

Федеральное агентство по рыболовству
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Дальневосточный государственный технический
рыбохозяйственный университет»
(ФГБОУ ВО «Дальрыбвтуз»)

На правах рукописи



ИВАНКО НИНА СЕРГЕЕВНА

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ И ВЕДЕНИЯ
ДОБЫЧИ (ВЫЛОВА) КОМАНДОРСКОГО КАЛЬМАРА**

4.2.6. Рыбное хозяйство, аквакультура и промышленное рыболовство

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание учёной степени кандидата технических наук

Научный руководитель
доктор технических наук,
доцент Лисиенко С.В.

Владивосток 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
Глава 1 АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПРОМЫСЛА КОМАНДОРСКОГО КАЛЬМАРА.....	11
1.1 Описание биологии и промыслового распределения командорского кальмара	11
1.2 Анализ динамики промысла кальмара за 2015-2024 гг	14
1.3 Анализ организационно-управленческих решений по распределению квот на добычу командорского кальмара.....	26
Выводы по главе 1.....	33
Глава 2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОМЫСЛА КОМАНДОРСКОГО КАЛЬМАРА.....	35
2.1 Системный подход к проектированию однообъектной промысловой системы «кальмар командорский».....	36
2.1 Математические модели теории рыболовства.....	43
2.2 Методы и модели оптимизации промысла.....	55
Выводы по главе 2.....	70
Глава 3 ОПТИМИЗАЦИЯ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОМЫСЛА КОМАНДОРСКОГО КАЛЬМАРА.....	72
3.1 Математическая модель оптимизации добывающего флота на промысле командорского кальмара	72
3.2 Оптимизация распределения судов по зонам промысла для добычи командорского кальмара	86
3.3 Оптимизация годового режима работы судна с учетом периодов промысловой доступности командорского кальмара	94
3.4 Оптимизация процесса управления годовой эксплуатацией добывающих судов на промысле командорского кальмара.....	102
3.5 Анализ моделирования промысла командорского кальмара	107
Выводы по главе 3.....	119

ЗАКЛЮЧЕНИЕ	121
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	124
ПРИЛОЖЕНИЕ А	150
ПРИЛОЖЕНИЕ Б	153
ПРИЛОЖЕНИЕ В	154
ПРИЛОЖЕНИЕ Г	157
ПРИЛОЖЕНИЕ Д	158
ПРИЛОЖЕНИЕ Е	160
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж	161
ПРИЛОЖЕНИЕ З	162
ПРИЛОЖЕНИЕ И	163
ПРИЛОЖЕНИЕ К	164
ПРИЛОЖЕНИЕ Л	165
ПРИЛОЖЕНИЕ М	166
ПРИЛОЖЕНИЕ Н	167
ПРИЛОЖЕНИЕ О	168
ПРИЛОЖЕНИЕ П	169

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Современное промышленное рыболовство представляет собой сложную систему, функционирующую в условиях значительной неопределенности и множества случайных факторов. Особую важность приобретает научное обоснование методов управления промыслом и оптимизации рыбодобывающих процессов, что подтверждается исследованиями ведущих ученых в этой области хозяйства. Значительные исследования в этой области были проведены в 70-80-ые годы прошлого века и связаны с развитием рыболовства в СССР, однако организация ведения промысла определяется правилами рыболовства и законодательством, поэтому разработанные в тот период методы управления и организации промысла, задачи оптимизации не могут быть применимы полностью в современной России. Поэтому совершенствование и разработка организации и ведения добычи в современных условиях является актуальной проблемой для рыболовства России, поскольку даже при наличии более современного флота уровень добычи в половину меньше, чем в СССР.

Промысел командорского кальмара характеризуется рядом специфических особенностей, связанных с биологией объекта лова, миграционными процессами и динамикой распределения кальмара в промысловых зонах. Эти особенности требуют разработки специальных подходов к моделированию и оптимизации промысловых операций.

Степень разработанности проблемы

Вопросами моделирования промысловых процессов занимались такие учёные как Ф.И. Баранов, Н.Н. Андреев, С.А. Студенецкий, В.Н. Мельников, А.В. Мельников, М.А. Мизюркин, Е.Г. Норинов, Б.И. Покровский, С.В. Лисиенко и др. Модель ежегодных колебаний запасов командорского кальмара вблизи Курильских островов и влияние климатических условий на величину запаса рассматривал О.Н. Катугин. Большой объём исследований по промысловой биологии командорского кальмара выполнен такими

учёными, как Д.О. Алексеев, Ю.А. Федорец, Ф.В. Лищенко и О.Н. Катугин. Эти исследования охватывают широкий спектр вопросов, включая биологические особенности вида, его распределение, миграции, динамику численности и условия формирования промысловых скоплений. Однако, несмотря на значительные достижения в этой области, вопросы комплексной оптимизации промысла командорского кальмара остаются недостаточно изученными.

Комплексная оптимизация промысла предполагает учёт множества факторов, таких как биологические характеристики объекта лова, технические параметры судов и орудий лова, экономическая эффективность промысловых операций, экологические ограничения и социально-экономические условия. На сегодняшний день отсутствуют универсальные модели, которые могли бы учитывать все эти аспекты одновременно. Это создаёт определённые трудности при планировании и управлении промыслом, особенно в условиях изменчивости внешней среды и антропогенного давления.

Целью работы является разработка методологии однообъектной промысловой системы и оптимизации в ней рыбодобывающих процессов на примере промысла командорского кальмара.

Объектом исследования выступают процессы и системы промышленного рыболовства, **предметом** – совершенствование организации и ведения промысла командорского кальмара.

Задачи исследования:

1. Провести анализ современного состояния организации промысла командорского кальмара и выявить ключевые проблемы эффективности рыбодобывающей деятельности.
2. Спроектировать однообъектную промысловую систему с учетом биологических, технических и экономических факторов добычи.

3. Создать математическую модель оптимизации промысловых операций с использованием методов линейного программирования и системного анализа.

4. Разработать методику расчета оптимального распределения добывающих судов по районам промысла с учетом периодов промысловой доступности командорского кальмара.

5. Обосновать практические предложения по совершенствованию организационно-управленческих решений в процессе освоения ресурсов командорского кальмара.

Данные цели и задачи соответствуют общенаучным подходам к организации исследования и отражают основные аспекты моделирования рыбодобывающих процессов, упомянутые в предоставленном материале.

Научная новизна работы состоит в следующем:

– Обоснован новый методологический подход к проектированию однообъектной промысловой системы по освоению командорского кальмара с учетом его пространственного распределения по промысловым зонам Дальневосточного рыбохозяйственного бассейна.

– Разработан компонентный состав системы, произведена оценка комплексного влияния на рыбодобывающий процесс взаимосвязанных факторов: технологических и технических особенностей промысла, эксплуатационных характеристик флота, сезонной и пространственной доступности ресурса, обоснованы ограничения и их влияние на процесс освоения.

– Разработаны новые алгоритмы и математические модели оптимизации рыбодобывающих процессов во вновь созданной системе на основе интеграции биопромысловой специфики промысла (миграционных циклов, сезонности нереста и концентрации в определённых районах промысла), производственно-технических параметров судов (грузоподъёмности, топливной эффективности, продолжительности рейсов, междурейсовых

стоянок и непроизводительных простоев и др.) в структуру оптимизационной задачи.

– Произведена оптимизация промысловой деятельности, получены результаты, доказывающие повышение эффективности использования промыслового потенциала при одновременном соблюдении принципов рационального и устойчивого рыболовства и достижении производственных показателей добычи (вылова).

Таким образом, научная новизна заключается в системном переосмыслении подходов к проектированию и управлению однообъектными промысловыми системами в условиях высокой пространственно-временной изменчивости целевого ресурса, в создании новых научных подходов и инструментов моделирования.

Теоретическая и практическая значимость работы

Разработанный новый методологический подход к проектированию однообъектной промысловой системы и оптимизационные модели являются научной основой для разработки подобных однообъектных систем по освоению промысловых объектов в рыбохозяйственных бассейнах, обоснованию организационно-управленческих решений по совершенствованию рыбодобывающей деятельности, эффективному планированию освоения промысловых биоресурсов, организации и планированию работы добывающих судов в промысловых зонах, обоснованию организационных схем ведения добычи (вылова).

Разработанные прикладные компьютерные программы имеют научную значимость в виде оригинальных постановок задач моделирования рыбодобывающей деятельности и являются практико-ориентированным инструментом по моделированию рыбодобывающих процессов в однообъектных промысловых системах с учетом динамики изменения входных и ограничительных параметров в процессе решения практических задач по совершенствованию организации, планирования и управления промысловым флотом.

Методами исследования являются общенаучные подходы и методы, включая системный подход и системный анализ, теорию исследования операций, декомпозицию сложных задач, фундаментальные положения теории рыболовства, а также методы математического моделирования и оптимизации – в частности, линейное и динамическое программирование.

Положения выносимые на защиту

Подход к проектированию комплексной однообъектной системы «командорский кальмар» и управлению промыслом командорского кальмара, интегрирующие биологические особенности вида, технические параметры флота и экономические критерии эффективности.

Математические модели, алгоритмы и комплекс программ по этим алгоритмам по оптимизации распределения добывающего флота и управления годовой эксплуатацией судов, учитывающие специфику промысла командорского кальмара.

Методика распределения добывающего флота по промысловым зонам, основанная на данных математического моделирования с целью повышения эффективности добычи командорского кальмара.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности

Материалы диссертационной работы соответствуют паспорту научной специальности 4.2.6. Рыбное хозяйство, аквакультура и промышленное рыболовство (технические науки): п. 7 Разработка теоретических и практических аспектов реализации предосторожного, многовидового, экосистемного и биоэкономического подходов к организации ведения промысла и рациональному использованию водных биоресурсов, принципов и методов регулирования промышленного рыболовства; п. 12 Математическое моделирование процессов и систем промышленного рыболовства.

Степень достоверности и апробация результатов

Достоверность и обоснованность результатов исследования обеспечивается проведением масштабного анализа промысловых данных,

учетом практического опыта работы рыболовного флота при добыче командорского кальмара, использованием строгой и непротиворечивой теоретической базы, а также всесторонним изучением объекта исследования. Применение научно обоснованных методов, соответствующих поставленным задачам, и корректное использование математического аппарата дополнительно подтверждают надежность полученных выводов.

Основные теоретические и практические положения диссертационного исследования были представлены и обсуждены на международных и национальных конференциях: Международной научно-практической конференции «Водные биоресурсы: рациональное освоение и искусственное воспроизводство» (Владивосток, 2021); Международной научно-технической конференции «Научно-практические вопросы регулирования рыболовства» (Владивосток, 2021); IV Национальной научно-технической конференции «Инновационное развитие рыбной отрасли в контексте обеспечения продовольственной безопасности Российской Федерации» (Владивосток, 2021); VI Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Комплексные исследования в рыбохозяйственной отрасли» (Владивосток, 2021); VII Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы освоения биологических ресурсов Мирового океана» (Владивосток, 2022); Международной научно-технической конференции «Рациональная эксплуатация водных биологических ресурсов» (Владивосток, 2023); VIII Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Комплексные исследования в рыбохозяйственной отрасли» (Владивосток, 2023); VI Национальной научно-технической конференции «Инновационное развитие рыбной отрасли в контексте обеспечения продовольственной безопасности Российской Федерации» (Владивосток, 2023); XV Национальной (всероссийской) научно-практической конференции (Петропавловск-Камчатский, 2024); VIII Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы

освоения биологических ресурсов Мирового океана» (Владивосток, 2024); IX Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Комплексные исследования в рыбохозяйственной отрасли» (Владивосток, 2024), Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные вопросы становления и развития рыбного хозяйства России» (Владивосток, 2025).

Результаты исследований внедрены в образовательный процесс ФГБОУ ВО «Дальрыбвтуз» по направлениям подготовки уровней бакалавриата и магистратуры 35.03.09 и 35.04.08 «Промышленное рыболовство» в курсах дисциплин, изучающих информационные технологии в рыболовстве.

Личный вклад автора

Основу диссертации составляют результаты исследований, выполненных автором в 2019–2025 гг. на кафедре «Промышленное рыболовство» Дальневосточного государственного технического рыбохозяйственного университета. Автор лично разработал математические и оптимизационные модели распределения судов при добыче командорского кальмара, создал соответствующий программный комплекс, а также опубликовал и представил результаты на научных конференциях.

Публикации

По теме диссертации опубликовано 42 печатные работы (34 публикации и 8 объектов интеллектуальной собственности), в том числе 6 статей в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России (в том числе 4 в соавторстве), 7 статей в изданиях, проиндексированных в международной реферативной базе данных Web of Science (в соавторстве), 12 статей в материалах конференция (в том числе 11 в соавторстве).

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы и приложений. Общий объем составляет 171 страница, включая 22 рисунка, 9 таблиц и 15 приложений. Список литературы содержит 205 наименований, 10 из которых принадлежит иностранным авторам.

Глава 1 АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПРОМЫСЛА КОМАНДОРСКОГО КАЛЬМАРА

Осуществление промысловой добычи рыбы является сложной системой с множеством взаимосвязанных параметров, функционирующей в условиях стохастических влияний и факторов неопределённости. Определяющее значение в организации промысла имеют такие факторы, как изменчивость поведения промыслового объекта, влияние гидрометеорологических условий на результативность добычи, а также множество других внешних и внутренних неопределённостей. Их учёт при планировании и управлении рыбодобывающей деятельностью является важным аспектом, способствующим повышению эффективности освоения водных биологических ресурсов. Интеграция данных факторов в моделирование позволяет улучшить точность принимаемых решений и обеспечить устойчивое использование рыбных ресурсов.

1.1 Описание биологии и промыслового распределения командорского кальмара

Одним из промысловых объектов в Дальневосточном рыбохозяйственном бассейне является кальмар. Кальмар – хищник, и сам входит в рацион морских птиц, хищных пелагических рыб и морских млекопитающих. В специализированном промысле кальмаров ведется добыча их трех видов кальмаров: командорского кальмара (*Beryteuthis magister*), тихоокеанского кальмара (*Todarodes pacificus*) и кальмара Бартрам. Из них лишь командорский кальмар имеет существенное промысловое значение.

Командорский кальмар распространен в Беринговом, Охотском и Японском морях, а также в водах Тихого океана вдоль Курильских, Командорских и Алеутских островов, и далее на восток вдоль берегов Америки до Британской Колумбии, Орегона и северной Калифорнии (Несис,

1982; Катугин, 1998; Катугин, Шевцов, 2012; Jefferts, 1983; Nesis, 1998)[6]. После созревания кальмар ведет придонный образ жизни. Длина половозрелых особей может достигать 42 см в восточной части Берингова моря, 39 см у Командорских и Курильских островов и 38 см в южной части Охотского моря. Средняя продолжительность жизни кальмаров составляет около двух лет [2, 5]. В большинстве районов обитания кальмар встречается в глубоких водах, в основном на континентальном склоне [5, 6, 201]. Основная добыча кальмара командорского ведется с помощью донных тралов [1,190, 196, 201], связано это с тем, что молодые кальмары, достигая 20-30 мм в длину мантии, начинают совершать суточные вертикальные миграции: ночью поднимаются в верхние слои воды, а днем возвращаются к придонным зонам. Эти миграции продолжаются до достижения размера мантии 70 мм. После этого кальмары становятся преимущественно донными обитателями, лишь изредка совершая кормовые миграции в мезопелагическую зону и крайне редко появляясь в поверхностных слоях [201]. В работах [10, 11] разработана концепция совершенствования промысла кальмара (на примере тихоокеанского кальмара) с использованием источников света. Для снижения риска порыва трала при тралении за счет увеличения управляемости траловой системой в целом в работе [63] предлагалось использовать гибкие распорные устройства. Вариант оснастки нижней подборы, а именно использование фальшподборы из тяжелой якорной цепи предложен в работе [29]. Промысел командорского кальмара не ведётся ярусом по причине биологических, поведенческих и технологических особенностей самого объекта лова, а также несоответствия конструкции орудия лова его экологической нише. Кальмары – активные хищники, охотящиеся в толще воды за рыбой и другими головоногими. Они реагируют на движение, блеск, форму, но не проявляют интереса к неподвижным насадкам на крючках. Ярус работает по принципу захвата при поклевке, что не соответствует поведению кальмара.

Алексеев Д.О. выделяет 2 вида командорского кальмара обитающих в водах Тихого океана: *Berryteuthis magister* и *Berryteuthis septemdentatus* [4]. Для вида *Berryteuthis magister* Алексеев выделяет две популяции, которые в его работе названы по морям их обитания: берингоморская и охотоморская. Второй вид кальмаров рода *Berryteuthis* по исследованиям Алексеева обитает в Японском море. В своей работе Алексеев описал периоды нереста каждой из популяций, а так же представил схемы миграций каждой их популяций.

Все зоны, в которых обитает кальмар и соответственно ведется его добыча условно можно разделить на две группы: зоны, в которых на добычу кальмара устанавливаются общие допустимые уловы (ОДУ), в том числе и на инвестиционные цели для осуществления промышленного и прибрежного рыболовства [140-149], и зоны, в которых на кальмар устанавливаются рекомендованные объемы вылова [152]. Для каждой зоны имеется свой период промысловой доступности объекта, который определен на основе данных о добыче кальмара в течение нескольких лет. Период промысловой доступности каждой зоны определяется циклическим поведением кальмара в рассматриваемой зоне, на которое оказывает влияние биологические особенности жизненного цикла кальмара. При добыче кальмара следует учитывать их двухлетнюю продолжительность жизненного цикла [6] и миграционные циклы. В частности «миграции осуществляются только с попутными течениями, а устойчивая реализация миграционного и жизненного циклов может реализовываться только на основе замкнутых водных циркуляций»[4].

Выделенная Алексеевым Д.О. берингоморская популяция обитает в Западно-Берингоморской и Восточно-Камчатской промысловых зонах [4]. Для этой популяции выделена пространственно-функциональная структура следующим образом, в Западно-Берингоморской промысловой зоне выделяют области репродуктивную, нагульную и область возвратных миграций, в Карагинской подзоне выделена область возвратных миграций

популяции, в северной части Петропавловск-Командорской подзоны выделены репродуктивная область и область возвратных миграций, а в южной части – область возвратных миграций [4]. В Северо-Курильской и Южно-Курильской промысловых зонах обитает вторая популяция – охотоморская. Для этой популяции выделена пространственно-функциональная структура следующим образом, в обеих промысловых зонах вдоль Курильских островов выделяет области репродуктивную, нагульную и область возвратных миграций [3, 4].

