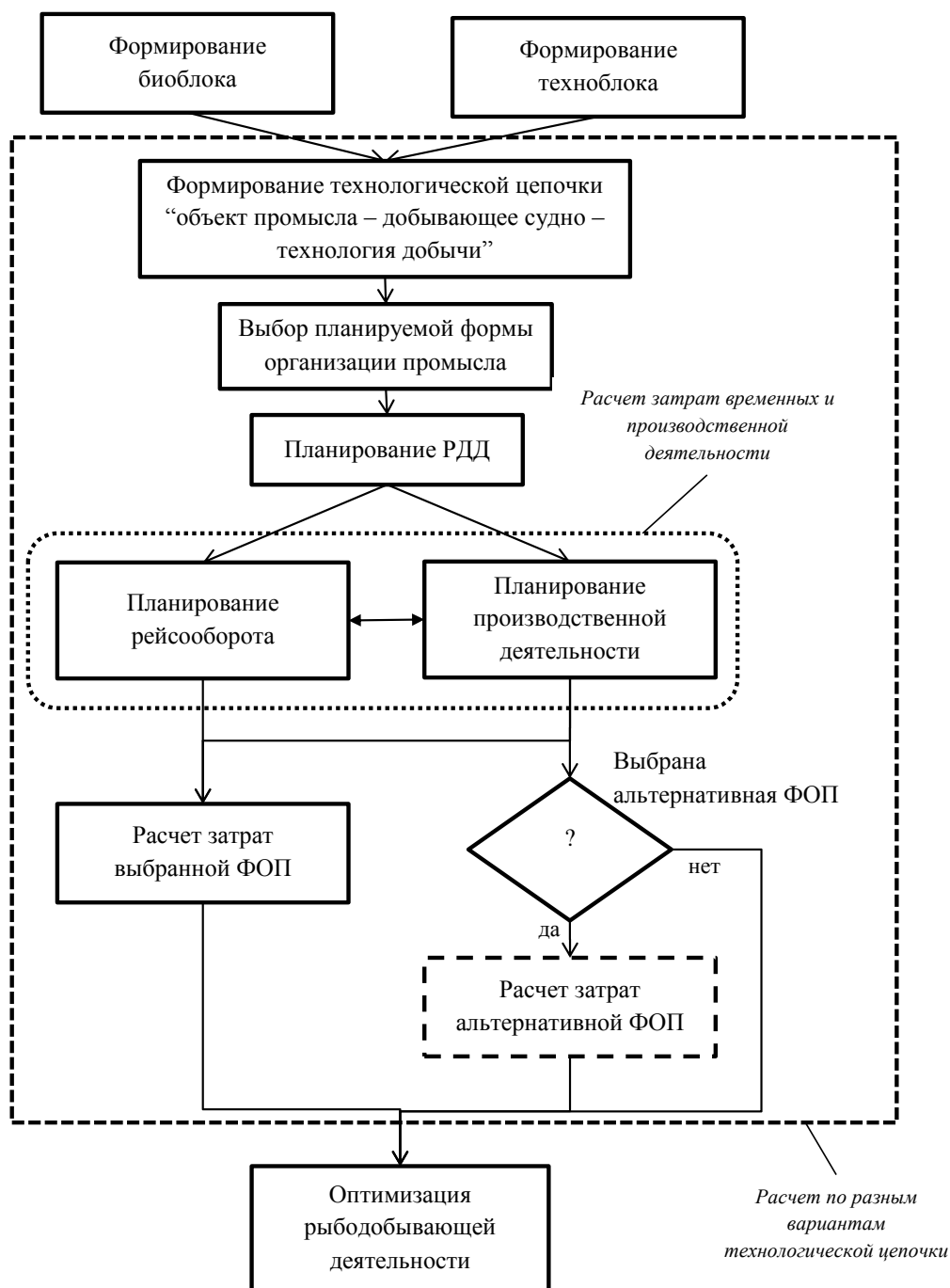


Рис. 3. Обобщенная модель планирования рыбодобывающей деятельности
Fig. 3. The generalized model of fishing activity planning

