

Научные труды Дальрыбвтуза. 2024. Т. 70, № 4. С. 141–147.
Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University. 2024. Vol. 70, no 4.
P. 141–147.

РЫБНОЕ ХОЗЯЙСТВО, АКВАКУЛЬТУРА И ПРОМЫШЛЕННОЕ РЫБОЛОВСТВО

Научная статья
УДК 639.2
DOI: doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2024-70-14
EDN: RPFVUH

Решение оптимизационной задачи распределения судов на промысле кальмара командорского

Нина Сергеевна Иванко¹, Светлана Владимировна Лисиенко²

^{1, 2} Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
Владивосток, Россия

¹ ivns@mail.ru

² lisienkosv@mail.ru

Аннотация. Рассматривается постановка и решение оптимизационной задачи распределения добывающего флота, работающего на добыче командорского кальмара в промысловых зонах Дальневосточного рыбохозяйственного бассейна. Оптимизация выполняется с учетом особенностей расположения кальмара в местах обитания.

Ключевые слова: командорский кальмар, период промысловой доступности, средней суточный вылов, добывающий флот, годовой режим работы судна

Для цитирования: Иванко Н. С., Лисиенко С. В. Решение оптимизационной задачи распределения судов на промысле кальмара командорского // Научные труды Дальрыбвтуза. 2024. Т. 70, № 4. С. 141–147.

FISHERIES, AQUACULTURE AND INDUSTRIAL FISHERIES

Original article

Solving the optimization problem of ship allocation in the *Berryteuthis magister* fishery

Nina S. Ivanko¹, Svetlana V. Lisienko²

^{1,2} Far Eastern State Technical Fisheries University, Vladivostok, Russia

¹ ivns@mail.ru

² lisienkosv@mail.ru

Abstract. The article considers the formulation and solution of the optimization problem of the distribution of the mining fleet working on the extraction of commander squid in the fishing zones of the Far Eastern fisheries basin. Optimization is performed taking into account the peculiarities of the squid's location in habitats.

Keywords: *Berryteuthis magister*, fishing availability period, average daily catch, mining fleet, annual operation of the vessel

For citation: Ivanko N. S., Lisienko S. V. Solving the optimization problem of ship allocation in the *Berryteuthis magister* fishery. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University*. 2024; 70(4): 141–147. (In Russ.).

Введение

Кальмар командорский (далее кальмар) – важный промысловый объект, это единственный вид кальмаров, на добычу (вылов) которого устанавливаются общие допустимые уловы (ОДУ). Добыча кальмара ведется в пяти промысловых зонах Дальневосточного рыбохозяйственного бассейна [1]. Основной зоной по объемам вылова является Северо-Курильская зона.

По результатам анализа вылова кальмара в Северо-Курильской и Южно-Курильской зонах, а также в Петропавловско-Командорской подзоне Восточно-Камчатской зоны за 2023 г. был сделан вывод о недоосвоении промыслового объекта, так как процент освоения ОДУ составил 94,9, 96,69 и 6,37 % соответственно. В Западно-Беринговоморской зоне, Карагинской подзоне Восточно-Камчатской зоны и подзоне Приморья зоны Японского моря, в которых на добычу кальмара устанавливаются рекомендованные объему вылова, наблюдались объемы добычи значительно ниже ожидаемых [2, 3].

Выявление периодов промысловой доступности кальмара в каждой зоне, в которой ведется его добыча, анализ состава добывающего флота позволили сделать вывод о необходимости использования среднетоннажного и малотоннажного флота для добычи кальмара [4].

Объекты и методы исследований

Главной целью оптимального управления имеющимся в наличии добывающим флотом на промысле кальмара является максимизация вылова и достижение освоения ОДУ и квот на вылов на уровне 95–98 % по всем промысловым зонам.

Поставленная задача решается в два этапа. Первый этап – это распределение промыслового флота по зонам промысла в соответствии с полученными квотами и периодом промысловой доступности кальмара в каждой зоне. Оптимизационная задача, соответствующая этому этапу, рассмотрена в работе [2]. Решение оптимизационной задачи реализовано в виде программы на языке программирования python [5]. Второй этап – это распределение промыслового флота в зоне по промысловым квадратам согласно пространственно-временной миграции командорского кальмара как биологического объекта [6].