В Японском море обитает другой вид рода *Berryteuthis*, к которому относится командорский кальмар. Ранее считалось, что этот вид кальмаров так же относится к командорскому кальмару. Данная популяция не достаточно изучена и для нее не выделена пространственно-функциональная структура [4]. В настоящий момент при распределении квот кальмар, обитающий в зоне Японское море считается командорским.

Промысел командорского кальмара начался с конца 1960-х годов [1, 190, 196], анализ добычи кальмара за период с 1979 по 2017 гг представлен в работе [1], в этой же работе перечислены основные районы промысла кальмара [53]:

- Командорские острова;
- Район островов Симушир и Кетой;
- Район островов Парамушир, Онекотан и Шиашкотан;
- Северная оконечность о. Уруп;
- Юго-Восточная Камчатка;
- Залив Олюторский;
- Корякский район Берингова моря [1].

1.2 Анализ динамики промысла кальмара за 2015-2024 гг

Добыча кальмаров в Дальневосточной Рыбохозяйственном бассейне (ДВРБ) за период с 2015 по 2024 гг велась в пяти зонах. В зонах ДВРБ

Северо-Курильская и Южно-Курильская объемы ОДУ были установлены 85 и 10 тыс. тонн соответственно. В Восточно-Камчатской зоне в Петропавловско-Командорской подзоне устанавливался объем ОДУ 15 тыс. тонн [140-149]. Таким образом, за рассматриваемый период объемы ОДУ командорского кальмара в ДВРБ составляли 110 тыс. тонн ежегодно. Рекомендованные объемы промышленного/прибрежного рыболовства (неОДУ) для добычи командорского кальмара устанавливались в Западно-Беринговоморской зоне, в Карагинской подзоне Восточно-Камчатской зоны на протяжении всего рассматриваемого периода и в зоне Японского моря (подзоны Приморья и Западно-Сахалинская) с 2019 г.

Объемы добычи командорского кальмара в ДВРБ представлены в таблице П.Б.2 (приложение Б). Таблица построена по статистическим данным Федерального агентства по рыболовству [140-149, 152, 163-171, 175-183]. Анализ промысла кальмара проводился автором за различные временные периоды [46, 50, 51, 53, 77, 78, 102] и для разных промысловых зон, так же анализ промысловой деятельности кальмара был проведен и другими авторами в различные временные периоды [8, 12, 13, 36, 60, 105, 106, 153]. Автором в соавторстве была разработана база данных содержащая сведения о вылове и данные ОДУ для промысловых объектов ДВРБ [35, 98, 99].

Согласно сведений об освоении рекомендованных объемов добычи командорского кальмара в зоне Японского моря добыча велась только в подзоне Приморья, в Западно-Сахалинской подзоне вылов за рассматриваемый период составил 23 т (7 т в 2020 г и 16 т в 2021 г). Т.к. допустимо перераспределение объёмов рекомендованного вылова командорского кальмара между подзоной Приморье и Западно-Сахалинской подзоной без превышения суммарной величины рекомендованного вылова далее в работе Западно-Сахалинская подзона не рассматривается как отдельная подзона для добычи кальмара. Далее рассматриваются 6 основных зон/подзон для добычи (вылова) командорского кальмара [53]:

- Северо-Курильская зона,
- Южно-Курильская зона,
- Петропавловско-Командорская подзона Восточно-Камчатской зоны,
- Западно-Беринговоморская зона,
- Карагинская подзона Восточно-Камчатской зоны,
- Подзона Приморье зоны Японского моря.

Максимальный удельный вес добычи командорского кальмара за рассматриваемый период приходится на Северо-Курильскую зону и составляет 79% (рисунок 1). Удельный вес добычи в Восточно-Камчатской, суммарно по двум подзонам, зоне составляет примерно 11,4%. Удельный вес добычи в Южно-Курильской зоне составляет 7,2%. Удельный вес добычи в Западно-Беринговоморской зоне составляет 2,3%. Наименьший удельный вес 0,2% добычи приходится на подзону Приморья зоны Японского моря.

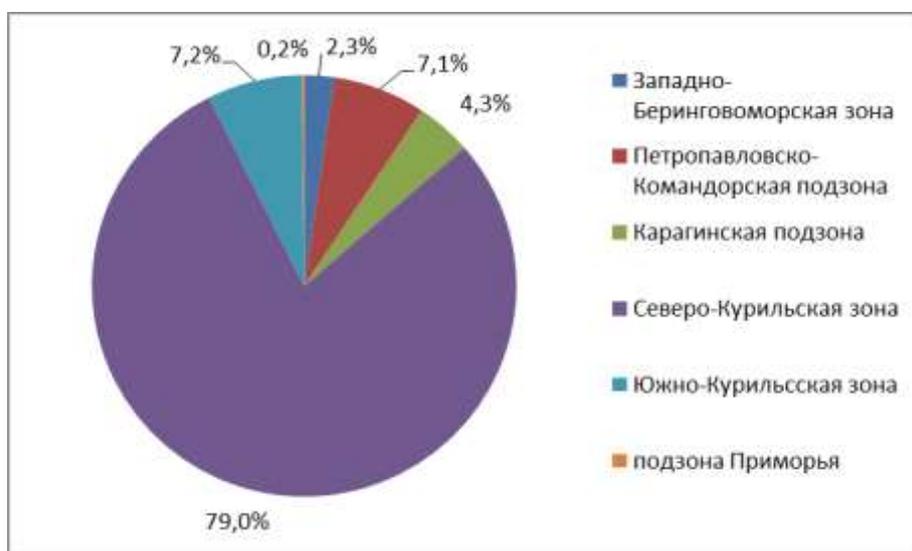


Рисунок 1 – Структура добычи командорского кальмара в ДВРБ

Суммарный вылов командорского кальмара по всем зонам, в которых ведется промысел этого объекта, ДВБР значительно ниже разрешенных объемов добычи (таблица П.Б.2, приложение Б). Динамика объемов добычи командорского кальмара в ДВРБ за период 2015-2024 гг представлена на

рисунке 2. Основные объемы добычи объекта были получены при освоении квот ОДУ, в то время как добычи кальмара по квотам неОДУ значительно ниже. Средняя степень освоения объемов ОДУ кальмара за рассмотренный десятилетний период составила 68,2%. В 2015 г степень освоения ОДУ составляла 33,4%, до 2020 года наблюдались последовательные рост и снижение степени освоения кальмара, но в целом наблюдалась положительная динамика и в 2020 году была зафиксирована наибольшая степень освоения (92,4%), в 2021 г произошло снижение до 66,9%, а 2022 г – до 55,9%, в 2023 г снова произошел рост до 83,3%, а в 2024 г – до 86,2%. Таким образом, наблюдаются колебания освоения ОДУ кальмара командорского в ДВРБ, возможно колебания освоения ОДУ можно объяснить двухлетним периодом жизни кальмара.



Рисунок 2 – Объемы добычи и степень освоение ОДУ в ДВРБ

Динамика освоения ОДУ по трем зонам промысла кальмара представлена в приложении Г.

Из представленных на графике (рисунок П.Г.1 приложения Г) данных видно, что на всем рассматриваемом периоде наблюдалось недоосвоение

промыслового объекта в Петропавловско-Командорской подзоне Восточно-Камчатской зоны. Средний процент освоения за рассматриваемый десятилетний период составил 37,98%. Наибольший процент освоения кальмара был в 2016 и 2021 годах и составлял 71,7% и 71,9% соответственно. Наименьший процент освоения кальмара был в 2019 году и составлял 2,2%. В 2024 г процент освоение ОДУ составил 2,4%. Резкое снижение процента освоения ОДУ в 2022-2024 годах (18,5%, 11,5%, 2,4%) объясняется допустимостью перераспределения объемов на вылов кальмара между Северо-Курильской зоной и Петропавловско-Командорской подзоной Восточно-Камчатской зоны без превышения суммарной величины ОДУ.

Так же наблюдалось недоосвоение промыслового объекта в Южно-Курильской зоне (рисунок П.Г.2 приложения Г). Средний процент освоения за рассматриваемый десятилетний период составил 62,1%. Наибольший процент освоения кальмара был в 2024 г и составлял 99,3%. Наименьший процент освоения кальмара был в 2015 году 6,4%.

В Северо-Курильской зоне средний процент освоения составил 77,3%, что значительно выше, чем в двух других зонах (рисунок П.Г.3 приложения Г). В 2020 году освоение ОДУ на кальмар было 105,7%, это объясняется допустимостью перераспределения объемов на вылов кальмара между Северо-Курильской зоной и Петропавловско-Командорской подзоной Восточно-Камчатской зоны без превышения суммарной величины ОДУ. Наименьший процент освоения кальмара был в 2015 г и составлял 31,6%.

В Западно-Беринговоморской зоне на добычу командорского кальмара ежегодно в течение всего рассмотренного десятилетнего периода устанавливались рекомендуемые объемы промышленного/прибрежного рыболовства немного меньше 25 000 т, в Карагинской подзоне Восточно-Камчатской зоны так же ежегодно рекомендованный объемы промышленного/прибрежного рыболовства устанавливались в пределах 15 000 т, в зоне Японского море начиная с 2019 г – 9 000 т суммарно по двум подзонам с допустимостью перераспределения объемов рекомендованного

вылова по этим подзонам. Динамика добычи кальмара в этих промысловых зонах представлена в приложении В.

В Северо-Курильской зоне в течение 2023 года работали суда пяти типов: БМРТ, РТМ, СРТМ, МРКТ и ТСМ, в том числе 1 судно типа СРТМ на добыче кальмара по инвестиционным квотам. Наибольшее количество судов это суда типа СРТМ, их было 26 единиц, и суда типа БМРТ, таких судов было 19. Количество судов типа РТМ, МРКТ и ТСМ было 5, 2 и 1 соответственно, что значительно меньше, чем два других типа судов [50, 79, 100, 101].

Всего в зоне добычу кальмара вели 19 судов типа БМРТ с апреля по декабрь. В апреле работали 2 судна и среднесуточный вылов составил 3,07 т. В мае и ноябре число работавших в зоне судов было 9 и среднесуточный вылов составлял 21,907 т и 32,977 т соответственно. В июне и декабре работали по 8 судов, среднесуточный вылов составлял 30,866 т и 21,094 т. В октябре число работавших судов составляло 13, среднесуточный вылов судна был 43,14 т. Наибольшее число судов на добыче кальмаров было в августе и сентябре, по 15 судов, среднесуточный вылов в эти месяцы составлял 25,687 т и 31,755 т.

Наибольшее количество судов, работавших в зоне это суда типа СРТМ, всего в течение года работало 26 судов, в том числе одно из судов работало по инвестиционным квотам. В марте работало только 1 судно и его среднесуточный вылов составил 5,613 т. В апреле количество судов увеличилось до 5, среднесуточный вылов составил 7,133 т. В мае, октябре и ноябре работали по 8 судов, среднесуточный вылов составил 10,85 т, 14,601 т и 13,906 т соответственно. В июне, июле, сентябре работали по 13 судов, среднесуточный вылов составил 18,182 т, 38,305 т и 13,370 т соответственно. Наибольшее количество судов было зафиксировано в августе, и составило 19 единиц, среднесуточный вылов – 21,738 т. Так же в августе, сентябре, октябре и декабре работало 1 судно на добыче кальмара по инвестиционным квотам, среднесуточный вылов этого судна по месяцам немного отличался от

среднесуточного вылова других судов этого типа в указанные месяцы и составил 13,056 т, 17,602 т, 17,858 т и 16,559 т соответственно.

С мая по сентябрь зафиксирована работа судна типа ТСМ, среднесуточный вылов данного судна составил 8,884 т в мае, 4,48 т в июне, 1,12 т в июле, 4,664 т в августе и 11,44 т в сентябре.

С августа по октябрь вели добычу командорского кальмара 2 судна типа МРКТ. Среднесуточный вылов этих судов составил 25,14 т в августе, 20,306 т в сентябре и 7,993 т в октябре.

В течение года добыча командорского кальмара зафиксирована в течение 10 месяцев с марта по декабрь. Минимальный суммарный вылов наблюдался в марте и составил 23,599 т, в апреле суммарный вылов увеличился до 303,757 т. С мая по декабрь ежемесячный суммарный вылов был значительно больше чем в апреле. В мае суммарный вылов составил 3 707,29 т, в июне – 11 092,52 т, в июле – 12621,41 т. Максимальный суммарный объем добычи был в августе и составил 14920,245 т, из которых по инвестиционным квотам добыто 26,111 т. В сентябре суммарный объем добычи составил 13 900,082 т, из которых по инвестиционным квотам добыто 475,265 т. В октябре суммарный объем добычи составил 13 207,523 т, из которых по инвестиционным квотам добыто 213,42 т. В ноябре суммарный объем добычи составил 6 306,909 т. В декабре суммарный объем добычи составил 4 493,784 т, из которых по инвестиционным квотам добыто 99,356 т.

В Южно-Курильской зоне в течение года работали суда трех типов: БМРТ, РТМ и СРТМ, в том числе суда типов БМРТ и СРТМ на добыче кальмаров по инвестиционным квотам, так же зафиксирован разрешенный прилов на судах типа РС, СТР и РТМС [50, 79, 100, 101].

Всего в зоне добычу командорского кальмара вели 2 судна типа БМРТ. Одно судно работало в октябре, среднесуточный вылов составил 15 т. Два судна работали в ноябре, среднесуточный вылов составил 28,775 т.

Так же в зоне добычу командорского кальмара вели 5 судов типа РТМ. Все суда работали в августе и сентябре, среднесуточный вылов судов за эти месяцы составил 18,935 т и 31,047 т соответственно. В октябре количество судов снизилось до 4, а среднесуточный вылов на одно судно увеличился до 40,563 т. В ноябре количество судов было 3, а среднесуточный вылов на одно судно 36,191 т. В декабре количество судов было 2, а среднесуточный вылов на одно судно 67,896 т.

Наибольшее количество судов, работавших в зоне это суда типа СРТМ, всего в течение года работало 10 судов. В мае и июне работали по одному судну, среднесуточный вылов составил 2,767,149 т и 32,43 т. По 2 судна работали в июле и декабре, среднесуточный вылов в эти месяцы составил 9,208 т и 45,072 т соответственно. В августе количество судов было 4, среднесуточный вылов составлял 20,166 т. Максимальное число судов было в сентябре – 7, среднесуточный вылов в сентябре был 20,792 т. По 3 судна работали в октябре и ноябре, среднесуточный вылов судов в эти месяцы составил 19,812 т и 25,529 т соответственно.

В апреле, июле, августе и сентябре были зафиксированы разрешенные приловы, среднесуточный вылов приловов не превышал 2,5 т для судов типа РС, 0,808 т для судов типа РТМС и 2,353 т для судов типа СТР.

В течение года добыча командорского кальмара зафиксирована в течение 8 месяцев с мая по декабрь. Максимальный вылов приходится на октябрь, суммарный объем добычи в октябре составил 3117,73 т. Суммарный вылов в августе составил 1 395,555 т, в сентябре – 2 081,858 т, в ноябре – 1 789,916 т, в декабре – 993,316 т. Значительно меньший суммарный объем вылова был в мае, июне и июле – 2,767 т, 65,86 т и 48,141 т соответственно.

В Петропавловско-Командорской подзоне Восточно-Камчатской зоны в течение года работали суда трех типов: БМРТ, РТМ и СРТМ, в том числе суда типов БМРТ и СРТМ на добыче кальмаров по инвестиционным квотам, так же зафиксирован разрешенный прилов на судах типа РС, СТР и РТМС [50, 79, 100, 101].

Всего в зоне добычу командорского кальмара вели 5 судов типа БМРТ, 3 суда работали в августе, среднесуточный вылов составил 1,853 т, 2 других судна работали в сентябре, среднесуточный вылов составил 1,72 т. Так же два месяца в сентябре и октябре работало 1 судно на добыче кальмара по инвестиционным квотам, среднесуточный вылов этого судна составил 54,176 т в сентябре и 58,763 т в октябре. Таким образом, если учитывать все виды квот, то среднесуточный вылов в сентябре составил 42,519 т.

Так же в зоне добычу командорского кальмара вели 2 судна типа РТМ. Эти суда работали по 1 в апреле, мае, июне и декабре, среднесуточный вылов судов за эти месяцы составил 5,171 т, 0,576 т, 0,672 т и 0,084 т соответственно.

Наибольшее количество судов, работавших в зоне это суда типа СРТМ, всего в течение года работало 9 судов, в том числе одно из судов работало по инвестиционным квотам. В мае, июле и декабре работали по 1 судно, среднесуточный вылов составил 1,149 т, 41,082 т и 11,46 т. По 3 судна работали в июне и сентябре, среднесуточный вылов в эти месяцы составил 2,925 т и 11,400 т соответственно. Так же два месяца в сентябре и октябре работало 1 судно на добыче кальмара по инвестиционным квотам, среднесуточный вылов этого судна составил 11,676 т в сентябре и 30,112 т в октябре. Таким образом, если учитывать все виды квот, то среднесуточный вылов в сентябре составил 11,560 т.

В январе, сентябре, октябре и декабре были зафиксированы разрешенные приловы, среднесуточный вылов приловов не превышал 3,8 т для судов типа РС в декабре, 0,694 т и 1,778 т в сентябре и октябре для судов типа СТР, 1,423 т в сентябре для судов типа РТМС. Таким образом, прилов был зафиксирован в осенне-зимний период.

В течение года добыча командорского кальмара зафиксирована в течение 7 месяцев с апреля по октябрь. Максимальный вылов приходится на сентябрь и октябрь, суммарный объем добычи в сентябре составил 632,874 т из которых по инвестиционным квотам добыто 507,666 т, в октябре 238,093 т

из которых по инвестиционным квотам добыто 207,861 т. Суммарный вылов в июле составил 41,082 т, в апреле, июне и декабре суммарный вылов был около 12 т в месяц, в августе около 5,5 т, в мае – менее 2 т.

В Западно-Беринговоморской зоне в течение года работали суда трех типов: БМРТ, РТМ и СРТМ [50, 79, 100, 101].

Всего в зоне добычу командорского кальмара вели 2 судна типа БМРТ. Первое судно работало в мае, июне и июле, среднесуточный вылов для этого судна по указанным месяцам составил 0,944 т, 0,931 т, 3,142 т. Второе судно работало только в сентябре, и его среднесуточный вылов составил 2,116 т. Указанный объем среднесуточного вылова для судов типа БМРТ очень мал.