В Дальневосточном рыбохозяйственном бассейне ведется добыча двух видов кальмаров: командорского кальмара (*Beryteuthis magister*) и тихоокеанского кальмара (*Todarodes pacificus*). Проведенный ранее анализ добычи кальмаров (Иванко, 2021) показал, что промысел данного биоресурса ведется при задействовании трех видов судов БМРТ, СРТМ и РТМ с использованием траловых орудий лова.

Для примера рассмотрим добычу кальмара командорского (далее – кальмар) в Северо-Курильской зоне. В этой зоне кальмар является объектом, на который устанавливается общий допустимый улов (ОДУ).

Значение ОДУ с 2015 г. ежегодно составляет 85 000 т и остается постоянным. Период промысловой доступности кальмара с мая по ноябрь. Почти 80 % объемов добычи кальмара приходится на Северо-Курильскую зону.

Так как кальмар находится в смешанных скоплениях с минтаем, оптимальное время тралений – это ночной период (Осипов, 2022). Улов за одно траление в указанный суточный период может составить 10–15 т, а за рассматриваемый временной интервал может быть выполнено до 4-х тралений. Таким образом, суточный вылов при оптимальном использовании временных ресурсов может достигать 40–60 т в зависимости от типа судна.

Сформированы три технологические цепочки:

БМРТ – траловая технология добычи с использованием разноглубинных тралов – кальмар;

СРТМ – траловая технология добычи с использованием разноглубинных тралов – кальмар;

РТМ – траловая технология добычи с использованием разноглубинных тралов – кальмар.

В качестве основной формы организации промысла для каждого типа судна выбрана автономная форма, она не требует привлечения дополнительно транспортных судов и на данном этапе развития рыболовства является наиболее часто используемой.

Для решения оптимизационной задачи расчета необходимого количества судов трех типов с учетом периода промысловой доступности кальмара и при условии оптимального планирования рейсооборота судна были приняты следующие значения для среднесуточных уловов каждым судном: БМРТ – 39,7 т, СРТМ – 30,3 т, РТМ – 16,3 т. Планируемые значения среднесуточного вылова построены на основании статистических промысловых данных за пятилетний период и с учетом оптимального суточного времени траления для добычи кальмара.

Результат решения оптимизационной задачи следующий: общее количество судов, необходимое для освоения ОДУ более чем на 95 %, составляет 26, из них 5 крупнотоннажных судов (2 судна типа БМРТ и 3 типа РТМ) и 21 среднетоннажное судно типа СРТМ. Ожидаемый суммарный вылов составит 84 580 т, что соответствует освоению имеющегося ОДУ для Северо-Курильской зоны на 99,5 %.

Заключение

Представленная схема отображает комплекс объектов и процессов проектирования, моделирования, последовательность выполнения планирования и проведения расчетов с целью оптимизации рыбодобывающего процесса по определению состава добывающего флота для достижения полного освоения ОДУ и (или) плановых показателей квот добычи (вылова) путем максимизации объемов вылова при условии минимизации промысловых издержек.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