Характерная особенность расположения кальмара в местах обитания, а также многолетний опыт его добычи (вылов) способствовали формированию траловых дорог, вдоль которых добывающие суда ведут промысел последовательно друг за другом.

Принимая во внимание продолжительность траления и специфику работы нескольких судов в районах скопления кальмара, среднее число тралений в сутки для одного судна составляет 4. В некоторых ситуациях это число может быть увеличено до 5, если условия благоприятны, например, кальмар ведёт себя спокойно, не совершает резких перемещений и движется в направлении, оптимальном для облова. Также возможны случаи, когда число тралений сокращается, например, если требуется ремонт трала после его повреждения при зацеплении за дно.

Таким образом, одновременно на одной «траловой дороге» могут вести промысел 2–4 судна в сутки. Если количество судов на траловой дороге два, то оба судна могут выполнить 5 тралений за сутки, тем самым увеличивая средний суточный вылов. Если количество судов на траловой дороге три, то каждое судно за сутки может выполнить не более 4 тралений, что примерно соответствует среднему суточному объему добычи кальмара за сутки промысла. Если количество судов увеличивается до 5, то количество тралений за сутки промысла для каждого судна составит не более двух, что значительно снижает суточный вылов судна, а значит, суммарный объем вылова за время промысла будет значительно ниже.

В зависимости от имеющейся у предприятия-судовладельца доли квоты на промысле командорского кальмара в рассматриваемой промысловой зоне и периода промысловой доступности кальмара в данной зоне для судна может быть определен один или два рейса на промысел кальмара в течение одного промыслового года. Если на промысел кальмара будет достаточно одного рейса, то второй рейс может быть запланирован для добычи (вылова) иных промысловых объектов.

В зависимости от промысловой зоны количество траловых дорог для добычи кальмара разное. Основной зоной добычи командорского кальмара является Северо-Курильская зона, в этой зоне выделяются три основные траловые дороги, в остальных промысловых зонах, в которых ведется промысел кальмара, выделяются по одной траловой дороге.

Таким образом, при проведении оптимизации распределения судов на промысел кальмара внутри промысловой зоны в течение календарного года с учетом периода промысловой доступности кальмара и годового режима работы промыслового судна необходимо учитывать, какое количество судов ежедневно может вести промысел, при необходимости оптимизации вылова кальмара.

Суммарный вылов кальмара в зоне определяется добычей кальмара с каждой траловой дороги.

Пусть $y = y(z)$ – траловая дорога y в зоне z .

Пусть ks_{ity} – число среднетоннажных судов типа i , относящихся к предприятию t и направленных на добычу кальмара на траловую дорогу y .

Пусть km_{jty} – число малотоннажных судов типа j , относящихся к предприятию t и направленных на добычу кальмара на траловую дорогу y .

dps_{itz} – количество судосутков, в течение которых среднетоннажные суда типа i от предприятия t ведут промысел в зоне z .

dpm_{jtz} – количество судосутков, в течение которых малотоннажные суда типа j от предприятия t ведут промысел в зоне z .

Значение dps_{itz} и dpm_{jtz} для каждой промысловой зоны z и каждого типа судна и предприятия, к которому оно относится, получены при решении первой оптимизационной задачи и используются для решения второй оптимизационной задачи.

$FSO_y(z, ks_{ity}, dps_{itz}, km_{jty}, dpm_{jtz})$ – суммарный вылов, полученный с траловой дороги y промысловой зоны z всеми судами, распределенными для промысла в данной зоне.

$FSO(z)$ – суммарный вылов, полученный с промысловой зоны z всеми судами, распределенными для промысла в данной зоне.

Получаем задачу

$$FSO(z) = \sum_y FSO_y(z, ks_{ity}, dps_{itz}, km_{jty}, dpm_{jtz}) \rightarrow \max$$

$$\begin{cases} ks_{ity} \leq \frac{dps_{itz}}{ro_{iz}} \\ km_{jty} \leq \frac{dpm_{jtz}}{ro_{jz}} \\ ks_{ity}, km_{jty} \geq 0 \end{cases}$$

Для решения полученной задачи динамического программирования используется метод прямой прогонки, но в силу специфики задачи, а именно непрерывность работы добывающих судов на промысле с учетом годового режима работы судна в целом необходимо найти последовательность управляющих состояний, каждое из которых будет решением данной задачи, а затем методом прогонки найти оптимальное решение.