Так же в зоне добычу командорского кальмара вели 2 судна типа РТМ. Первое судно работало в мае, среднесуточный вылов для этого судна составил 0,460 т. Второе судно работало в декабре, и среднесуточный вылов составил 0,666 т.

Наибольшее количество судов, работавших в зоне это суда типа СРТМ, всего в течение года работало 11 судов. В феврале и мае работали по одному судну, среднесуточный вылов составил 0,146 т и 0,738 т. Наибольшее число судов работало в сентябре (8 судов) и октябре (7 судов), среднесуточный вылов в эти месяцы составил 2,936 т и 2,048 т соответственно. В ноябре работали 2 судна, среднесуточный вылов составил 0,696 т. В декабре работали четыре судна, среднесуточный вылов составил 0,503 т.

В течение года добыча командорского кальмара зафиксирована в течение 8 месяцев. Максимальный вылов приходится на сентябрь и октябрь, суммарный объем добычи в эти месяцы составил 92,325 т и 96,272 т соответственно. Вылов в феврале и июне составлял менее 1 т, в мае и июле 5,896 т и 3,142 т соответственно. Немного больше суммарный вылов был в ноябре и декабре 7,661 т и 6,690 т соответственно.

В Карагинской подзоне Восточно-Камчатской зоны в течение года работали суда трех типов: БМРТ, РТМ и СРТМ.

Всего в зоне добычу командорского кальмара вели 5 судов типа БМРТ. По 1 суда работали в мае, сентябре и декабре, среднесуточный вылов в эти месяцы составил 1,481 т, 1,488 т и 0,883 т соответственно, 2 судна работали в ноябре, среднесуточный вылов составил 1,194 т.

Так же в зоне добычу командорского кальмара вело 1 судно типа РТМ. Судно этого типа работало только в декабре и среднесуточный вылов составил 0,296 т.

Наибольшее количество судов, работавших в зоне это суда типа СРТМ, всего в течение года работало 10 судов. В мае, июле, августе работали по 1 судну, среднесуточный вылов составил 1,819 т, 2,478 т и 0,647 т. Наибольшее число судов работало в октябре (7 судов), ноябре (6 судов) и сентябре (5 судов), среднесуточный вылов в эти месяцы составил 1,979 т, 2,399 т и 1,852 т соответственно.

В течение года добыча командорского кальмара зафиксирована в течение 7 месяцев. Максимальный вылов приходится на октябрь, суммарный объем добычи в этот месяц составил 85,113 т. Суммарный вылов в сентябре и ноябре составил 20,011 т и 19,584 т соответственно, суммарный вылов в июле составил 7,434 т, в мае – 3,3 т, а в августе и декабре суммарный вылов не превысил 1 т.

В подзоне Приморья зоны Японского моря в течение года работали суда трех типов: РС, СТР и СРТМ [50, 79, 100, 101].

Всего в зоне добычу командорского кальмара вело 1 судно типа РС. Судно работало в январе и феврале, среднесуточный вылов судна по указанным месяцам составил 0,138 т, и 0,089 т соответственно.

Так же в подзоне добычу командорского кальмара вели 2 судна типа СРТМ. Первое судно работало в июле среднесуточный вылов для этого судна составил 5,331 т. Второе судно работало в октябре и среднесуточный вылов составил 1,527 т.

Наибольшее количество судов, работавших в подзоне это суда типа СТР, всего в течение года работало 12 судов. В январе работали 3 судна, их

среднесуточный вылов составил 0,208 т. В феврале количество судов было 2 и среднесуточный вылов на одно судно составлял 0,07 т, в мае работало 1 судно, среднесуточный вылов составил 0,1 т. В августе работали 2 судна, среднесуточный вылов – 1,901 т. Наибольшее число судов работало в сентябре и октябре по 7 судов, среднесуточный вылов в эти месяцы составил 5,822 т и 2,945 т соответственно.

В течение года добыча командорского кальмара зафиксирована в течение 6 месяцев. Максимальный вылов приходится на сентябрь и октябрь, суммарный объем добычи в эти месяцы составил 489,021 т и 249,016 т соответственно. В августе суммарный вылов составил 18,641 т. Суммарный вылов в январе составлял менее 5 т, в феврале – 2 т, в марте – 0,1 т.

На основе проведенного анализа выявлены периоды промысловой доступности командорского кальмара по зонам Дальневосточного рыбохозяйственного бассейна и периоды, в которые месячный объем добычи является максимальным:

Западно-Беринговоморская зона: период максимального объема добычи – сентябрь-октябрь, период промысловой доступности кальмара – июль-ноябрь.

Восточно-Камчатская зона: период максимального объема добычи июль, сентябрь-октябрь, для подзоны Петропавловско-Командорская период промысловой доступности – апрель-ноябрь, для Карагинской подзоны – июль-ноябрь.

Северо-Курильская зона: период максимального объема добычи – май-декабрь, период промысловой доступности кальмара – апрель-декабрь.

Южно-Курильская зона: период максимального объема добычи – август-декабрь, период промысловой доступности кальмара – апрель-декабрь.

Подзона Приморья зоны Японского моря: период максимального объема добычи – сентябрь-октябрь, период промысловой доступности кальмара – январь-февраль, август-октябрь.

По данным анализа работы добывающего флота на промысле кальмара составлена таблица (приложение Д) среднесуточных выловов по месяцам периодов промысловой доступности кальмара в каждой промысловой зоне и для рассмотренных типов судов.

1.3 Анализ организационно-управленческих решений по распределению квот на добычу командорского кальмара

Ежегодно на основании нормативно-правовых документов Росрыболовства ведется распределение ОДУ кальмара по видам квот. Значительная часть квот приходится на долю квот для промышленного рыболовства (с 2020 г и (или) прибрежного рыболовства). Для прибрежного рыболовства квоты на добычу кальмара в течение всего рассмотренного десятилетнего периода не выделялись.

Согласно представленным на графиках (приложение Е) данным видно, что при постоянных значениях ОДУ по каждой зоне распределение квот для целей промышленного рыболовства различается по годам.

Положительная динамика в Петропавловско-Командорская подзоне Восточно-Камчатской зоны за период 2015-2019 гг сменилась постепенным снижением объемов квот. Так в 2015 г в этой подзоне между пользователями было распределено 95,6% от установленного на этот год ОДУ, т.е. было распределено 14 335,4 т. В 2016 г наблюдалось незначительное снижение процента распределения, было распределено 95,5% (14 330,6 т). В последующие два года процент распределенных квот вырос, в 2017 г. – 99,2% (14 002,3 т), в 2018 г – 99,9% (14 992,3 т). Снижение доли распределенных квот в 2019 г (98,7% или 14 800,1 т) объясняется введением новых правил. Дальнейшее снижение доли распределенных квот в 2020 г – 95,4% (14 305,9 т), в 2021 г – 93,3% (13 987,9 т), в 2022 г – 80% (11 999 т) связано с введением инвестиционных квот, в 2023 г. доля квот составила 91,1% (13 669,973 т), т.к. доля инвестиционных квот была снижена до уровня 2021

года, в 2024 г доля квот составила 93,4% (14 044,791 т), т.к. один из пользователей инвестиционных квот был их лишен [54].

В Южно-Курильской зоне в период с 2015 по 2018 годы доля распределенных между пользователями квот не превышала 64% (6 366,22 т). Начиная с 2019 года между пользователями было распределено 94% от установленного значения ОДУ (9 283,7 т), с каждым годом доля квот увеличивалась и в 2024 г составила 99,99% (9 999,6 т) [107].

В Северо-Курильской зоне в период с 2015 по 2018 гг доля распределенных между пользователями квот не превышала 93,5%. В 2019 году между пользователями было распределено 97% от установленного значения ОДУ, в последующие годы доля увеличивалась ежегодно и в 2022 году показатель повысился до 99,9%, но затем снова начал снижаться и в 2024 году составлял 97,4% (82 763,7 т) [55].

В 2020 г впервые были выделены объему ОДУ на инвестиционные цели в области рыболовства для осуществления промышленного рыболовства и (или) прибрежного рыболовства (далее – инвестцели) в размере 692,79 т, далее ежегодно объему увеличивались, в 2021 г до 1 010,762 т, в 2022 г до 2 999,742 т, в 2023 г до 3 326,225 т, а в 2024 г объем ОДУ уменьшился до 2 951,29 т. Инвестиционные квоты до 2023 г выделялись для добычи командорского кальмара только в Петропавловско-Командорской подзоне Восточно-Камчатской зоны, но одновременно с этим стало допустимо перераспределение объемов ОДУ между Петропавловско-Командорской подзоной и Северо-Курильской зоной без превышения суммарного общего допустимого улова. В 2023 г были выделены объемы ОДУ в Петропавловско-Командорской подзоне Восточно-Камчатской зоны (1 328,737 т) и в Северо-Курильской зоне (1 997,488 т) и так же допустимо перераспределение объемов ОДУ между Петропавловско-Командорской подзоной и Северо-Курильской зоной без превышения суммарного общего допустимого улова. Незначительные изменения распределения квот на инвестцели были в 2024 году, т.к. один из пользователей лишился инвестиционных квот и объем квот

составил 953,919 т в Петропавловско-Командорской подзоне Восточно-Камчатской зоны и 1 997,371 т в Северо-Курильской зоне.

В приложении Ж представлена динамика объемов выделенных и распределенных квот на инвестцели. Согласно представленным на рисунке Ж.1 данным видно, что только в 2022 г доля распределенных квот составила 44,3% от заявленных объемов ОДУ, в остальные годы объемы распределенных квот на инвестцели соответствовали объемам ОДУ установленных для этих целей.

Проведенный анализ объемов частей ОДУ [140], распределенных между пользователями показал, что для пользователей квот ДВРБ наименьший объем доли за рассматриваемый десятилетний период составлял 0,397 т, а наибольший – 39 597,02 т. Таким образом, автором было проведено ранжирование объемов квот по четырем группам: до 100 т (группа А), от 100 до 1 000 т (группа Б), от 1 000 до 3 000 т (группа В), свыше 3 000 т (группа Г). Все пользователи были отнесены к одной из групп по годам.

Всего за весь рассматриваемый десятилетний период было зафиксировано 59 пользователей, из них в Петропавловско-Командорской подзоне – 15 пользователей без учета пользователей инвестиционных квот (16 с учетом пользователей инвестиционных квот), в Южно-Курильской зоне – 14, в Северо-Курильской зоне – 54 без учета пользователей инвестиционных квот (55 с учетом пользователей инвестиционных квот). Динамика распределения числа пользователей (без учета пользователей инвестиционных квот) по годам представлена в приложении З.

Не наблюдается четкой зависимости освоения объемов ОДУ от количества пользователей имевших квоты. При одинаковом числе пользователей в 2021 и 2022 гг. в Петропавловско-Командорской подзоне Восточно-Камчатской зоны освоение объемов ОДУ кальмара сильно различается и равно 71,9% и 18,5% соответственно. Аналогичная ситуация наблюдается и по остальным зонам и годам.

Динамика зависимости числа пользователей и количества лет, в течение которых они имели квоты на добычу кальмара в зонах ДВБР представлена в приложении И.

В Петропавловско-Командорской подзоне Восточно-Камчатской зоны 7 пользователей (46,7%) имела квоты на всем рассматриваемом десятилетнем периоде, 3 пользователя (20%) имели квоты только один год, 2 пользователя (13,3%) – 7 лет, по одному пользователю – 4 года, 5, 6, 7 и 8.

В Южно-Курильской зоне 3 пользователя (21,4%) имели квоты на всем рассматриваемом десятилетнем периоде, по 1 пользователю (14,3%) – 2 года, 5, 7, 8 и 9 лет, 2 пользователя – 1 год и 6 лет.

В Северо-Курильской зоне 16 пользователей (29,6%) имели квоты на всем рассматриваемом десятилетнем периоде, по 2 пользователя (3,7%) имели квоты 7 и 9 лет, 9 пользователей (16,7%) имели квоты 1 год, 8 пользователей (14,8%) – 2 года, 6 пользователей (11,1%) – 6 лет, 5 пользователей – 4 года, 4 пользователя – 5 лет, 1 пользователь (1,8%) – 8 лет. Среди пользователей имевших квоты на протяжении всего периода выделяется пользователь с максимальной ежегодной долей квот.

В группе А за весь десятилетний период в Петропавловско-Командорской подзоне Восточно-Камчатской зоны наблюдалось 3 пользователя, при этом ни один из пользователей не имел квот на весь рассматриваемый период. Один из пользователей имел квоты только один год, два других – по 6 и 7 лет. В Южно-Курильской зоне в группе А наблюдалось 6 пользователей, при этом два из них имели квоты на весь рассматриваемый период, и еще два «перешли» в группу Б, один в 2018 г, второй в 2019 г, еще один пользователь этой группы владел квотами 8 лет (с 2016 г), а другой только один год – 2015. В Северо-Курильской зоне в группе А за весь период наблюдалось 8 пользователей, при этом два из них имели квоты в период с 2015 по 2018 гг, один из этой группы имел квоты только в 2015 г, и два из этой группы имели квоты по два года, один в 2015 и 2016 гг, а другой в 2019 и 2020 гг, еще 4 «перешли» в группу Б, один в 2021 г, три в

2019 г, а последний пользователь принадлежал этой группе в 2015 г, в 2016 г по величине квоте он относился к группе Б, а с 2017 г в группе В.

Самой многочисленной по пользователям в каждой рассматриваемой зоне группой является группа Б. В Петропавловско-Командорской подзоне Восточно-Камчатской зоны в период с 2015 по 2017 гг наблюдалось 7 пользователей, в 2018 г их количество сократилось до 6, т.к. одному из пользователей была увеличена доля и он «перешел» в группу В. Таким образом в группе Б 3 пользователя имели квоты весь рассматриваемый период, 2 пользователя имели квоты только по одному году (один в период 2015-2018 гг, второй в период 2019-2024 гг), по одному были пользователи, имевший квоты 3 года (далее пользователь относился к группе В), и имевшие квоты 4 (с 2015 по 2019 гг) и 7 лет. В Южно-Курильской зоне в группе Б в период с 2015 по 2017 гг наблюдалось 2 пользователя, в 2018 г их количество увеличилось до 5, квоты получили два новых пользователя и один перешел из группы А, таким образом среднее число пользователей группы Б в период с 2015 по 2018 гг можно принять 4. В период с 2019 по 2024 гг в группе Б наблюдалось 8 пользователей, только 2 из которых имели квоты все 6 лет, еще по два имели квоты 3 и 4 года, и одни 2 года (в 2019 и 2020 гг), а в 2022 г. квоты на 1 год получил новый пользователь, таким образом среднее число пользователей за этот период можно принять 6. В Северо-Курильской зоне в группе Б в период с 2015 по 2018 гг наблюдалось 26 пользователей, а с 2019 г их количество уменьшилось до 22. 5 пользователей этой группы имели квоты весь рассматриваемый период, 2 пользователя имели квоты 9 лет (один кроме 2015 г, второй кроме 2023 г), 1 пользователь имел квоты 7 лет (кроме 2019 и 2024 гг), 4 пользователя группы Б имели квоты по 6 лет, 1 пользователь – 4 года (2015-2018 гг), а 2 пользователя 3 года начиная с 2021 г 9 пользователей относящихся к группе Б имели квоты по 1 году из девяти, еще 3 по 2 года.

В Петропавловско-Командорской подзоне Восточно-Камчатской зоны в группе В в период с 2016 по 2017 гг наблюдалось 2 пользователя, в 2018 г число пользователей увеличилось на 1 (переход из группы Б), 2 пользователя

имели квоты все 9 лет, 1 пользователь имел квоты до 2019 года включительно. В Южно-Курильской зоне только один пользователь может быть отнесен к группе В, и квоты он имел только два года с 2015 по 2016 гг. В Северо-Курильской зоне к группе В с 2015 по 2018 гг относились 4 пользователя, в период с 2018 по 2024 гг количество пользователей относящихся к данной группе увеличилось до 7. Два пользователя из группы В квоты весь рассматриваемый период, один имел квоты 8 лет (с 2016 г), два пользователя перешли из группы Б после увеличения квот, и в 2020 г появился новый пользователь.

Пользователи, относящиеся к группе Г, в каждой из рассматриваемых зон имели квоты весь десятилетний период. В Петропавловско-Командорской подзоне Восточно-Камчатской таких пользователей наблюдалось 2. В Южно-Курильской зоне – 1 пользователь, в Северо-Курильской – 5.

Три пользователя инвестиционных квот относятся к группе Б. У одного из пользователей объемы квот на протяжении периода 2020-2024 гг оставались неизменными, у второго увеличились в 2 раза в 2021 г по сравнению с 2020 г, а в 2022 г еще раз в 1,5 раза по сравнению с предыдущим годом, в 2023 г остались на уровне 2022 г. Оба эти пользователя получили квоты на вылов кальмара в Петропавловско-Командорской подзоне Восточно-Камчатской зоны. В 2023 г еще один пользователь получил квоты в Северо-Курильской зоне. Для всех пользователей инвестиционных квот допустимо перераспределение объемов ОДУ между Петропавловско-Командорской подзоной и Северо-Курильской зоной без превышения суммарного общего допустимого улова.

Динамика распределения числа пользователей без учета пользователей инвестиционных квот по группам за периоды 2015-2018 гг и 2019-2024 гг представлена в приложении К. Динамика распределения среднегодовых объемов квот по группам пользователей за периоды 2015-2018 гг и 2019-2024 гг представлена в приложении Л.

На основании представленных в диаграммах данных можно сформулировать следующие результаты: основной объем квот приходится на доли пользователей группы Г, в которой на протяжении рассматриваемого периода было по 2 пользователя в Петропавловско-Командорской подзоне Восточно-Камчатской зоны, по одному в Южно-Курильской зоне и по 7 в Северо-Курильской зоне. Все пользователи этой группы имели квоты все девять лет. Доля квот пользователей группы Г составила 73,7% в период 2015-2018 гг и 71,5% в период 2019-2024 гг в Петропавловско-Командорской подзоне, 72,5% в период 2015-2018 гг и 70,7% в период 2019-2024 гг в Южно-Курильской зоне и 82,4% в период 2015-2018 гг, и 77,6% в период 2019-2024 гг в Северо-Курильской зоне.