- Андреев М. Н., Студенецкий С. А. Оптимальное управление на промысле. М. : Пищевая промышленность, 1975. 288 с.
- Дверник А. В. Технология и управление промышленным рыболовством. М. : МОРКНИГА, 2013. 318 с.
- Иванко Н. С. Моделирование распределения сырья по видам обработки на добывающем судне с законченным производственным циклом // Научные труды Дальрыбвтуза. 2021. Т. 58, № 4. С. 16–24. EDN: XVPHMH.
- Лисиенко С. В. Моделирование системы "Промысел" на основе биотехнологического дуализма // Вестник Астраханского государственного технического университета. Сер. Рыбное хозяйство. 2021. № 3. С. 94–101. DOI: <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2021-3-94-101>. EDN: QWZIJL.
- Лисиенко С. В. Теоретические основы формирования логистического подхода, как методологии совершенствования организации и управления промысловыми системами при ведении добычи ВБР // Рыбное хозяйство. 2013. № 5. С. 75–78.
- Лисиенко С. В., Вальков В. Е., Иванко Н. С., Бойцов А. Н. Разработка математической модели и оптимизационной 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 // Морские интеллектуальные технологии. 2019. № 4–2(46). С. 147–153. EDN: RGMIRK.
- Лисиенко С. В., Иванко Н. С. Моделирование процессов ведения рыбодобывающей деятельности в многовидовой промысловой системе "Промысловая зона рыбохозяйственного бассейна" при статической постановке оптимизационной задачи (на примере Северо-Курильской зоны Дальневосточного рыбохозяйственного бассейна) // Морские интеллектуальные технологии. 2020. № 3–1(49). С. 253–259. DOI: <https://doi.org/10.37220/mit.2020.49.3.034>. EDN: OHGLRN.
- Лисиенко С. В., Иванко Н. С. Планирование рейсооборота добывающих судов // Морские интеллектуальные технологии. 2021а. № 2–1(52). С. 200–208. DOI: <https://doi.org/10.37220/mit.2021.52.2.028>. EDN: UNJISL.

- Лисиенко С. В., Иванко Н. С. Формирование и оптимизация издержек производственной рыбодобывающей деятельности судов // *Морские интеллектуальные технологии*. 2021б. № 4–1(54). С. 227–231. DOI: <https://doi.org/10.37220/mit.2021.54.4.056>. EDN: ODEEDZ.
- Мельников В. Н. Общая характеристика основных видов математических моделей теории рыболовства // *Вестник Астраханского государственного технического университета. Сер. Рыбное хозяйство*. 2009. № 1. С. 17–22. EDN: KHORID.
- Мельников В. Н., Мельников А. В. Совершенствование общей теории промышленного рыболовства // *Вестник Астраханского государственного технического университета. Сер. Рыбное хозяйство*. 2010. № 1. С. 42–53. EDN: LJMVLVLP.
- Мойсеенко С. С., Мейлер Л. Е. Рыбопромышленная логистика. Калининград : БГРАФ, 2015. 174 с.
- Мойсеенко С. С., Мороз Е. О. Оптимизация системы транспортного обслуживания рыболовных судов // *Морские интеллектуальные технологии*. 2018. № 4–3(42). С. 168–176. EDN: YXUNQL.
- Осипов Е. В. Промысел командорского кальмара BERYTEUTHIS MAGISTER (Berry, 1913) в российской зоне японского моря // *Рыбное хозяйство*. 2022. № 2. С. 42–45 DOI: <https://doi.org/10.37663/0131-6184-2022-2-42-45>. EDN: DUWGDH.
- Осипов Е. В., Павлов Г. С. Технология тралового промысла тихоокеанского кальмара // *Рыбное хозяйство*. 2021. № 3. С. 108–111. DOI: <https://doi.org/10.37663/0131-6184-2021-3-108-111>. EDN: ICAYCV.
- Babcock E., Pikitch E. A dynamic programming model of fishing strategy choice in a multispecies trawl fishery with trip limits // *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 2011. Vol. 57, Iss. 2. P. 357–370. DOI: <https://doi.org/10.1139/f99-257>.
- Bakhrankova K., Midthun K. T., Uggen K. T. Stochastic optimization of operational production planning for fisheries // *Fisheries Research*. 2014. Vol. 157. P. 147–153. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2014.03.018>.
- Finnis J., Reid-Musson E. Managing weather & fishing safety: Marine meteorology and fishing decision-making from a governance and safety perspective // *Marine Policy*. 2022. Vol. 142. Article number: 105120. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2022.105120>.
- Forootani A., Iervolino R., Tipaldi M., Neilson J. Approximate dynamic programming for stochastic resource allocation problems // *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*. 2020. Vol. 7, Iss. 4. P. 975–990. DOI: <https://doi.org/10.1109/jas.2020.1003231>.
- Kuppulakshmi V., Sugapriya C., Nagarajan D. Economic fish production inventory model for perishable fish items with the deterioration rate and the added value under pentagonal fuzzy number // *Complex & Intelligent Systems*. 2021. Vol. 7. P. 417–428. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40747-020-00222-8>.
- Perez-Lechuga G., Alvarez-Suarez M. M., Garnica-Gonzalez J., Niccolas-Morales H. [et al.]. Stochastic linear programming to optimize some stochastic systems // *Proceedings of the 10th WSEAS International Conference on SYSTEMS, Vouliagmeni, Athens, Greece, 2006*. P. 313–318. URL: file:///C:/Users/inยุกinamv/Downloads/Stochastic_linear_programming_to_optimize_some_sto.pdf.
- Taleizadeh A. A., Wee H.-M., Jalali-Naini S. G. Economic production quantity model with repair failure and limited capacity // *Applied Mathematical Modelling*. 2013. Vol. 37, Iss. 5. P. 2765–2774. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apm.2012.06.006>.