Для поиска последовательности управляющих состояний используется также задача динамического программирования.

Каждая функция $FSO_y(z, ks_{ity}, dps_{itz}, km_{jty}, dpm_{jtz})$ имеет некоторые значения при известном наборе стационарных состояний. Обозначим каждое стационарное состояние ξ_k . Все состояния известны и зависят от задействованных добывающих судов. Результат перехода от одного состояния к другому – это выполнение управляющих воздействий на систему ведения промысла в целом.

Значение функции FSO_y на новом шаге k зависит от стационарного состояния предыдущего шага $k - 1$.

Таким образом, указанную зависимость можно записать в виде

$$FSO_y(z, ks_{ity}, dps_{itz}, km_{jty}, dpm_{jtz}, \xi_k) = \max_{\xi} FSO_y(z, ks_{ity}, dps_{itz}, km_{jty}, dpm_{jtz}, \xi_{k-1}).$$

Так как количество состояний конечно и определено, то за определенное количество шагов система достигает своего оптимального значения.

Состояния системы определяются несколькими показателями:

- количеством траловых дорог в промысловой зоне;
- количеством задействованных добывающих судов на каждой траловой дороге;
- средним суточным выловом для рассматриваемой промысловой зоны.

Для Северо-Курильской зоны средний суточный вылов для добывающих судов типа СРТМ составляет 24,1 т, для судов типа СТР – 12 т, для судов типа ТМС – 7,2 т, для судов типа РС – 6 т за весь период промысловой доступности кальмара с учетом многолетних наблюдений за промыслом кальмара в рассматриваемой промысловой зоне.

Средний суточный вылов каждого судна при задействовании определенного количества судов для промысла на одной траловой дороге напрямую зависит от количества судов, их типа и месяца работы судна.

Если количество задействованных судов 1 или 2, то каждое судно может выполнить 5 тралений в сутки, таким образом, средний суточный вылов повышается на 25 % от своего среднего значения. Если количество задействованных судов 3, то каждое судно может выполнить 4 траления в сутки, таким образом, средний суточный вылов совпадает со средним значением для рассматриваемого периода. Если количество задействованных судов 4, то каждое судно может выполнить не более 4 тралений в сутки, и необходимо предусмотреть, что некоторые суда могут выполнить менее 4 тралений за сутки, таким образом, средний суточный вылов понижается на 10 % от своего среднего значения. Если количество задействованных судов 5, то каждое судно может выполнить только 3 траления в сутки, таким образом, средний суточный вылов понижается на 25 % от своего среднего значения.

Для промысловой зоны Северо-Курильская и судна типа СРТМ данные представлены в табл. 1.

Таблица 1

Средний суточный вылов каждого судна при задействовании нескольких добывающих судов

Table 1

The average daily catch of each vessel with the use of several mining vessels

Кол-во судов	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
1	8,92	21,06	26,48	52,88	45,07	37,00	34,82	23,63	20,70
2	8,92	21,06	26,48	52,88	45,07	37,00	34,82	23,63	20,70
3	7,13	16,85	21,18	42,31	36,06	29,60	27,86	18,91	16,56

4	6,42	15,17	19,06	38,07	32,45	26,64	25,07	17,02	14,90
5	5,35	12,64	15,89	31,73	27,04	22,20	20,89	14,18	12,42

Суммарный средний суточный вылов всеми задействованными судами представлен в табл. 2.

Таблица 2

Суммарный средний суточный вылов всеми добывающими судами

Table 2

Total average daily catch by all mining vessels

Кол-во судов	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
1	8,92	21,06	26,48	52,88	45,07	37,00	34,82	23,63	20,70
2	17,83	42,13	52,96	105,76	90,14	74,01	69,65	47,27	41,40
3	21,40	50,55	63,55	126,92	108,17	88,81	83,57	56,72	49,68
4	25,68	60,66	76,26	152,30	129,80	106,57	100,29	68,06	59,61
5	26,75	63,19	79,43	158,64	135,21	111,01	104,47	70,90	62,10

Алгоритм оптимизации распределения судов для работы в промысловой зоне:

Шаг 1. По известным данным о количестве судосутков, в течение которых промысловые суда ведут промысел в зоне, выполнить сортировку судов по убыванию количества судосутков.