У самой многочисленной группы Б (в среднем 7 пользователей за период 2015-2018 гг, и 5 пользователей за период 2019-2024 гг в Петропавловско-Командорской подзоне Восточно-Камчатской зоны) удельный вес общего среднегодового объема квот составил 6,9% за период 2015-2018 гг и 6% за период 2019-2024 гг, что значительно ниже показателей удельного веса для группы В 19,1% и 21,9% за периоды 2015-2018 гг и 2019-2024 гг соответственно. Группа Б в Южно-Курильской зоне так же является самой многочисленной (в среднем 5 пользователей за период 2015-2018 гг, и 6 пользователей за период 2019-2024 гг) удельный вес общего среднегодового объема квот составил 8,1% за период 2015-2018 гг. и 27,2% за период 2019-2024 гг, что значительно ниже показателей удельного веса для группы Г, где только 1 пользователь в этой зоне. Аналогично в Северо-Курильской зоне (26 пользователей за период 2015-2018 гг, и 22 пользователь за период 2019-2024 гг) удельный вес общего среднегодового объема квот составил 9,7% за период 2015-2018 гг и 11,9% за период 2019-2024 гг, что значительно ниже показателей удельного веса для группы Г.

Выводы по главе 1

Проведенный анализ современного состояния промысла командорского кальмара позволил выявить основную проблему – неэффективное освоение данного промыслового объекта. Признаками неэффективности являются:

- сложные условия промысла, связанные с биологическими и промысловыми характеристиками командорского кальмара, с особенностями его распределения по промысловым зонам Дальневосточного рыбохозяйственного бассейна, включая его разновременную суточную промысловую активность и сезонную доступность;

- привлечение на данный вид промысла ряда крупнотоннажных добывающих судов, имеющих низкие производственные показатели по добыче. Это связано с использованием на данном виде промысла донных тралов и соответствующей технологии донного траления. Объемы суточной добычи при этом не обеспечивают эффективность работы таких судов, не покрывают их эксплуатационные затраты, что ведет к отрицательному финансовому результату рыбодобывающей деятельности;

- наличие нерационального распределения промысловых усилий по промысловым зонам;

- неэффективная организация работы добывающего флота, заключающаяся в их «коротких» рейсобооротах. Они приводят, в свою очередь, к уменьшению эксплуатационных периодов. Эти два обстоятельства возникают на основе нерационального распределения общедопустимых уловов по видам рыболовства – промышленное рыболовство, включая освоение инвестиционных квот, и по объемам квот между пользователями и далее по судам;

- отсутствие заинтересованности пользователей в освоении квот в случае установления рекомендованных объемов добычи с последующей заявочной кампанией на получение таких квот.

Перечисленные признаки являются признаками неэффективных планирования и организации исследуемого промысла.

Решение проблемы освоения командорского кальмара, направленное на повышение его эффективности, требует разработки ряда организационно-управленческих решений.

С учетом вышеуказанного, в данной работе поставлены следующие задачи:

- спроектировать новую однообъектную систему по промысловому объекту «кальмар командорский» с учетом его биологических особенностей обитания, поведения в естественных условиях и в зоне действия орудия рыболовства (донного трала), периодами промыслового освоения, с вовлечением в промысел эффективных промысловых мощностей, наделенных оптимальными объемами квот с обязательным распределением по промысловым районам и зонам;
- разработать математическую модель оптимизации работы добывающего флота на промысле командорского кальмара;
- создать пакет компьютерных программ организационно-управленческой оптимизации;
- провести оптимизацию распределения судов по зонам промысла командорского кальмара;
- оптимизировать годовой режим эксплуатации промысловых мощностей с учетом периодов промысловой доступности;
- оптимизировать процесс управления годовой эксплуатацией добывающих судов на промысле командорского кальмара.

Глава 2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОМЫСЛА КОМАНДОРСКОГО КАЛЬМАРА

Совершенствование промысла командорского кальмара направлено на повышение эффективности его освоения путем решения существующих проблем организационно-управленческого характера.

Учитывая идеологию промысла – взаимосвязанного биолого-техно-технологического процесса и природных факторов, обязательным является определение научных основ, методов и методик для решения обозначенных проблем. В качестве основного научного метода нами предлагается системный подход, который позволит осуществить проектирование новой однообъектной системы «кальмар командорский» с учетом его биологических особенностей обитания, поведения в естественных условиях и в зоне действия орудия рыболовства (донного трала), периодами промыслового освоения, с вовлечением в промысел эффективных промысловых мощностей, наделенных оптимальными объемами квот с обязательным распределением по промысловым районам и зонам.

Построение (проектирование) сложной системы организации промысла кальмара на основе системного подхода включает в себя исследование системных признаков вновь создаваемой промысловой системы, организацию и функционирование в ней биолого-техно-технологических процессов.

Методология исследования операций как совокупность методов и методик, включающих в себя методы математического моделирования и оптимизации, на наш взгляд, позволит произвести подбор необходимого математического инструментария для решения задач, направленных на моделирование и оптимизацию вновь созданной организационно-управленческой однообъектной системы «кальмар командорский».

Совершенствование управления созданной промысловой системой при построении математических моделей разного уровня и их оптимизации направлено на учет всей многоаспектности процессов в ней происходящих [75]. Например, особенности поведения гидробионтов при обосновании режима работы судна или группы судов, естественные суточные миграции промысловых объектов при выборе тактики ведения технологических процессов по добыче и т.д. В этой связи создание таких математических моделей и выбор математического инструмента требует учета особенностей математического моделирования процессов и систем добычи водных биологических ресурсов: стохастичности и вероятностной природы.

2.1 Системный подход к проектированию однообъектной промысловой системы «кальмар командорский»

На протяжении длительного времени традиционный подход к проектированию рыболовных систем, используемый исследователями, заключался в рассмотрении отдельных подсистем – таких как лов, организация промысла и состояние запасов водных биоресурсов [57, 71, 111, 121]. В рамках этого подхода выделялись два типа систем: искусственные (созданные человеком для достижения конкретных целей) и естественные (природные), представляющие собой совокупности природных компонентов, свойства которых могут быть задействованы в функционировании искусственных систем [71, 133, 135].

Хотя данная классификация позволяла моделировать и оптимизировать существующие рыболовные системы, но некоторые задачи оптимизации промысловой деятельности требуют реализации нового подхода к организации промысла важных промысловых объектов. Наиболее эффективным в данном случае будет использование системного подхода организации промысла, учитывающего многие факторы [41, 57, 67, 71, 75]. Корни системного мышления восходят к работам Людвиг фон Берталанфи, который в 1968 году заложил основы общей теории систем, определив

систему как «множество взаимодействующих элементов, находящихся в отношениях между собой и окружающей средой» [17]. В контексте рыбопромысловых систем данный подход приобретает особую значимость, поскольку позволяет учитывать многофакторность и динамичность рыбных промыслов. Согласно работам Норинова Е.Г., системный подход базируется на принципах целостности, иерархичности, взаимосвязанности элементов и адаптивности системы к изменяющимся условиям [137]. Развитие системного подхода представлено в работах [19, 20, 21, 24, 34, 39, 44, 49, 65, 66, 74, 88, 127, 128, 151, 159, 161, 173, 174, 186, 187, 188, 189, 195].

Системный подход рассматривает промысел как совокупность взаимодействующих подсистем: популяционная динамика объекта лова, технические возможности добывающего флота, метеоусловия, логистика доставки улова и система распределения квот. Основными принципами системного подхода являются:

- целостность: рассмотрение всей системы в совокупности её элементов;
- иерархичность: выделение уровней управления и функциональных подсистем;
- взаимосвязь компонентов: учёт влияния отдельных частей системы друг на друга;
- адаптивность: способность системы реагировать на изменения внешней среды.

Применение системного подхода позволяет сформировать комплексное представление о промысловой деятельности, обеспечить более точное моделирование и повысить качество принимаемых управленческих решений.

Учитывая высокую степень сложности промысловой системы, её анализ и оптимизация невозможны без использования метода декомпозиции. Данный метод заключается в разложении исходной задачи на ряд более простых подзадач, решение которых может быть выполнено автономно или последовательно, а затем интегрировано в общее решение.

Применительно к организации промысла гидробионтов декомпозиция позволяет выделить следующие ключевые этапы:

Распределение добывающего флота по промысловым зонам с учётом доступности объекта, сезонных миграций и распределения квот (РОВ, ОДУ).

Планирование промысловой деятельности внутри зоны, включая выбор оптимальной траловой дороги, маршрутизацию судов и распределение времени работы.

Управление логистикой материально-технического обеспечения и доставки улова, включающее планирование рейсов, транспортировку сырья и координацию с береговыми терминалами.

Мониторинг и прогнозирование динамики популяции промыслового объекта с целью обеспечения устойчивости рыболовства и соблюдения экологических норм.

Декомпозиция не только упрощает решение общей задачи, но и позволяет применять различные математические методы и алгоритмы оптимизации на каждом уровне, что повышает точность и эффективность моделирования.

Эффективное управление промыслом гидробионтов возможно при интеграции системного подхода и метода декомпозиции. Такой подход позволяет сочетать целостное видение системы с возможностью решения конкретных задач на уровне отдельных подсистем.

На практике это выражается в следующем:

- на уровне стратегического управления используется системный подход для формирования общей картины развития промысловой системы;
- на уровне тактического и оперативного управления применяется метод декомпозиции для решения текущих задач по распределению ресурсов, планированию работ и оптимизации логистики.

Интеграция данных методов особенно актуальна при моделировании многовидовых промысловых систем, где необходимо учитывать различия в биологических характеристиках объектов, условиях их доступности и

регулировании добычи. Использование системного подхода в сочетании с декомпозицией открывает возможность для создания адаптивных моделей, способных учитывать изменяющиеся внешние условия и обеспечивать устойчивое развитие рыбодобывающей отрасли.

Норинов Е.Г. выделяет ключевые этапы системного проектирования: идентификацию проблемы, определение границ системы, выделение подсистем, анализ связей между элементами, формирование критериев эффективности и поиск оптимального решения [140]. Эти этапы последовательно были применены при разработке однообъектной системы промысла командорского кальмара, где в качестве системы рассматривался комплекс «Промысловый объект – добывающие суда – квоты – траловая технология добычи». Так как рыбодобывающая деятельность включает взаимодействие объектов промысла и технических средств добычи (судов, орудий лова, технологий) наиболее оптимальным является системный подход к организации промысла [69], который позволяет:

- классифицировать и проектировать новые системы,
- изучать их характеристики и требования,
- анализировать внутренние связи и взаимодействия.[68, 69, 75].

Применительно к промыслу командорского кальмара системный подход позволил:

1. Определить границы системы – выделить Дальневосточный рыбохозяйственный бассейн как среду функционирования промысловой системы и установить взаимодействие с внешними факторами (рыночный спрос, климатические условия, регуляторная среда).

2. Выделить подсистемы – согласно методологии Норина, в системе промысла кальмара были выделены три ключевые подсистемы [139]:

- биологическая подсистема (динамика популяции кальмара, сезонные миграции, поведение в зоне траления)
- технологическая подсистема (тип и количество судов, режимы работы, технология донного траления)

– управленческая подсистема (распределение квот, планирование рейсов)

3. Установить связи между элементами – проведенный анализ показал, что низкая эффективность промысла обусловлена нарушением баланса между подсистемами: крупнотоннажные суда не соответствуют биологическим особенностям кальмара, а нерациональное распределение квот нарушает экономическую целесообразность промысла [139].

4. Оптимизировать систему – на основе системного анализа была разработана математическая модель, обеспечивающая синхронизацию всех подсистем через оптимальное распределение флота по зонам промысла с учетом периодов доступности кальмара [138].

Системный подход позволяет преодолеть узкую специализацию традиционных методов исследования и обеспечивает комплексное решение проблем [139]. Результатом применения системного подхода стала структурная модель, включающая в себя биологический компонент – промысловый объект, технологический компонент – промысловые суда и технология лова, экономический компонент – эффективность промысла. Модель представлена в виде схемы (рисунок 3)[49]. Схема отражает современные представления о системной организации промысла водных биоресурсов, базирующиеся на фундаментальных положениях теории рыболовства [73, 110, 113, 115, 116, 117, 122, 124]. В основе схемы лежит системный подход, рассматривающий процесс добычи промыслового объекта как сложную динамическую систему с множеством взаимосвязанных элементов. Таким образом, системный подход представляет собой не просто набор методов, а целостную философию проектирования сложных промысловых систем, обеспечивающую их устойчивое и эффективное функционирование в условиях неопределенности и динамично меняющейся среды.

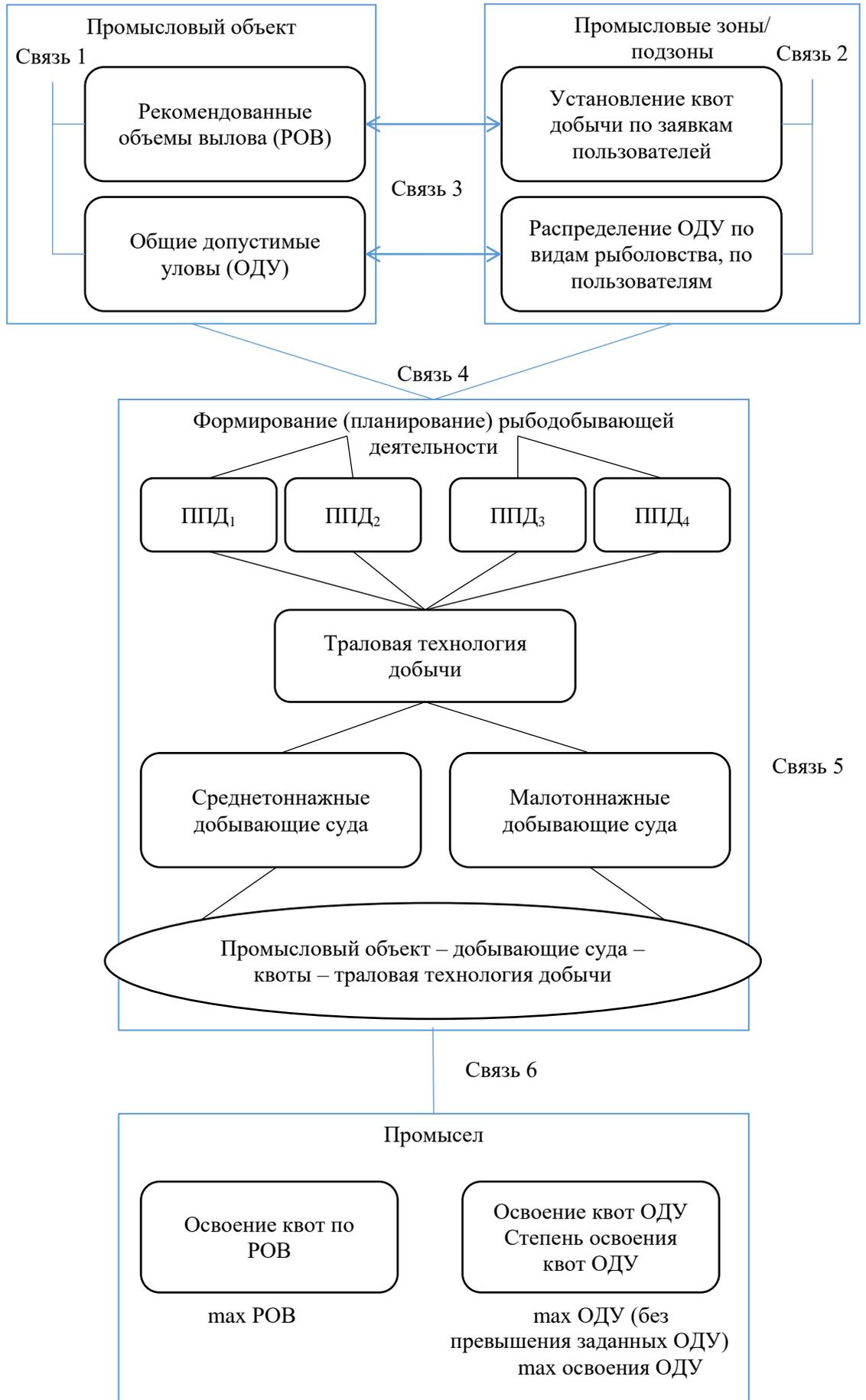


Рисунок 3 – Структурно-функциональная схема «промысел»

Связь 1: Промысловый объект – РОВ/ОДУ

Данная связь показывает качество промыслового объекта, его деление на объект на который устанавливаются рекомендованные объемы вылова (РОВ) и объект на который устанавливаются общие допустимые уловы (ОДУ).

Таким образом, промысловый объект представляет собой **совокупность 1** – совокупность качеств промыслового объекта: одуемый объект и неодуемый объект.

Связь 2: Промысловые зоны – Установление квот добычи по заявкам пользователей, Промысловые зоны – Распределение ОДУ по видам рыболовства, по пользователям

Совокупность 2: совокупность промысловых зон и подзон, в которых промысловый объект имеет одно из своих качеств: одуемый или неодуемый.

Связь 3: РОВ/ОДУ – Установление квот добычи по заявкам пользователей/Распределение ОДУ по видам рыболовства, по пользователям

Связь показывает соотнесение качества промыслового объекта и вид квоты, которые на него устанавливаются.

В промысловой зоне, где промысловый объект является объектом с РОВ, устанавливаются квоты добычи по заявкам пользователей. В промысловой зоне, где на объект устанавливаются ОДУ, идет распределение ОДУ по видам рыболовства (промышленное и/или прибрежное, инвестиционное) и по пользователям.

Связь 4: РОВ/ОДУ + Установление квот добычи по заявкам пользователей/Распределение ОДУ по видам рыболовства, по пользователям – Период промысловой доступности объекта

Связь показывает соотнесение качества промыслового объекта и вид квот с периодом промысловой доступности объекта.

Совокупность 3: совокупность периодов промысловой доступности объекта.

Совокупность 4: совокупность среднетоннажных и малотоннажных судов с траловой вооруженностью (донный трал).

Связь 5: Промысловый объект – Добывающие суда – Квоты – Траловая технология добычи.

Данная связь соединяет промысловый объект, совокупность типового и количественного состава добывающих судов, выделенные квоты и траловую технологию добычи. Эта связь показывает возможность задействования добывающих судов на промысле объекта.

Связь 6: Планирование рыбодобывающей деятельности – Промысел.

Схема (рисунок 3) наглядно демонстрирует комплексный характер организации промысла, учитывающий биологические, технические и экономические факторы, что соответствует современным представлениям о системной организации рыболовства [72]. Она может служить основой для разработки оптимизационных моделей освоения водных биоресурсов.