References

- Andreev, M. N., Studenetsky, S. A. 1975. Optimal control in the field. Moscow. (In Russ.)
- Dvernik, A. V. 2013. Technology and management of industrial fisheries. Moscow. (In Russ.)
- Ivanko, N. S. 2021. Modeling the distribution of raw material by type of processing on a mining vessel with a complete production cycle. *Scientific Journal of the Far East State Technical Fisheries University*, 58(4), pp. 16–24. EDN: XVPMMH. (In Russ.)
- Lisienko, S. V. 2021. Modeling of the "Promysel" system on the basis of biotechnological dualism. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry*, 3, pp. 94–101. DOI: <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2021-3-94-101>. EDN: QWZIJL. (In Russ.)
- Lisienko, S. V. 2013. Theoretical basis for logistic approach as a methodology for improvement of organization and management of fishing systems when harvesting aquatic living resources. *Fisheries*, 5, pp. 75–78. (In Russ.)
- Lisienko, S. V., Valkov, V. E., Ivanko, N. S., Boytsov, A. N. 2019. Development of a mathematical model and optimization problem for the organization and management of the fishing fleet in the production of aquatic biological resources on the example of the Far Eastern sardine (ivasi) and mackerel fisheries in the Far Eastern fishery basin. *Marine Intellectual Technologies*, 4–2(46), pp. 147–153. EDN: RGMIRK. (In Russ.)
- Lisienko, S. V., Ivanko, N. S. 2020. Modeling the processes of conducting fishing activities in the multi-species fishing system "fishing zone of the fishery basin" with a static formulation of the optimization problem (on the example of the North Kuril zone of the Far Eastern fishery basin). *Marine Intellectual Technologies*, 3–1(49), pp. 253–259. DOI: <https://doi.org/10.37220/mit.2020.49.3.034>. EDN: OHGLRN. (In Russ.)
- Lisienko, S. V., Ivanko, N. S. 2021a. Planning of the voyage of producing vessels. *Marine Intellectual Technologies*, 2–1(52), pp. 200–208. DOI: <https://doi.org/10.37220/mit.2021.52.2.028>. EDN: UNJISL. (In Russ.)