Шаг 2. Распределить суда по месяцам работы с учетом количество траловых дорог в зоне и с минимизацией задействования одновременной работы судов.

Шаг 3. Для каждого типа добывающего судна указать параметры для ремонта и межрейсового технического обслуживания судна.

Шаг 4. Построить график годового режима работы судна.

Годовой режим работы судна состоит из нескольких основных режимных позиций судна:

- нахождение судна в порту, длительность регламентируется нормативами работы промыслового флота и зависит от типа добывающего судна;

- переход судна из порта базирования в район промысла, определяется расстоянием от порта базирования до района промысла и нормативной скоростью движения судна;

- ведение промысла и переходы на перегрузку продукции определяются временем непрерывного пребывания судна в море и временем, необходимым на переход в район промысла и обратно в порт базирования;

- межрейсовое техническое обслуживание судна, длительность регламентируется нормативами работы промыслового флота и зависит от типа добывающего судна;

- ремонтные работы, длительность зависит от необходимости проведения ремонта в случае вывода судна из эксплуатации.

Пусть t_m – время непрерывного пребывания в море для добывающего судна.

$t_{порт}$ – время стоянки судна в порту до и после рейса.

$t_{переход}$ – время, необходимое судну на переход от порта базирования до района промысла и обратно.

$t_{МРТО}$ – время межрейсового технического обслуживания.

$t_{ремонт}$ – время проведения плановых ремонтных работ.

$t_{рейс1}, t_{рейс2}$ – длительность первого и второго рейсов.

$t_{\text{пром1}}, t_{\text{пром2}}$ – время на промысле, включая время, необходимое на выполнение грузовых операций, и время на выполнение оперативного поиска объекта промысла (данные потери времени учтены при оптимизации рейсооборота и заложены в оптимизированный план распределения судов по промысловым зонам), в первом и втором рейсах.

Указанные выше величины связаны друг с другом следующими соотношениями:

$2 \cdot t_{\text{порт}} + t_{\text{МРТО}} + t_{\text{рейс1}} + t_{\text{рейс2}} + t_{\text{ремонт}} = 365$ – суммарное время работы судна равно одному календарному году.

$t_{\text{рейс1}} \leq t_{\text{м}}, t_{\text{рейс2}} \leq t_{\text{м}}$ – длительность каждого рейса не должна превышать время непрерывного нахождения судна в море.

Для решения рассмотренных выше задач реализована программа на языке программирования python с использованием стандартных библиотек. Для каждого судна строится график годового режима работы судна на промысле кальмара. Пример графика представлен на рисунке.