Такое представление системы позволяет эффективно решать задачи планирования и управления промыслом с учетом всех значимых факторов, влияющих на его результативность.

2.1 Математические модели теории рыболовства

Рассматривая процесс добычи кальмара как индустриальную систему, в ней выделяются в качестве основных процессов - процесс добычи объекта в нескольких промысловых зонах. В каждой промысловой зоне объект обладает определенными свойствами, связанными с биологическими и биометрическими характеристиками, влияющими на его поведение, а также качеством промыслового объекта – его деление на объект, на который устанавливаются рекомендованные объемы вылова и объект, на который устанавливаются общие допустимые уловы. Вылов объектов промысла осуществляется добывающими судами, обладающими характеристиками и возможностями работы в определенном промыслово-технологическом режиме. Особенности работы судна определяются его техническими характеристиками, а также реальными условиями ведения промысла.

Анализ лова производится на основании расчета показателей лова и условия максимизации его производительности. Для этих расчетов используются биотехнические модели, учитывающие механику орудий рыболовства, различные показатели и параметры их использования по отношению к целевым видам. Учет селективности орудий рыболовства производится в моделях селективности лова. Такие модели служат не только для определения технических характеристик орудий лова, но и для оценки показателей производительности этих орудий и величины улова.

Разработка математической модели управления добычей промыслового объекта обеспечивает эффективную оптимизацию промышленного рыболовства благодаря внедрению системы поддержки принятия управленческих решений [7, 23, 28, 64, 162].

Вид математической модели, используемой для принятия управленческих решений, зависит от характера процессов, протекающих в управляемой системе, а также от информации известной об этих процессах и конечно же от целей моделирования.

При моделировании любой системы выделяют следующие основные этапы:

- постановка задачи, определение цели моделирования;
- изучение моделируемой системы в целом, выделение подсистем и задач;
- подбор методов решения задач и моделей для описания подсистем;
- проведение предварительных работ по формализации системы;
- непосредственное моделирование с применением выбранных метод и способов описания модели;
- анализ полученной модели и результатов моделирования.

Последний этап является обязательным и важным этапом моделирования, т.к. позволяет дать оценку построенной модели. Наиболее часто используемыми показателями являются адекватность и точность.

Адекватность модели это степень близости модели реальному состоянию системы. Точность это погрешность расчетов. Оценка этих параметров во многом зависит от выбранной модели и методов моделирования.

Модели математического моделирования, применяемые при моделировании процессов промышленного рыболовства делятся на статические и динамические [56, 69, 122]. Статические модели описывают выбранный режим работы, а динамические – переход от одного режима работы к другому.

Дальнейшая классификация математических моделей, используемых в рыболовстве, получается при выборе методов исследования. В этом случае модели могут быть детерминированными и стохастическими (рисунок 4).



Рисунок 4 – Классификация математических моделей

Основой для детерминированных моделей являются данные о внутренней структуре управляемой системы. Если же данные о процессах и объектах моделирования полностью или частично отсутствуют в таком случае это уже стохастическая модель. И детерминированные и стохастические модели могут быть и численными, и аналитическими в

зависимости от используемых математических методов. Классификация математических моделей, используемых для описания процессов, протекающих в рыболовстве, представлена на рисунке 4.

В зависимости от используемой математической модели при моделировании применяются различные математические методы. Стохастические модели используют экспериментально-статистические методы, которые позволяют оценить степень зависимости входных данных от выходных, т.е. выявить влияние неуправляемых факторов. Методы, используемые детерминированными моделями, представлены на рисунке 5.



Рисунок 5 – Математические методы детерминированных моделей

Принятие управленческих решения зависит от целей управления. С точки зрения временной характеристики управление делится на стратегическое, оперативное и тактические [7].

Стратегическое управление – результат управляющих воздействий проявляется через длительное время, оперативное управление – результат

управляющих воздействий проявляется через короткое время, тактическое управление – результат управляющих воздействий проявляется практически сразу, т.е. через очень короткий промежуток времени.

Каждое из видов управления является важным и для каждого из них выбираются свои критерии в зависимости от различных параметров. Параметры или их еще называют факторы, влияющие на выбор критериев управления, условно можно разделить на две группы:

- управляемые – те, на которые можно воздействовать,
- неуправляемые – те, на которые нельзя оказать никакого воздействия.

К управляемым параметрам относятся расположение судна в районе промысла, используемые орудия рыболовства и прочие факторы, на которые человек, т.е. управляющий орган, может воздействовать. К неуправляемым факторам относятся поведение промысловых объектов, их биологическое состояние, гидрометеорологические условия районов промысла и другие не зависящие от человека условия [7, 154].

Задача системного подхода состоит в том, чтобы учесть все факторы при моделировании процесса промысла. Основная цель системного анализа выявить основополагающие процессы. Обобщенная схема системного анализа представлена на рисунке 6.

Любая сложная система должна быть и целостной и в тоже время состоящей из подсистем, каждая из которых обладает своими свойствами и выполняет определенные операции. При выделении подсистем необходимо учитывать физические и биологические особенности объектов системы, их функциональные возможности и взаимодействие.

Особенность управления промыслом заключается в том, что промысел является стохастическим процессом. В задачах управления, для которых нет полной картины об обстановке, объекте управления или его поведении, хорошим подспорьем являются модели, в частности математические модели, которые позволяют провести анализ по имеющимся неполным данным.

Таким образом, для управления промыслом как единой индустриальной сложной системой должны использоваться стохастические динамические модели, в то время как подсистемы могут описываться и стохастическими динамическими моделями, и стохастическими статическими моделями.



Рисунок 6 – Схема системного анализа

Еще одной трудностью является неопределенность. Общее количество запасов промысловых ресурсов можно определить приближенно, так же с определенной вероятностью можно предсказать данные о росте, миграции, пополнении запасов и естественной смертности промысловых объектов.

В силу того, что промысловые ресурсы являются возобновляемые и воспользоваться этим ресурсом необходимо так чтобы не нанести ущерба их запасам в долгосрочной перспективе. Для этого устанавливаются определенные правила и предписания для рыбодобывающих судов указывающие где, как и сколько можно добывать эти самые ресурсы. Таким образом, эффективное управление должно начинаться с полного соблюдения правил рыболовства. Оценку успешности управления рыболовством можно

выполнить только в том случае, если четко сформулировать и определить цель, которую необходимо достичь с помощью управления. Достижение целей управления главная задача любой модели, идеальным будет сочетание всех трех видов управленческого воздействия. Одним из вариантов реализации такой управленческой системы может стать модель распределения добывающих судов в многовидовой промысловой зоне [72, 73].

Целевой функцией может стать суммарный объем добычи всем промысловым флотом с учетом ограничений различного вида [124]. В общем виде целевая функция представляет собой зависимость от целевых объектов промысла, используемых средств и методов промысла, режимов работы добывающих судов, количества добывающих судов, с их делением по типам и т.д. Т.е. целевая функция это многопараметрическая функция, причем на каждый параметр функции накладываются свои ограничения, которые образуют общую систему ограничений, записанных в виде неравенств.

Так же целевой функцией может быть любой из экономических показателей, например, освоение заданных показателей ОДУ для промыслового объекта по всем промысловым зонам, в которых ведется добыча объекта. В качестве целей управления могут выступать максимизация дохода при заданных ограничениях на промысел, минимизация издержек, сохранения промысловых запасов и окружающей среды и многие другие.

С другой стороны, одним из самых жестких ограничений при решении оптимизационной задачи является ограничения, накладываемые на целевой объект промысла в виде ОДУ, устанавливаемый для каждой промысловой зоны (подзоны) отдельно.

Целевую функцию в общем виде можно записать следующим образом:

$$F = \sum_{i=1}^n f(a_{ij}, x_{ij}, d_{ij}), \quad (1)$$

где a_{ij} – средний суточный вылов судна j в промысловой зоне i ,

x_{ij} – количество судов j в промысловой зоне i ,

d_{ij} – продолжительность промысла судна j в промысловой зоне i ,

f – функция, описывающая зависимость между указанными параметрами и отражающая определённый экономический показатель.

Функциональная зависимость (1) может быть линейной и нелинейной, в зависимости от поставленных целей.

Управление промыслом неизменно связано с ограничениями, которые записываются обычно в виде неравенств, в качестве ограничений может выступать установленные объемы ОДУ и рекомендованные объемы вылова на водные биологические ресурсы для промысловых зон, период промысловой доступности объекта промысла, фактически имеющийся состав добывающего флота и многое другое [124].

Важной составляющей при построении модели управления является получение обратной связи. Обратная связь выполняет несколько функций: сравнительный анализ ожидаемых результатов, полученных в результате моделирования, и фактически полученных значений, в результате выполнения принятых управленческих решений, непосредственно на промысле объектов; корректировка управленческих воздействий, что влечет достижение поставленной цели управления. Одним из вариантов получения обратной связи является мониторинг промысловой деятельности [158].

Использование цифровых технологий значительно упрощает рутинную деятельность (например, автоматизированное заполнение общей части отчетной документации), что дает возможность сосредоточиться на принятии управленческих решений и оперативном вмешательстве в производственную деятельность. Так при использовании автоматизированных систем анализа судовых суточных донесений с автоматическим построением графиков динамики добычи водных биологических ресурсов появляется возможность оперативного управления добывающей деятельностью судна.

Одной из разновидностей цифровых технологий являются цифровые платформы. Это реализованные с помощью специальных средств виртуальные ресурсы, позволяющие заинтересованным лицам обмениваться информацией и сотрудничать. В частности в рыбохозяйственной отрасли является актуальным цифровизация взаимодействия рыбодобывающих предприятий и управляющего органа [192]. Создание платформы планирования и управления рыбодобывающей деятельностью на уровне предприятия и/или на государственном уровне будет способствовать повышению эффективности рыболовства в целом.

Для стабильной работы информационно-технических средств используются разработанные справочники, данные в которых обновляются по мере надобности.

Действующие в данный момент информационные потоки на примере командорского кальмара можно описать следующей схемой (рисунок 7) [59].

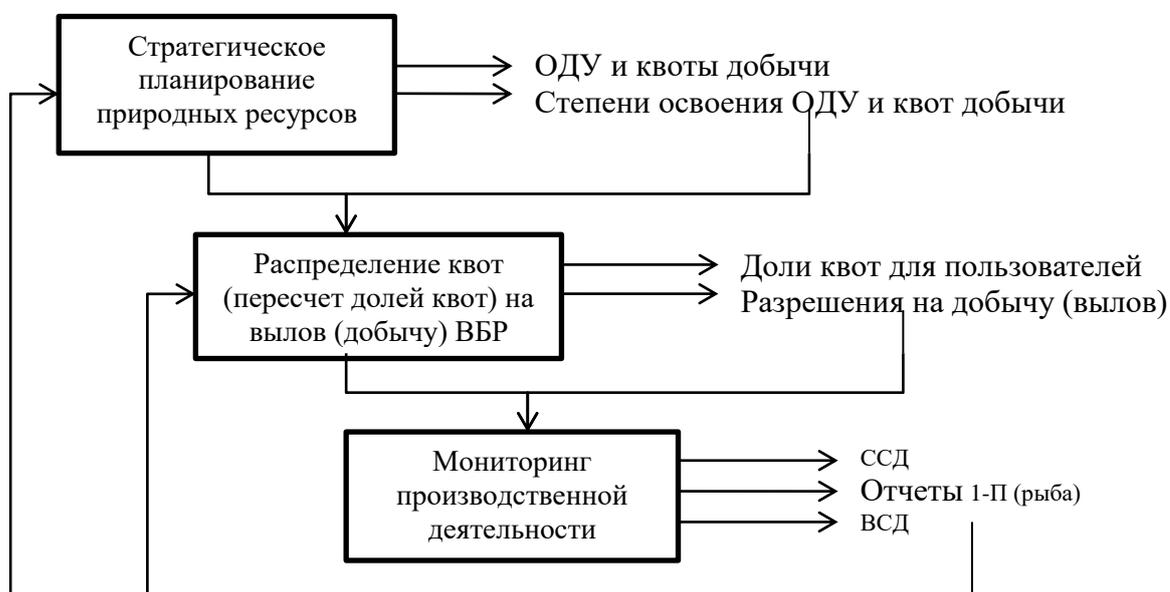


Рисунок 7 – Действующие информационные потоки цифровых услуг в области промышленного рыболовства

Стратегическое планирование природных ресурсов включает в себя выполнение следующих действий:

- установление ОДУ и квот добычи (вылова) кальмаров по зонам и подзонам Дальневосточного Рыбохозяйственного бассейна.
- определение желательной степени освоения ОДУ и квот добычи кальмара по каждой зоне и/или подзоне.

Выдача разрешений на добычу (вылов) ВБР и мониторинг производственной деятельности осуществляется с помощью действующего портала ОСМ [157]. ССД формируются и отправляются добывающими судами с помощью ЭРЖ, в который интегрирована система «Меркурий», используемая для оформления ВСД.

В работе [73] предложена обобщенная оптимизационная модель системной организации и планирования рыболовства, которая может быть использована для внедрения организационно-управленческих решений в рыболовстве.



Рисунок 8 – Модернизированные информационные потоки цифровых услуг в области промышленного рыболовства

На примере добычи командорского кальмара схема информационных потоков с учетом предложенной модели и разработанного комплекса компьютерных программ примет вид, представленный на рисунке 8 [59].

При задействовании разработанной обобщенной модели необходимо выполнить анализ состава действующего флота без привязки к предприятиям. Данный блок позволит провести анализ имеющего флота и одновременно сформировать справочник судов, который будет активно использован в информационных процессах организации промысла кальмаров. В действующей системе информационных потоков имеется модуль регистрации судов и судовладельцев, которая может стать основой для формирования требуемой базы данных судов.

Результатом задействования обобщенной схемы организации и планирования рыболовства на примере добычи кальмаров стала [73, 80, 90, 92, 93]:

1. Создание схемы производственно-технологического соответствия типов добывающих судов и технологий добычи с биологической цепочкой «кальмар – период (сезон) календарного года – промысловая зона (подзона)».

2. Определение производственно-технологического состава добывающего флота с учетом формы организации промысла и определения оптимального состава флота для достижения удовлетворительных показателей освоения кальмара в промысловых зонах Дальневосточного рыбохозяйственного бассейна.

3. Осуществление планирования рейсооборота добывающих судов, включая расчет режимов работы с учетом норм и нормативов по эксплуатации флота по типам добывающих судов.

Традиционные методы планирования и ведения промысла, основанные на опыте экипажа и статистических данных, не позволяют адекватно учитывать динамику распределения рыбных ресурсов, гидрометеорологические условия и технические ограничения судов. В связи с этим актуализируется задача системной оптимизации промысловых

операций – от выбора района лова до управления траловым комплексом в реальном времени.

Ряд исследований показал, что ключевыми параметрами, определяющими эффективность тралового лова, являются скорость буксировки, продолжительность цикла выливки улова, характеристики траловой снасти и расход топлива. Овчинников С.А. установил, что оптимизация этих параметров позволяет повысить улов на единицу затрат на 15–22% [150]. Результаты исследования обосновывают необходимость интеграции производительностных показателей в системы управления промысловыми операциями для повышения рентабельности тралового флота. Мельников К.А., Мельников А.В., Гребенщиков Ю.Б. в статье [126] предложили методику оценки экономической эффективности промыслового усилия на основе соотношения улова и затрат, включая расход топлива, амортизацию судна, заработную плату экипажа и стоимость снастей. Авторы показали, что эффективность напрямую зависит от интенсивности промысла и оптимального использования времени нахождения в зоне лова. Выявлено, что чрезмерное увеличение промыслового усилия (например, за счёт продления времени промысла или увеличения числа выставлений) при низкой уловистости приводит к снижению рентабельности на 15–30%. Предложена модель оптимизации промыслового усилия, позволяющая определить экономически обоснованный уровень активности судна, обеспечивающий максимальную прибыль при заданных ресурсных и технологических ограничениях. Результаты подтверждают необходимость перехода от количественного к качественному управлению промысловым усилием.

Вопросами оптимизации операций производственного цикла при использовании траловой технологии добычи (время подготовки к постановке и постановка трала, время траления, время выборки трала, время выливки улова) были рассмотрены в работах [22, 30, 104, 199]. Автором в соавторстве разработан программный модуль расчета и оптимизации промысло-

технологического режима работы добывающего судна [85], а так же модуль расчета оптимальной формы организации промысла [86]. Совместно с программой моделирования процесса планирования количественно и качественного состава добывающего флота в статическом состоянии промысловой системы [81] все три модуля являются частью программного комплекса организации ведения рыбодобывающей деятельности в промысловых зонах рыбохозяйственного бассейна [79, 89, 93, 94, 95, 96].

2.2 Методы и модели оптимизации промысла

Оптимизация промысла – ключевая задача управления рыболовством, направленная на максимизацию экономической выгоды при сохранении устойчивости популяций. В этой области работали многие российские и зарубежные ученые, разрабатывая детерминированные, стохастические, пространственные и адаптивные модели. Истоки формализации задачи оптимизации систематического рыбного лова восходят к пионерским трудам Ф. И. Баранова (1918). Введя представление общей смертности как суммы естественной и промысловой компонент в уравнение динамики численности рыбного стада, он впервые получил оценку возможного улова и заложил основы постановки задачи оптимального вылова [9]. Дальнейшее развитие эта проблематика получила в работах Риккера (1958), а также Бивертонна и Холта (1957), которые интегрировали теоретические модели с эмпирическими данными рыбоводства и ихтиологии и предложили практические методики для управления промыслом.

Значительный вклад в развитие теории моделирования рыбных популяций внёс В. В. Меншуткин, в частности в своей работе «Математическое моделирование популяций и сообществ водных животных» (Л., 1971). Он предложил рассматривать водную экосистему как систему с обратными связями, представленную в виде замкнутого контура взаимодействий. Такая структура способна поддерживать устойчивое стационарное состояние, а также генерировать колебательные или

квазистохастические динамические режимы. Подобные концептуальные схемы, зачастую отличающиеся высокой детализацией, легли в основу множества моделей рыбных стад, разработанных для различных озёр и морских акваторий.

Проблемы рационального использования природных ресурсов привели к появлению новой области исследований – кибернетике. Первое упоминание кибернетика как науки в современном ее понимании это 1948 г, в опубликованной книге Н.Винера [27]. Развитие кибернетика продолжили такие ученые как А.И. Берг [16], В.М. Глушков [32] и другие [18, 31, 33, 194].