- Lisienko, S. V., Ivanko, N. S. 2021b. Formation and optimization of the costs of production fishing activities of vessels. *Marine Intellectual Technologies*, 4–1(54), pp. 227–231. DOI: <https://doi.org/10.37220/mit.2021.54.4.056>. EDN: ODEEDZ. (In Russ.)
- Melnikov, V. N. 2009. General characteristics of the main types of mathematical models of the theory of fishing. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry*, 1, pp. 17–22. EDN: KHORID. (In Russ.)
- Melnikov, V. N., Melnikov, A. V. 2010. Improving the general theory of industrial fishing. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry*, 1, pp. 42–53. EDN: LJMVLV. (In Russ.)
- Moiseenko, S. S., Meyler, L. E. 2016. Fishing logistics. Kaliningrad. (In Russ.)
- Moiseenko, S. S., Moroz, E. O. 2018. Optimization of the transport service system for fishing vessels. *Marine Intellectual Technologies*, 4–3(42), pp. 168–176. EDN: YXUNQL. (In Russ.)
- Osipov, E. V. 2022. Fishery of the Commander squid BERYTEUTHIS MAGISTER (berry, 1913) in the Russian zone of the Sea of Japan. *Fisheries*, 2, pp. 42–45. DOI: <https://doi.org/10.37663/0131-6184-2022-2-42-45>. EDN: DUWGDH. (In Russ.)
- Osipov, E. V., Pavlov, H. S. 2021. Pacific flying squid trawling technology. *Fisheries*, 3, pp. 108–111. DOI: <https://doi.org/10.37663/0131-6184-2021-3-108-111>. EDN: ICAYCV. (In Russ.)
- Babcock, E., Pikitich, E. 2011. A dynamic programming model of fishing strategy choice in a multispecies trawl fishery with trip limits. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 57(2), pp. 357–370. DOI: <https://doi.org/10.1139/f99-257>.
- Bakhrankova, K., Midthun, K. T., Uggen, K. T. 2014. Stochastic optimization of operational production planning for fisheries. *Fisheries Research*, 157, pp. 147–153. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2014.03.018>.
- Finnis, J., Reid-Musson, E. 2022. Managing weather & fishing safety: Marine meteorology and fishing decision-making from a governance and safety perspective. *Marine Policy*, 142. Article number: 105120. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2022.105120>.
- Forootani, A., Iervolino, R., Tipaldi, M., Neilson, J. 2020. Approximate dynamic programming for stochastic resource allocation problems. *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, 7(4), pp. 975–990. DOI: <https://doi.org/10.1109/jas.2020.1003231>.
- Kuppulakshmi, V., Sugapriya, C., Nagarajan, D. 2021. Economic fish production inventory model for perishable fish items with the deterioration rate and the added value under pentagonal fuzzy number. *Complex & Intelligent Systems*, 7, pp. 417–428. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40747-020-00222-8>.
- Perez-Lechuga, G., Alvarez-Suarez, M. M., Garnica-Gonzalez, J., Niccolas-Morales, H. et al. 2006. Stochastic linear programming to optimize some stochastic systems. *Proceedings of the 10th WSEAS International Conference on SYSTEMS*, Vouliagmeni, Athens, Greece, 2006, pp. 313–318. URL: file:///C:/Users/inuyukinamv/Downloads/Stochastic_linear_programming_to_optimize_some_sto.pdf.
- Taleizadeh, A. A., Wee, H.-M., Jalali-Naini, S. G. 2013. Economic production quantity model with repair failure and limited capacity. *Applied Mathematical Modelling*, 37(5), pp. 2765–2774. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apm.2012.06.006>.

Сведения об авторах

Лисенко Светлана Владимировна – ул. Луговая, 52б, г. Владивосток, Россия, 690087; Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, д-р техн. наук, доцент; e-mail: lisienkosv@mail.ru

Svetlana V. Lisienko – 52b Lugovaya Str., Vladivostok, 690087; Far Eastern State Technical Fishery University, Dr Sci. (Engineering), Associate Professor; e-mail: lisienkosv@mail.ru

Иванко Нина Сергеевна – ул. Луговая, 52б, г. Владивосток, Россия, 690087; Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, ст. преподаватель; e-mail: ivns@mail.ru

Nina S. Ivanko – 52b Lugovaya Str., Vladivostok, 690087; Far Eastern State Technical Fishery University, Senior Lecturer; e-mail: ivns@mail.ru