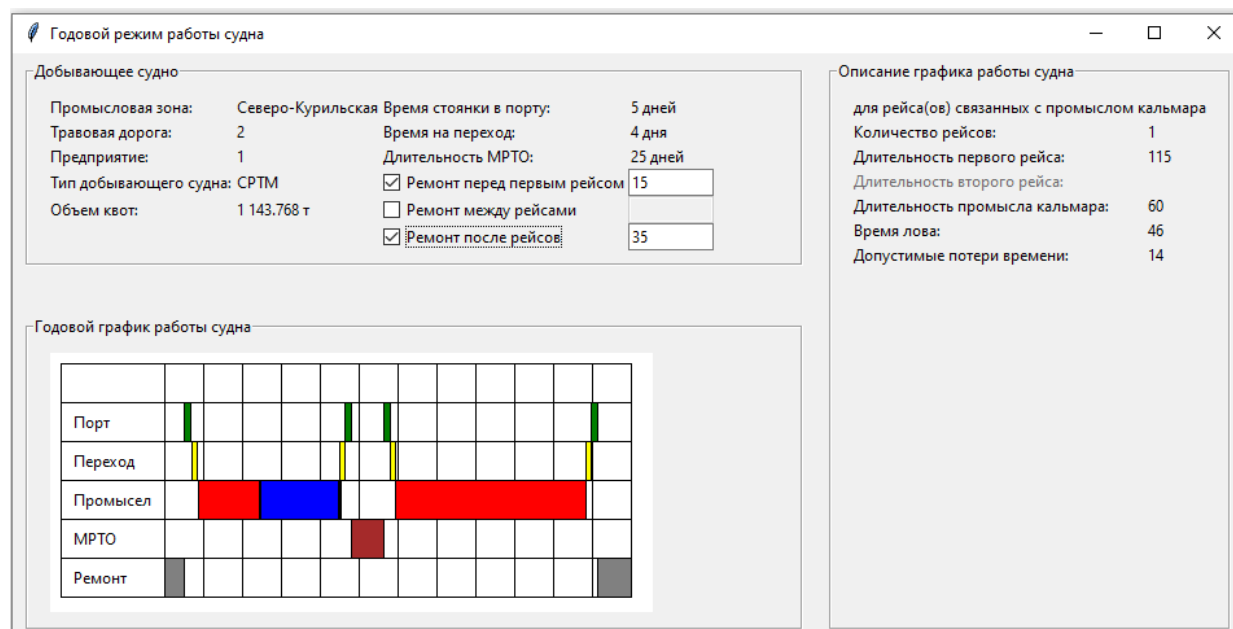


График годового режима работы судна. Составлено авторами
The schedule of the annual operation of the vessel. Compiled by the authors

Заключение

Решение поставленных оптимизационных задач позволило получить оптимальное распределение имеющегося добывающего флота. Для решения задач использовались данные о выделенных квотах на вылов (добычу) кальмара в промысловых зонах. При анализе полученного решения было установлено, что добывающее судно в соответствии с имеющимися у него квотами на вылов (добычу) кальмара вынуждено вести вылов также и других промысловых объектов, так как оптимальное время лова кальмара значительно меньше промыслового рейса судна, что ведет к дополнительным потерям промыслового времени, связанным с переходами в другой подрайон промысла, оперативными поисками промысловых объектов и другими причинами. В связи с этим следующим этапом оптимизации промысла кальмара будет разработка рекомендаций по перераспределению долей квот на вылов кальмара между пользователями (владельцами добывающих судов).

Список источников

1. Иванко Н. С., Лисиенко С. В. Анализ освоения кальмаров Дальневосточного рыбохозяйственного бассейна в 2017–2021 гг // Научные труды Дальрыбвтуза. 2022. Т. 60, № 2. С. 23–32.
2. Лисиенко С. В., Иванко Н. С. Оптимизация структуры добывающего флота владельцев квот на вылов командорского кальмара // Морские интеллектуальные технологии. 2024. № 3–1(65). С. 356–363.
3. Иванко Н. С., Лисиенко С. В. Анализ добычи командорского кальмара за 2023 г. // Научные труды Дальрыбвтуза. 2024. Т. 68, № 2. С. 93–102.
4. Иванко Н. С., Лисиенко С. В. Командорский кальмар BERRYTEUTHIS MAGISTER: анализ и проблемы промышленного освоения // Рыбное хозяйство. 2024. № 5(5). С. 43–48.
5. Иванко Н. С., Лисиенко С. В. Модуль оптимизации структуры добывающего флота владельцев квот. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2024684144, 15.10.2024. Заявка № 2024683069 от 03.10.2024.
6. Алексеев Д. О. Пространственно-функциональная структура популяций кальмаров рода *Beryteuthis* в дальневосточных морях России // Труды ВНИРО. 2022. Т. 188. С. 13–48. DOI: 10.36038/2307-3497-2022-188-13-48.

Сведения об авторах

Н. С. Иванко – старший преподаватель кафедры прикладной математики и информатики, SPIN-код: 6882-7377, AuthorID: 814886.

С. В. Лисиенко – доктор технических наук, доцент, зав. кафедрой промышленного рыболовства, SPIN-код: 6437-6364, AuthorID: 371990.

Information about the authors

N. S. Ivanko – Senior Lecturer of the Department of Applied Mathematics and Informatics, SPIN-code: 6882-7377, AuthorID: 814886.

S. V. Lisienko – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Industrial Fisheries, SPIN-code: 6437-6364, AuthorID: 371990.

Статья поступила в редакцию 19.11.2024; одобрена после рецензирования 25.11.2024; принята к публикации 26.11.2024.

The article was submitted 19.11.2024; approved after reviewing 25.11.2024; accepted for publication 26.11.2024.