Кибернетика изучает процессы, происходящие в живой природе, в человеческом обществе и в промышленности и в соответствии с выработанными целями и задачами обеспечивает управление этими процессами в оптимальном варианте [108, 109, 114, 119, 120, 123-125].

Общность термина «кибернетика» способствовало развитию этой науки в различных направлениях. Одно из направлений – это экология. Экологическая кибернетика рассматривает анализ и синтез сложных биологических систем, точного описания которых пока не существует. В настоящее время существует много научных работ в области экологической кибернетики, как отечественных, так и зарубежных ученых, посвященных вопросам совершенствования теории системного подхода и методов моделирования, в частности этому посвящено большое количество работ А. В. Мельникова, В. Н. Мельникова. Г.С. Розенберг [160] отмечает, что важным понятием кибернетики стало представление об обратных связях. Деление обратной связи по типу оказываемого воздействия выполнено на положительное и отрицательное. Рассматривая его в общем смысле выделяют четыре основных функции управления: организация, регулирование, контроль и прогнозирование [120].

В. Н. Лукашовым было положено начало в исследовании и совершенствовании процессов и систем промышленного рыболовства, что представляется особенно важным с точки зрения организации группового

лова. Его работы сосредоточены на анализе сложных взаимодействий между судами и их координации для достижения максимальной эффективности при минимальных затратах ресурсов.

Для анализа и совершенствования процессов группового лова Лукашов применил комплексный подход, включающий:

- математическое моделирование: использование методов линейного программирования для оптимизации распределения судов и ресурсов.

- системный анализ: оценка взаимодействия между различными элементами системы (суда, оборудование, персонал) и выявление узких мест.

- экспериментальные исследования: проведение натурных испытаний для проверки теоретических моделей.

Особое внимание уделялось разработке алгоритмов, позволяющих прогнозировать поведение рыбных скоплений и оптимизировать стратегии лова. Эти алгоритмы основывались на данных о миграции рыб, их плотности и реакции на внешние воздействия (например, шум от судов).

О.Н. Катугин провел комплексное исследование, направленное на анализ динамики численности командорского кальмара, обитающего в районе Курильских островов. В ходе работы были использованы детальные данные о вылове и биомассе этого вида, собранные за длительный период времени. Эти данные послужили основой для построения математической модели, призванной описать наблюдаемые ежегодные колебания в коммерческих скоплениях кальмаров [61, 62, 201].

Модель была разработана с учетом нескольких ключевых факторов, влияющих на численность популяции, таких как сезонные миграции, особенности распределения ресурса, а также антропогенные и природные воздействия. Она позволила достаточно точно воспроизвести динамику изменений в объемах улова, что делает ее полезным инструментом для понимания механизмов формирования скоплений кальмара в различных районах промысла.

Традиционно при построении моделей управления промыслом использовались различные методы математического аппарата, в частности методы оптимизации и исследований операций. А тот факт, что промысловые объекты мигрируют, приводит к различным трудностям в управлении ими, и как следствие использованию вероятностного подхода при моделировании.

Количество математических моделей в области управления промышленным рыболовством достаточно велико благодаря использованию компьютеров, которые в значительной мере упростили использование математических методов.

Математическое программирование, дифференциальные уравнения, оптимальное управление, теория принятия решений, нейронные сети, системный анализ, теория вероятностей, статистическая обработка данных это неполный перечень дисциплин, которые используются для совершенствования управления рыбным промыслом. М.Н. Андреев и С.А. Студенецкий [7] рассмотрели различные математические методы в приложении к задачам промышленного рыболовства. Были рассмотрены задачи планирования промысла (оптимизация расстановки судов по районам промысла, расчет эффективности работы судов, прогнозирование уловов), задачи управления процессами на промысле (моделирование динамики запасов, оптимизация технологических режимов).

Современные методы математического моделирования позволяют учесть большее число факторов, повысить точность прогнозов, сократить время на расчеты и визуализировать результаты, что в целом позволяет улучшить качество принимаемых решений.

Использованные М.Н. Андреевым и С.А. Студенецким методы нашли развитие в работах многих ученых и применялись для решения повышения эффективности использования флота на промысле [24, 25, 33, 34, 37, 38, 43, 45, 58, 70, 80, 89-94, 97, 112, 114, 118, 130-133, 155, 156, 191, 203].

Методы линейного программирования активно используются в силу высокой разработанности и простоты применения, в том числе математические пакеты и некоторые языки программирования имеют встроенные методы и функции линейного программирования, которые значительно облегчают реализацию математических моделей оптимизации промысла. Так язык программирования python имеет библиотеку `scipy.optimize`, которая включает в себя функцию `linprog` реализующую применение методов линейного программирования для решения оптимизационных задач.

Целевая функция задачи линейного программирования может достигнуть или максимального или минимального значения в зависимости от формулировки задачи [7, 26, 40, 42, 132, 185, 202, 204, 205]. Применительно к оптимизации промысла задачу линейного программирования с целевой функцией получающей максимальное значение (2) можно представить как задачу получения наибольшего дохода от реализации рыбопродукции (или сырца), как в задаче оптимизации количества используемых добывающих судов на промысле дальневосточной сардины (иваси) и скумбрии [76]:

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M SC_{ij}(x_i + \xi_i) \rightarrow \max$$

$$\begin{cases} x_i - \xi_i \leq n_i, i = 1, \dots, N \\ \sum_{i=1}^N \alpha_i(x_i + \xi_i) \leq A \\ x_i \geq 0, i = 1, \dots, N \\ \xi_i \geq 0, i = 1, \dots, N \end{cases} \quad (2)$$

где x_i – количество судов используемых на промысле,

ξ_i – количество вновь приобретаемых судов типа i .

SC_{ij} – любой экономический показатель, например, полученная прибыль,

α_i – объем добычи дальневосточной сардины (иваси) из общего объема добычи каждого типа судна.

Задача определения оптимального по издержкам суточного промыслово-технологического режима работы судна (3) это задача линейного программирования с минимизацией целевой функции и несколькими видами ограничений [96]:

$$Z_{\text{cp}}^0 H + \sum_i Z_{\text{cp}}^i h_i H_i + Z_{\text{cp}}^m \left(C + \sum_i (1 - h_i) H_i \right) \rightarrow \min$$

$$\left\{ \begin{array}{l} H + \sum_i h_i H_i \leq M_0 \\ \sum_i (1 - h_i) H_i + C \leq M_1 \\ H + \sum_i H_i \geq k_0 \tilde{a} \\ C \leq k_1 \tilde{a} \\ H + \sum_i H_i + C \leq \tilde{a} \\ H, H_i, C \geq 0 \end{array} \right. \quad (3)$$

где H – количество тонн рыбы, идущей в заморозку без разделки,

C – количество тонн сырца, пущенного на муку,

H_i – количество тонн рыбы, идущей на изготовление i -го вида продукции с разделкой,

h_i – норма выхода продукции i -го вида из сырца,

$Z_{\text{cp}}^0, Z_{\text{cp}}^i, Z_{\text{cp}}^m$ – затраты на производство неразделенной мороженой рыбы, продукции i -го вида и рыбной муки соответственно,

M, M_0, M_1 – мощность технологических линий, мощность морозильной установки и мощность линии производства рыбной муки соответственно,

N_m – коэффициент выхода рыбной муки из сырца,

\tilde{a} – средневзвешанный суточный вылов.

Особенностью полученного решения задачи линейного программирования является его устойчивость к незначительным вариациям исходных данных, это говорит о том, что при некоторых корректировках распределения ресурса уже после получения оптимального решения нет необходимости искать новое решение.

Если в предыдущей задаче изменить целевую функцию и некоторые из ограничений, то получим задачу максимизации целевой функции – задачу определения оптимального суточного промыслово-технологического режима (4) [94]. Производительная мощность судна – это количество продукции, которое может быть произведено в течение заданного времени, например, в течение суток, с существующими установками и оборудованием.

$$q_0 H + \sum_i q_i h_i H_i + q_m \left(C + \sum_i (1 - h_i) H_i \right) \rightarrow \max$$

$$\left\{ \begin{array}{l} H + \sum_i q_i h_i H_i \leq M_0 \\ \sum_i (1 - h_i) H_i + C \leq M_1 \\ \sum_i H_i \leq k_0 \tilde{a} \\ H + \sum_i H_i \leq k_1 \tilde{a} \\ C \leq k_2 \tilde{a} \\ H, H_i, C \geq 0 \end{array} \right. \quad (4)$$

где q_0, q_i, q_m – стоимость сдачи неразделенной мороженой рыбы, продукции i -го вида и рыбной муки соответственно.

Полученная задача является задачей линейного программирования и имеет несложное решение, которое можно получить, используя известный симплекс метод или в случае выпуска двух видов продукции графическое решение задачи.

Главным достоинством построенной модели обработки суточного улова является то, что она позволяет выявить все возможные проблемы и пути их решения. Например, при изменении коэффициентов k_0, k_1 можно получить как увеличение прибыли, так и уменьшение, а так же учесть качество добываемого сырца.

На практике встречается частный случай задачи, когда идет производство двух видов продукции, например, мороженой неразделанной рыбы и рыбной муки, или, например, при добыче кальмара командорского в Северо-Курильской зоне судами типа БМРТ производится выпуск двух видов продукции тушки кальмара очищенные и щупальца кальмара. Подробное решение задачи рассмотрено автором в работе [47].

Особенность решения частной задачи, включающей два вида продукции, состоит в том, что её оптимальное решение позволяет гибко регулировать доленое распределение улова между различными направлениями переработки – например, между производством рыбной муки и выпуском замороженной продукции (с разделкой или без неё). Анализ таких частных случаев наглядно демонстрирует, как качество добываемого сырца влияет на конечную рентабельность и объём дохода от реализации готовой продукции.

Учет стохастичности исходных данных ведет к усложнению задачи, а наличие параметров, значения которых может быть оценено только с определенной вероятностью, требует использования уже других методов решения. В тех случаях, когда система представляет собой стохастический процесс, развитие которого может рассматриваться как серия переходов между определенными состояниями, каждое из которых описывается вероятностным законом, применяются дискретные цепи Маркова и тогда основной метод изучения сложных стохастических системы, не поддающиеся обработке в аналитической манере состоит в том, чтобы смоделировать их на компьютере методом Монте-Карло [202].

Одним из способов управления является выбор одного или нескольких решений из некоторого количества альтернативных решений, каждое из

которых удовлетворяет поставленным целям. В этом случае решения разбивается на два этапа: определение возможных результатов и их оценка, в том числе и вероятностная, и выбор наилучших из них с точки зрения поставленных целей и с учетом интересов сторонних лиц. Это задача динамического программирования.

Динамическое программирование, впервые как термин введенное в 40-х годах прошлого века Р.Э. Беллманом, используется для описания процесса, в котором необходимо найти последовательность оптимальных по заданным критериям решений. В терминах задач управления динамическое программирование означает поиск оптимальных решений из множества альтернативных путей, чтобы перейти из некоторого начального состояния в желаемое, которое удовлетворяет поставленным целям.

Динамическое программирование используется для решения задачи многоступенчатой оптимизации. Основная идея состоит в том, чтобы разделить задачу на этапы и найти оптимальное решение на каждом этапе последовательно [14, 15, 193, 197].

Классически динамическое программирование используется в сложных задачах, в которых описать аналитически зависимость параметров либо очень сложно, либо вообще невозможно. Так же данный метод применяется в условиях неопределенности, например, неопределенность поведения рыбы при миграциях.

Преимущество использование данного метода для процессов управления промыслом это последовательное принятие решений. Возможность выбора наилучшего решения на каждом этапе из ряда существующих альтернатив способствует достижению оптимальной политики принятия решений. На каждом этапе решение зависит от ряда параметров (переменных), от которых зависит состояние процесса решения. Чем больше таких параметров, тем сложнее процесс принятия решений, поэтому для описания модели управления необходимо минимизировать количество параметров, оставив только те, что оказывают наибольшее влияние на результат.

Согласно принципу оптимальности Беллмана, оптимальная последовательность решений на каждом этапе не зависит от того, в каком начальном состоянии находилась система, для которой определяется оптимальное решение, а зависит только от выбора оптимального управления на предыдущем шаге.

Очевидный минус использования динамического программирования - это необходимость использования перебора всех возможных решений на каждом этапе и выбор оптимального исходя из определенных критериев [14, 15]. В силу ограниченности компьютерных ресурсов метод перебора может быть использован только на небольшом количестве параметров, так как в противном случае задача может легко превышать вычислительные возможности большинства современных компьютеров. Но с другой стороны при сравнительно небольшом количестве изменяемых параметров и ограниченности на значения этих параметров метод динамического программирования имеет огромное преимущество перед прочими методами в силу того что является простым методом [200].

Рассматривая добычу водных биологических ресурсов как некоторый процесс, в ходе которого необходимо распределять ресурсы можно сформировать задачу динамического программирования. Процесс добычи обладает признаками стохастичности, т.е. на основании прошедших периодов времени есть возможности предсказать поведение системы в текущий период только с определенной вероятностью. И как раз именно такие задачи могут быть решены с использованием динамического программирования. В качестве ресурсов могут выступать рыбодобывающие суда, которые требуется распределить по районам промысла, время выполнения определенных операций на судне и т.д. [95]

Рассмотрим рыбодобывающую систему, которую можно рассматривать как некоторую дискретную систему. Пусть $\Xi = \{\xi_0, \xi_1, \dots, \xi_n\}$ множество возможных состояний системы. На систему оказывают управляющие воздействия, пусть $u = \{u_0, u_1, \dots, u_m\}$ некоторые управленческие решения,

заданные на конечном временном интервале. Управленческие воздействия зависят от того в каком состоянии находится систему, т.е. в общем виде управляющее воздействие это $u(\xi)$. Т.к. рыбодобывающая система является стохастической для нее определена вероятность $p(\xi_i \xi_j, u)$ перехода системы из состояния ξ_i в состояние ξ_j под действием управляющего воздействия $u(\xi_i)$.

Рассматривая общий случай промысловой доступности объекта в течение календарного года для некоторых объектов добывающим судном может быть выполнено два рейса, если период промысловой доступности объекта совпадает с календарным годом. Для других объектов, в частности для командорского кальмара, может быть выполнен только один полный рейс или же два рейса, один из которых на добыче кальмара, а второй частично или полностью на добыче других промысловых объектов.

В общем случае количество рейсов можно рассчитать по формуле (5):

$$N = \begin{cases} \frac{t_{\text{ППД}} - t_{\text{рем}}}{t_{\text{ро}}}, & \text{если } t_{\text{ППД}} \gg t_{\text{ро}} \\ \frac{t_{\text{ППД}}}{t_{\text{ро}}}, & \text{иначе} \end{cases}, \quad (5)$$

где $t_{\text{ППД}}$ – длительность периода промысловой доступности объекта,

$t_{\text{рем}}$ – длительность межрейсового технического обслуживания судна или время планового ремонта судна между рейсами,

$t_{\text{ро}}$ – время рейсооборота промыслового судна.

Время рейсооборота вычисляется по формуле (6):

$$t_{\text{ро}} = t_{\text{п}} + t_{\text{м}}, \quad (6)$$

где t_{Π} – времени стоянки судна в порту, которое регламентируется нормативными документами для каждого типа судна, длительность времени пребывания судна в порту составляет 3-5 дней до и после рейса;

$t_{\text{м}}$ – времени непрерывного пребывания судна в море, которое так же регламентируется нормативными документами для каждого типа судна.

Время промысла судна зависит от времени непрерывного пребывания судна в море и времени перехода судна в район промысла и обратно и вычисляется по формуле (7):

$$t_{\text{пром}} = t_{\text{м}} - t_{\text{пер}}, \quad (7)$$

где $t_{\text{пер}}$ – времени перехода судна в район промысла из порта базирования и обратно в порт базирования по окончании рейса, зависит от расстояния между портом базирования судна и районом промысла, а так же от типа судна.

Оптимизация времени рейсооборота осуществляется в три последовательных этапа, каждый из которых сопряжен с определенными временными барьерами, обусловленными промысловыми потерями (см подробно [92]):

Этап 1 – планирование промыслового времени. Барьер 1: потери времени, возникающие при переходах между траловыми дорогами, поиске скоплений кальмара и выполнении других вспомогательных операций. В этот период непосредственный лов не осуществляется, и суточный вылов отсутствует.

Этап 2 – производственный процесс по добыче кальмара. Барьер 2: непроизводительные временные издержки, возникающие уже в ходе промысла. Их величина зависит от выбранной формы организации рыболовства. К таким потерям относятся простои, связанные с ожиданием перегрузки улова, бункеровки, отсутствием транспортных судов-перегрузчиков и подобные факторы.

Этап 3 – реализация производственных циклов, определяющих суточный график работы. Барьер 3: внутрипроизводственные временные потери, возникающие на отдельных стадиях технологического процесса. При использовании тралового способа ловли кальмара производственный цикл включает следующие операции: поиск скоплений, подготовка и постановка трала, траление, выборка снасти (трала) и выливка улова. Общая продолжительность цикла складывается из длительности всех его операций и пауз между ними. Время одного производственного цикла определяется как: $t_{\text{ц}} = \sum(t_{\text{пци}} + t_{\text{ппи}})$, где $t_{\text{пци}}$ – время выполнения i -й технологической операции производственного цикла, а $t_{\text{ппи}}$ – связанные с ней производственные потери. Помимо этого, в ходе работы возникают также непроизводственные потери, вызванные неблагоприятными метеоусловиями, повреждением или утерей орудий лова, необходимостью проведения ремонтов, нестабильной промысловой обстановкой, аварийными ситуациями и другими внешними факторами.

Оптимальный вылов, полученный судном за промысловое время, в общем виде описывается как сложная функция нескольких параметров (формула 8):

$$A = F \left(t_{\text{пром}}^{\text{a(э)}}, t_{\text{опер}}, n_3, t_{\text{на 1 перег}}, t_{\text{сут}}, a_{\text{сут}}, \varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3 \right), \quad (8)$$

где $t_{\text{пром}}^{\text{a(э)}}$ – время промысла в автономном (экспедиционном) режиме работы судна;

$t_{\text{опер}}$ – время проведения операций автономности. В общем случае этот параметр определяется как минимум от трех значений: период автономности по запасам топлива, период автономности по заполнению трюмов по основным видам продукции, период автономности по сроку хранения продукции. Для судов с законченным производственным циклом значение периода автономности по сроку хранения продукции при расчете времени

промысла не учитывается, т.к. в этом случае срок хранения продукции не ограничен;

$t_{\text{на 1 перег}}$ – запланированное время на один перегруз при автономном режиме работы, от 2 до 4 суток, при экспедиционном режиме работы не учитывается;

n_3 – количество циклов перегрузки при автономном режиме работе;

$t_{\text{сут}}$ – время операции лова в течение суток, зависит от времени проведения одного производственно цикла ($t_{\text{ц}}$) и количества производственных циклов в течение суток ($n_{\text{ц}}$);

$a_{\text{сут}}$ – вылов за сутки промысла;

ε_1 – непроизводительные потери времени, в период, когда непосредственно лов не ведется (барьер 1);

ε_2 – непроизводительные потери времени процесса добычи (барьер 2);

ε_3 – непроизводительные потери времени производственного цикла (барьер 3).

Потери времени каждого барьера при добыче командорского кальмара определены по статистическим данным и зависят от типа добывающего судна, района промысла и выбранного режима работы судна. Потери ε_1 составили от 3 до 10 суток, ε_2 – от 8 до 21 суток, ε_3 – от 3 до 5 суток.

Система управления промысловым временем может быть описана как система их трех шагов, соответствующих описанным барьерам. На каждом шаге система определяется набором чисел $\xi_k = (\xi_1^k, \xi_2^k, \xi_3^k)$, которые соответствуют некоторым состояниям системы, полученным в результате воздействия управления u_k . В данном случае под управлением понимается принятие стратегических, оперативных и тактических управленческих решений. Считаем, что при переходе системы из состояния ξ_{k-1} в состояние ξ_k под воздействием управления u_k состояние ξ_k зависит от предыдущего состояния и не зависит от процесса перехода в это состояние.

При реализации шага k появляется «резерв» зависящий от исходного состояния и выбранного управления $\Delta A_k = \varphi_k(\xi_k, u_k)$, тогда общий резерв составит $\Delta A = \sum_{k=1}^3 \varphi_k(\xi_k, u_k)$.

В поставленной задаче требуется найти такие управления u_1, u_2, u_3 , чтобы значение функционала $\Delta A = \sum_{k=1}^3 \varphi_k(\xi_k, u_k)$ было максимальным.

Изначально система находится в некотором состоянии $\xi_3 = (\xi_1^3, \xi_2^3, \xi_3^3)$, где ξ_1^3 состояние в котором присутствуют потери времени I-го барьера, ξ_2^3 состояние в котором присутствуют потери времени II-го барьера, ξ_3^3 состояние в котором присутствуют потери времени III-го барьера.

Оптимизация начинается с третьего этапа, т.е. с оптимизации времени соответствующему третьему барьеру потерь времени.

Необходимо найти такое управление u_3 , которое переведет систему в состояние $\xi_2 = (\xi_1^2, \xi_2^2, \theta_3)$, где ξ_1^2 и ξ_2^2 - состояния, в которых присутствуют потери времени I-го и II-го барьеров, а θ_3 - состояние, в котором оптимизировано время III-го барьера. При этом достигается максимум функции $\varphi_3(\xi_2, u_3)$, т.е. $\Delta A_3 = \max_{u_3} \varphi_3(\xi_2, u_3)$.

Следующий этап это оптимизация времени производственного процесса по добыче. Идет поиск управление u_2 , которое переведет систему в состояние $\xi_1 = (\xi_1^1, \theta_2, \theta_3)$, где ξ_1^1 - состояние, в котором присутствуют потери времени I-го барьера, а θ_2, θ_3 - состояния, в которых оптимизировано время II-го и III-го барьеров. Оптимизация ведется с учетом найденного ранее оптимального состояния для III-го барьера. При этом достигается максимум функции $\varphi_2(\xi_1, u_2)$, т.е. $\Delta A_2 = \max_{u_2} \{\Delta A_3 + \varphi_2(\xi_1, u_2)\}$.

Последний этап это оптимизация промыслового времени. Идет поиск управление u_1 , которое переведет систему в состояние $\xi_0 = (\theta_1, \theta_2, \theta_3)$, в котором оптимизировано время всех трех барьеров. При этом достигается максимум функции $\varphi_1(\xi_0, u_1)$, т.е. $\Delta A_1 = \max_{u_1} \{\Delta A_2 + \varphi_1(\xi_0, u_1)\}$.

Полученное значение ΔA_1 включает в себя ΔA_2 и ΔA_3 и является оптимальным.

Таким образом, имеет место задача динамического программирования, решение которой следующее:

$$\Delta A_3 = \max_{u_3} \varphi_3(\xi_2, u_3)$$

$$\Delta A_2 = \max_{u_2} \{\Delta A_3 + \varphi_2(\xi_1, u_2)\}$$

$$\Delta A_1 = \max_{u_1} \{\Delta A_2 + \varphi_1(\xi_0, u_1)\}.$$

Для расчета оптимального рейсооборота для промысловых судов, работающих на промысле командорского кальмара использовалась разработанный ранее алгоритм оптимизации рейсооборота [92], реализованный в виде модуля комплекса компьютерных программ [87].

Выводы по главе 2

На основании проведенного анализа математических методов моделирования и оптимизации, применяемых в области промышленного рыболовства, были сформулированы следующие выводы:

1. Учет всех рассмотренных особенностей математического моделирования сложных систем в процессе создания их математических моделей позволит решать задачи организации и управления промыслом во взаимосвязи с особенностями миграций и распределения промыслового объекта, его промысловой доступности и имеющимися ресурсами добычи этого объекта (добывающими судами, технологиями промысла).

2. Простота динамического программирования делает его отличным методом для оптимизации процесса принятия решений. Возможность включения в задачу, которая будет решена с помощью динамического программирования различных возможно даже несвязанных между собой процессов, которые влияют на итоговое решение делает этот метод весьма привлекательным для использования.

3. Линейное программирование имеет классический алгоритм решения, который с легкостью может быть реализован с помощью вычислительных систем, в том числе в некоторых алгоритмических языках программирования

имеется встроенный симплекс метод для решения задачи, что значительно облегчает построение и реализацию систем принятия решений. С помощью линейного программирования могут быть реализованы математические модели, учитывающие специфику промысла командорского кальмара.

4. Представленная структурно-функциональная схема организации добычи промыслового объекта с учетом его качественных особенностей, периодов промысловой доступности объекта и задействованного добывающего флота, состоящего из среднетоннажных и малотоннажных добывающих судов является основой для моделирования промысла командорского кальмара.

Таким образом, на основе проведенного анализа выделена основная проблема – отсутствует модель оптимизации промысла командорского кальмара, учитывающая все особенности его добычи, такие как, периоды промысловой доступности, скопление кальмара на «траловых дорогах», необходимость исключения крупнотоннажного флота.

Для повышения эффективности освоения кальмара в зонах Дальневосточного рыбохозяйственного бассейна необходимо:

- разработать математическую модель оптимизации распределения добывающего флота по зонам промысла с учетом периодов промысловой доступности кальмара и математическую модель управления годовой эксплуатацией добывающих судов на промысле командорского кальмара;
- создать пакет компьютерных программ организационно-управленческой оптимизации;
- провести оптимизацию распределения судов по зонам промысла командорского кальмара;
- оптимизировать годовой режим эксплуатации промысловых мощностей с учетом периодов промысловой доступности;
- оптимизировать процесс управления годовой эксплуатацией добывающих судов на промысле командорского кальмара.

Глава 3 ОПТИМИЗАЦИЯ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОМЫСЛА КОМАНДОРСКОГО КАЛЬМАРА

3.1 Математическая модель оптимизации добывающего флота на промысле командорского кальмара

На основании данных о миграциях кальмара, периодах промысловой доступности и среднесуточных объемах вылова судами в каждой промысловой зоне можно ввести понятие «веса месяца» (приоритета для месяца) в календарном году для промысловой зоны. Это значение позволит определить «необходимость» ведения промысла в указанной зоне в конкретный месяц, так же от этого значения напрямую будет зависеть количество используемых судов для промысла.

В календарном году можно выделить 4 основных приоритета месяца для промысла в каждой зоне: нулевой приоритет – кальмар в это время недоступен для промысла, низкий приоритет – кальмар доступен, но среднесуточный вылов сравним с приловом, средний приоритет – кальмар доступен, суточный вылов ниже ожидаемого среднесуточного вылова, высокий приоритет – кальмар доступен, суточный вылов не ниже среднесуточного ожидаемого вылова.

Для каждой промысловой зоны календарные месяцы имеют тот или иной «приоритет» на основании статистических данных за предыдущие годы. Практически «приоритет» означает какой объем кальмара может быть добыт в рассматриваемой зоне за определенный месяц с учетом промысловой доступности объекта (приложение М).

Проведенный анализ показал, что можно выделить следующие основные периоды промысловой доступности кальмара по различным зонам: апрель-декабрь, апрель-ноябрь, июль-ноябрь, январь-февраль и август-октябрь. Выделенные периоды частично пересекаются друг с другом, что частично объясняется гидрометеорологической обстановкой в районах промысла, а так же миграционными перемещениями популяций кальмаров.

Для добычи кальмара в настоящее время используются крупнотоннажные суда типа БМРТ, РТМ, РТМС, среднетоннажные суда типа СРТМ, СТР, ТСМ и малотоннажные суда типа РС, оснащенные траловыми орудиями лова – донным тралом. Для промысла используются донные тралы стандартной конструкции с крыльями, выполненными из канатных элементов. Пример такой конструкции представлен в [103]. К особенностям поведения кальмара при ведении промысла донными тралами относится их перемещение вверх при приближении орудия лова, следовательно, необходимо увеличить вертикальное раскрытие трала на высоту не меньше 10-12 м, что позволит увеличить улов за одно траление.

Особенности расположения кальмара в местах промысла и многолетний опыт его добычи в местах обитания сформировали так называемые траловые дороги, вдоль которых ведется промысел судами друг за другом в определенной очередности.

При использовании траловой технологии добычи выполняется технологическая цепочка, состоящая из нескольких последовательных операций. В общем виде время одного производственного цикла представлено формулой (9):

$$t_{\text{ц}} = t_{\text{пт}} + t_{\text{тр}} + t_{\text{вт}} + t_{\text{ву}} + t_{\text{потери}}, \quad (9)$$

где $t_{\text{ц}}$ – длительность производственного цикла,

$t_{\text{пт}}$ – длительность подготовки к постановке и постановка трала,

$t_{\text{тр}}$ – время траления,

$t_{\text{вт}}$ – время выборки трала,

$t_{\text{ву}}$ – время выливки улова,

$t_{\text{потери}}$ – непроизводительные потери времени, учтенные при планировании рейсообразота.

Подготовка и постановка трала занимает 0,5-1 часа и зависит от опыта экипажа и автоматизации процесса, при моделировании оптимально принять среднее значение 0,7 часа.

Время траления является ключевым параметром и зависит от глубины и скорости траления (обычно 3-4 узла). Для оценки необходимо учесть следующие параметры:

- биологических особенностей кальмара (активность, скопления),
- длина траловой дороги, скорость движения судна,
- опыт капитана и тактика поиска.

Для кальмара типичная продолжительность траления от 1 до 3 часов.

Время выборки трала зависит от глубины лова (время подъёма напрямую зависит от длины тросов) и скорости лебёдки (обычно составляет 100–150 м/мин), так же необходимо учитывать, что тяжёлый трал замедляет выборку.

Но с учётом подготовки, натяжения, возможных остановок – общее время увеличивается и составляет 0,6-1 часа, а усредненное время при моделировании принимается равным 0,8 часа.

Время выливки улова зависит от массы улова и степени автоматизации. При улове до 10 тонн время выливки составляет 15-25 минут, при уловах более 15 тонн – до 40 минут. Для среднетоннажного и малотоннажного флота усредненное время выливки улова принимается равным 0,3 часа.

Методика оптимизации времени выборки трала и выливки улова рассмотрена в работе [104].

Непроизводительные потери времени включают:

- погодные задержки (туман, шторм – особенно характерно для Командорских островов),
- технические простои,
- организационные перерывы,
- поисковые подходы без траления.

Согласно проведенному анализу на промысле кальмара непроизводительные потери составляют 0,7 часа.

Однако большая доля непроизводительных потерь времени приходится на ожидание очереди на траловой дороге. Это время зависит от количества судов, работающих одновременно на траловой дороге. Среднее время ожидания оценивается в 1,5 часа.

Итоговая оценка времени производственного цикла для промысла кальмара представлена в таблице 1 [48].

Таблица 1 – Оценка времени производственного цикла на промысле кальмара

№ п/п	Параметр	Типичное время, часы	Расчетное значение, часы
1	$t_{пт}$ – длительность подготовки к постановке и постановка трала	0,5-1	0,7
2	$t_{тр}$ – время траления	1-3	2
3	$t_{вт}$ – время выборки трала	0,6-1	0,8
4	$t_{ву}$ – время выливки улова	0,25-0,7	0,3
5	$t_{потери}$ – непроизводительные потери времени	0,7+1,5	2,2
Итого			6

Время траления равно времени прохода судна по траловой дороге. Таким образом, за сутки может быть выполнено 12 таких проходов, т.е. для выполнения четырех производственных циклов количество судов на траловой дороге должно быть 3. Если время ожидания начала траления очередного судна сократить до 1,5 часов, то количество проходов по траловой дороге за сутки увеличивается до 16, а это позволяет задействовать

на траловой дороге по 4 судна и для каждого будет доступно 4 производственных цикла. В некоторых случаях количество тралений может быть увеличено до 5, если рассматривать благоприятные обстоятельства, например, спокойное, без резких перемещений поведение кальмара и его движение в направлении, соответствующем оптимальному облову.

Таким образом, за сутки промысла судна может быть выполнено 4 производственных цикла. При использовании гибкого грунтропа возможно снижение времени производственного цикла следующим образом:

1. Сокращение времени подготовки и постановки трала $t_{пт}$ благодаря повышенной маневренности и простоте работы с гибким грунтропом по сравнению с другими типами.

2. Уменьшение продолжительности выборки трала $t_{вт}$ вследствие удобства и легкости обращения с гибкой конструкцией грунтропа при его подъёме и обработке на борту.

3. Снижение непроизводительных потерь времени $t_{потери}$. Пластинчатый грунтроп мягко повторяет рельеф дна, что уменьшает риск зацепов и повреждений нижней подборы. Это, в свою очередь, минимизирует простои, связанные с ремонтом трала после порывов, и повышает надёжность промысловых операций.

Перечисленные пункты суммарно ведут к снижению длительности производственного цикла $t_{ц}$ на 0,75-1 час. В этом случае судно за сутки промысла сможет выполнить 5 циклов, что ведет к увеличению суточного вылова.

Второй способ увеличения суточного вылова это увеличение продолжительности активного лова, т.е. времени траления $t_{тр}$. При использовании гибкого грунтропа время траления можно увеличить за счет снижения гидродинамического сопротивления такого грунтропа в воде. Благодаря этому трал может двигаться быстрее и с меньшими энергозатратами, что позволяет эффективнее использовать промысловое

время не увеличивая количество производственных циклов. Тогда если время траления $t_{тр}$ и время выливки улова $t_{ву}$ останутся без изменения это приведет к снижению длительности производственного цикла $t_{ц}$, и тогда количество производственных циклов за сутки промысла может быть увеличено до 5.

Оба описанных варианта ведут к увеличению среднего суточного вылова, в первом случае за счет выполнения дополнительного производственного цикла, во втором за счет увеличения времени непосредственного лова в каждом производственном цикле.

Время проведения суточной операции лова в общем виде вычисляется по формуле (10):

$$t_{сут} = 5t_{ц}\varepsilon'_3, \quad (10)$$

где ε'_3 – оптимизированные потери времени барьера 3.

Кроме того, использование пластинчатого грунттропа способствует оптимизации рейсооборота за счет снижения потерь времени связанным с подготовкой к выходу в море и экономией времени на обслуживание грунттропа (барьер 1). Гибкий грунттроп меньше подвержен износу по сравнению с жесткими аналогами, что уменьшает частоту замены и ремонта. Анализ потерь времени барьера 1 при добыче кальмара и моделирование использования гибкого грунттропа позволяет говорить о снижении потерь на 10-20% по сравнению с использованием жесткого грунттропа. Таким образом, потери времени барьера 1 при планировании рейсооборота для судов разного типа составят от 3 до 8 суток. Полученные результаты оптимизации используются для расчета оптимального рейсооборота с помощью модуля оптимизации разработанного ранее [92, 87].

В зависимости от промысловой зоны количество траловых дорог для добычи кальмара разное. Основной зоной добычи командорского кальмара является Северо-Курильская, в этой зоне выделяются пять основных

траловых дорог, в остальных промысловых зонах, в которых ведется промысел кальмара, выделяются до трех траловых дорог.

Таким образом, одновременно на одной «траловой дороге» может 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.

Проведенные исследования показали нерациональность использования крупнотоннажного флота на промысле кальмара, т.к. средний суточный вылов для судов типа БМРТ незначительно отличается от среднего суточного вылова судов типа СРТМ. В связи с этим в дальнейшей работе считаем целесообразным при решении задачи оптимизации промысловой деятельности использовать только среднетоннажные и малотоннажные суда.

Основная задача это распределение имеющегося флота на добыче кальмара таким образом, чтобы максимизировать вылов с учетом особенностей промысла кальмара, а так же его периодов промысловой доступности. При этом суммарный вылов складывается из двух составляющих – добыча кальмара, как объекта, на которых устанавливаются ОДУ и добыча кальмара, как объекта, на который устанавливаются рекомендованные объемы вылова. В первом случае необходимо учесть правила распределения квот для промысла кальмара и необходимость реализации полученных предприятиями-судовладельцами квот на уровне не ниже 80-90%. Структурно-функциональная схема оптимизации добывающего флота на промысле кальмара представлена на рисунке 9.

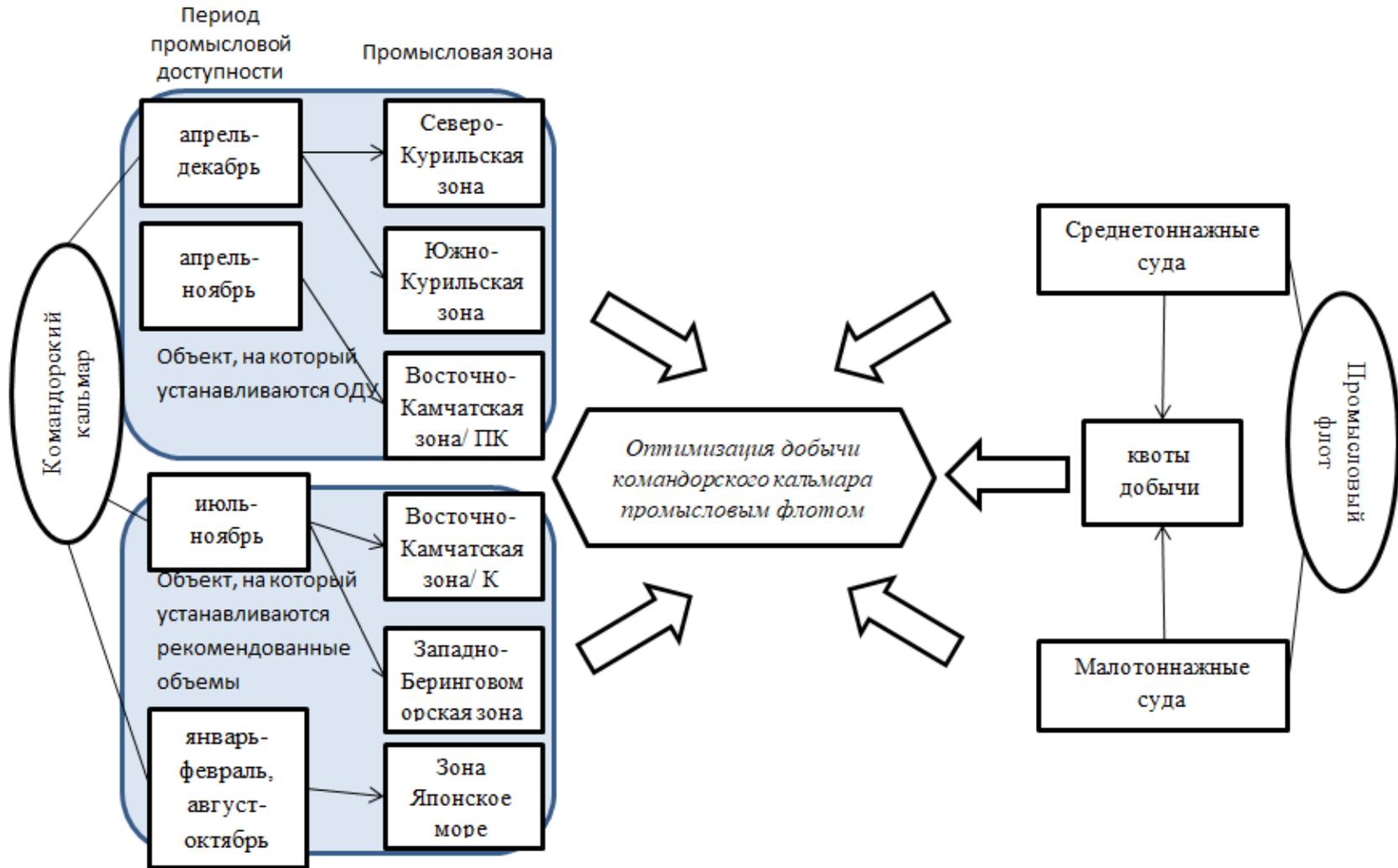


Рисунок 9 – Структурно-функциональная схема оптимизации промысла командорского кальмара в ДВБР

Для формализации задача распределения промыслового флота по зонам промысла введем обозначения:

z – условное обозначение (номер) промысловой зоны.

Пусть $z = 1$ для промысловой зоны Северо-Курильская, $z = 2$ для промысловой зоны Южно-Курильская, $z = 3$ для подзоны Петропавловско-Командорской Восточно-Камчатской зоны, $z = 4$ для Карагинской подзоны Восточно-Камчатской зоны, $z = 5$ для Западно-Беринговоморской зоны, $z = 6$ для подзоны Приморья зоны Японское море.

S_z – количество среднетоннажных добывающих судов, доступных для промысла кальмара в зоне z , т.е. это общее количество среднетоннажных судов, которое имеется у предприятий-судовладельцев получивших квоты на добычу (вылов) кальмара в зоне z .

M_z – количество малотоннажных добывающих судов, доступных для промысла кальмара в зоне z , т.е. это общее количество малотоннажных судов, которое имеется у предприятий-судовладельцев получивших квоты на добычу (вылов) кальмара в зоне z .

ks_i – среднетоннажное добывающее судно определенного типа, при формировании математической модели считаем, что данное обозначение означает количество среднетоннажных судов данного типа, задействованных на промысле кальмара.

Пусть ks_1 – среднетоннажное добывающее судно типа СРТМ, например, средний морозильный траулер проекта EFF03 (характеристики представлены в приложении М), ks_2 – среднетоннажное добывающее судно типа СТР, например, средний рыболовный траулер проекта ST 116XL (характеристики представлены в приложении М), ks_3 – среднетоннажное добывающее судно типа ТСМ, например, сейнер-траулер проект HS 45Т (характеристики представлены в приложении М). Введенные обозначения не снижают общности решения задачи, но значительно облегчают понимание физического смысла при использовании математических методов.

km_j – малотоннажное добывающее судно определенного типа, при формировании математической модели считаем, что данное обозначение означает количество малотоннажных судов данного типа задействованных на промысле кальмара.

Пусть km_1 – малотоннажное добывающее судно типа РС. Согласно проведенным исследования на добыче командорского кальмара работали малотоннажные суда только типа РС, но общность использования терминологии в дальнейшем позволит расширить перечень используемых типов судов без необходимости модернизации построенной модели.

t – условное обозначение предприятия-судовладельца.

qv_{tz} – объем квот предприятия-судовладельца t в зоне z .

Все суда закреплены за определенным предприятием-судовладельцем, в задаче к обозначению судна добавляется индекс t , указывающий предприятие-судовладельца.

ks_{it} – количество среднетоннажных добывающих судов определенного типа i , относящееся к предприятию-судовладельцу t .

km_{jt} – количество малотоннажных добывающих судов определенного типа j , относящееся к предприятию-судовладельцу t .

Справедливы равенства:

$$\sum_t ks_{it} = ks_i, \text{ для каждого среднетоннажного судна типа } i.$$

$$\sum_t km_{jt} = km_j, \text{ для каждого малотоннажного судна типа } j.$$

a_{ipz} – среднесуточный вылов среднетоннажного судна типа i в промысловой зоне z в течение месяца p .

b_{jpz} – среднесуточный вылов малотоннажного судна типа j в промысловой зоне z в течение месяца p .

ds_{iptz} – количество дней из месяца p , в течение которых среднетоннажное судно типа i , относящееся к предприятию t , ведет промысел в промысловой зоне z .

dm_{jptz} – количество дней из месяца p , в течение которых малотоннажное судно типа j , относящееся к предприятию t , ведет промысел в промысловой зоне z .

dp_z – длительность в дня периода промысловой доступности кальмара в промысловой зоне z .

Тогда суммарный вылов судами определенного типа имеет вид, представленный в формуле (11) и (12):

$$\sum_t ks_{it} a_{ipz} ds_{iptz}. \quad (11)$$

Формула (11) это суммарный вылов всеми среднетоннажными судами типа ks_{it} относящиеся к предприятию t .

$$\sum_t km_{jt} b_{jtz} dm_{jptz}. \quad (12)$$

Формула (12) это суммарный вылов всеми малотоннажными судами типа km_{jt} относящиеся к предприятию t .

Суммарный вылов всеми судами в промысловой зоне z вычисляется по формуле (13):

$$\sum_p \left(\sum_i \sum_t ks_{it} a_{ipz} ds_{iptz} + \sum_j \sum_t km_{jt} b_{jtz} dm_{jptz} \right) \quad (13)$$

Цель задачи – максимизировать суммарный вылов во всех промысловых зонах. Целевая функция (14) представляет собой сумму по всем промысловым зонам выражения (13):

$$\sum_z \sum_p \left(\sum_i \left(\sum_t k_{sit} a_{ipz} ds_{iptz} \right) + \sum_j \left(\sum_t k_{jzt} b_{jptz} dm_{jptz} \right) \right) \rightarrow \max. \quad (14)$$

Пусть OV_z – суммарный объем добычи кальмара в зоне z . Для зон, в которых на кальмар устанавливаются ОДУ, OV_z равен установленным объемам допустимых уловов, в других зонах OV_z равен установленным объемам квот или некоторой доли от этих, например, объемам на которые получены разрешения на вылов. Таким образом, имеет место ограничение (15) для каждой промысловой зоны:

$$\sum_p \left(\sum_i \sum_t k_{sit} a_{ipz} ds_{iptz} + \sum_j \sum_t k_{jzt} b_{jptz} dm_{jptz} \right) \leq OV_z, \quad (15)$$

для каждого z .

Каждое предприятие-судовладелец имеет разрешение на вылов кальмара в конкретной зоне или в нескольких зонах и суммарный вылов всех судов этого предприятия не может превышать полученные им квоты добычи. Таким образом, имеет место ограничение (16) для каждого предприятия-судовладельца:

$$\sum_z \sum_p \left(\sum_i k_{sit} a_{ipz} ds_{iptz} + \sum_j k_{jzt} b_{jptz} dm_{jptz} \right) \leq qv_t \quad (16)$$

для каждого t .

Еще одним ограничением будет ограничение по объему вылова в течение календарного месяца. Суммарный объем вылова всеми среднетоннажными и малотоннажными судами в зоне z в течение месяцев с приоритетом v_{pz} не может быть больше теоретически определенной доли

месячного объема добычи от планируемого суммарного вылова за год (формула 17):

$$\sum_i \sum_t k_{sit} a_{ipz} ds_{iptz} + \sum_j \sum_t km_{jtz} b_{jpz} dm_{jptz} \leq v_{pz} OV_z, \quad p = \overline{1,12}. \quad (17)$$

Время работы каждого судна в промысловой зоне не может превышать длительность периода промысловой доступности кальмара в данной зоне, таким образом для каждого предприятия-судовладельца, каждого их судна выполняется ограничение (18):

$$\begin{aligned} \sum_p ds_{iptz} &\leq dp_z, \\ \sum_p dm_{jptz} &\leq dp_z, \end{aligned} \quad (18)$$

для каждого i ,

для каждого j ,

для каждого t ,

для всех $z = \overline{1,6}$

На изменяемые значения, а именно $k_{sit}, km_{jtz}, ds_{iptz}, dm_{jptz}$ накладывается ограничение не отрицательности значений, в силу физического смысла этих значений.

Получаем задачу (19) распределения судов по зонам промысла и месяцам календарного года, в которых этот промысел ведется, с учетом периодов промысловой доступности кальмара в каждой зоне:

$$\begin{aligned}
& \sum_z \sum_p \left(\sum_i \sum_t ks_{it} a_{ipz} ds_{iptz} + \sum_j \sum_t km_{jt} b_{jpz} dm_{jptz} \right) \rightarrow \max \\
& \left\{ \begin{aligned}
& \sum_p \left(\sum_i \sum_t ks_{it} a_{ipz} ds_{iptz} + \sum_j \sum_t km_{jt} b_{jpz} dm_{jptz} \right) \leq OV_z, z = \overline{1,6} \\
& \sum_i \sum_t ks_{it} a_{ipz} ds_{iptz} + \sum_j \sum_t km_{jt} b_{jpz} dm_{jptz} \leq v_{pz} OV_z, p = \overline{1,12} \\
& \sum_z \sum_p \left(\sum_i ks_{it} a_{ipz} ds_{iptz} + \sum_j km_{jt} b_{jpz} dm_{jptz} \right) \leq qv_t \text{ для каждого } t \\
& \sum_i \sum_t ks_{it} \leq S \\
& \sum_j \sum_t km_{jt} \leq M \\
& \sum_p ds_{iptz} \leq dp_z, \text{ для каждого } i, \text{ для каждого } t, z = \overline{1,6} \\
& \sum_p dm_{jptz} \leq dp_z, \text{ для каждого } j, \text{ для каждого } t, z = \overline{1,6} \\
& ks_{it}, km_{jt}, ds_{iptz}, dm_{jptz} \geq 0
\end{aligned} \right. \quad (19)
\end{aligned}$$

Поскольку полученная задача (19) относится к классу нелинейных для её решения, она декомпозируется на две линейные подзадачи. Для решения задач используются известные методы математического моделирования.

Первая подзадача заключается в распределении добывающих судов по промысловым зонам с учетом периодов промысловой доступности кальмара, но без детализации по месяцам их работы в этих зонах. Решение задачи получено методом линейного программирования.

Вторая подзадача направлена на оптимизацию деятельности добывающего флота по траловым дорогам внутри конкретной промысловой зоны, с учетом периодов промысловой доступности кальмара в данной зоне. Решение задачи получено методом динамического программирования.

3.2 Оптимизация распределения судов по зонам промысла для добычи командорского кальмара

Для формализации задачи оптимизации распределения добывающих судов по зонам промысла были введены дополнительные обозначения:

a_{iz} – среднесуточный вылов среднетоннажного судна типа i в промысловой зоне z в течение всего периода промысловой доступности.

b_{jz} – среднесуточный вылов малотоннажного судна типа j в промысловой зоне z в течение всего периода промысловой доступности.

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

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

Справедливы равенства $\sum_p ds_{iptz} = dps_{itz}$ и $\sum_p dm_{jptz} = dpm_{jtz}$.

Для каждого среднетоннажного судна типа i и каждого малотоннажного судна типа j определен оптимальный рейсооборот, т.е. оптимальное количество дней, в течение которых судно ведет промысел в зоне z , расчет оптимального рейсооборота ведется с учетом возможных потерь времени и периода промысловой доступности кальмара в рассматриваемой зоне z .

ro_{iz} – длительность оптимального рейсооборота среднетоннажного судна типа i в зоне z .

ro_{jz} – длительность оптимального рейсооборота малотоннажного судна типа j в зоне z .

Расчет оптимальных рейсооборотов для каждого типа судна выполняется по формулам (5)-(8).

Получаем задачу распределения судов по зонам промысла, с учетом длительности периодов промысловой доступности кальмара в каждой зоне:

$$\begin{aligned}
& \sum_z \sum_t \left(\sum_i dps_{itz} a_{iz} + \sum_j dpm_{jtz} b_{jz} \right) \rightarrow \max \\
& \left\{ \begin{array}{l}
\sum_t \left(\sum_i dps_{itz} a_{iz} + \sum_j dpm_{jtz} b_{jz} \right) \leq OV_z, z = \overline{1,6} \\
\sum_i dps_{itz} a_{iz} + \sum_j dpm_{jtz} b_{jz} \leq qv_{tz}, \quad \forall t, z = \overline{1,6} \\
\sum_z \frac{dps_{itz}}{ro_{iz}} \leq ks_{it}, \quad \forall t, \forall i \\
\sum_z \frac{dpm_{jtz}}{ro_{jz}} \leq km_{jt}, \quad \forall t, \forall j \\
dps_{itz}, dpm_{jtz} \geq 0
\end{array} \right. \quad (20)
\end{aligned}$$

Полученная задача (20) является задачей целочисленного линейного программирования и имеет решение на заданном множестве допустимых решений. Количество переменных равно произведению чисел: число предприятий-судовладельцев, количество типов задействованных судов (для промысла кальмара рассматривается 4 типа судов) и количество промысловых зон, в которых ведется добыча объекта (для кальмара это 6 промысловых зон). Количество ограничений равно сумме чисел: количество промысловых зон, в которых ведется добыча объекта (6 зон), число выделенных квот для каждого предприятия-судовладельца в каждой промысловой зоне, количество судов каждого типа у каждого предприятия-судовладельца. Полученная задача решена в виде компьютерной программы на языке программирования python, т.к. решение является большим и трудоемким (Приложение А) [82].

В результате решения данной задачи получено первое распределение имеющегося флота по зонам промысла.

Исходные данные для оптимизационной задачи распределения флота по зонам промысла:

- выделенные зоны промысла (выделенные в главе 1 зоны и подзоны),
- объем ОДУ для зон, в которых на добычу кальмара он устанавливается (данные берутся из базы данных, составленной на основании приказов об установлении общих допустимых уловов),
- распределение квот на вылов для предприятий (данные берутся из базы данных, составленной на основании приказов о распределении долей квот между пользователями),
- количество судов каждого предприятия (данные берутся из базы данных составленной на основании сведений от предприятий),
- средние суточные выловы для каждого типа судна в каждой рассматриваемой промысловой зоне (данные берутся из базы данных построенной на основании анализа представленного в главе 1, таблицы с данными представлены в приложении Д),
- оптимальные значения рейсооборота для выбранных зон, рассчитанные с учетом всех потерь времени и периода промысловой доступности кальмар в конкретной зоне (расчет выполнен по алгоритму представленным в главе 2, формулы 5-8).

Алгоритм решения задачи:

Шаг 1. Выбор промысловой зоны из предложенного перечня. Выбор производится из предложенного перечня:

- Северо-Курильская зона (на кальмар устанавливаются общие допустимые уловы),
- Южно-Курильская зона (на кальмар устанавливаются общие допустимые уловы),
- Петропавловско-Командорская подзона Восточно-Камчатской зоны (на кальмар устанавливаются общие допустимые уловы),
- Карагинская подзона Восточно-Камчатской зоны (на кальмар устанавливаются квоты на вылов),

- Западно-Беринговоморская зона (на кальмар устанавливаются квоты на вылов),
- Подзона Приморье зона Японское море (на кальмар устанавливаются квоты на вылов).

Для расчета можно выбрать от 1 до 6 предложенных пунктов. После выбора зоны рядом с названием активируется поле для указания объемов ОДУ или объемов квот на добычу. Автоматически из базы данных добавляются значения объемов допустимых уловов по каждой зоне за 2025 год, выделенных для промышленного и (или) прибрежного рыболовства. На данном шаге можно изменить любое значение.

Пример окна с тремя выбранными зонами, в которых кальмар является объектом, на который устанавливаются ОДУ, представлен на рисунке 10.

Шаг 2. При выборе зоны (или подзоны) автоматически формируется список пользователей квот в выбранных зонах. Из базы данных для Северо-Курильской и Южно-Курильской зон и для Петропавловско-Командорской подзоны Восточно-Камчатской зоны формируется перечень пользователей с указанием выделенной им доли квоты. Общее количество таких пользователей указывается в поле «Количество предприятий имеющих квоты в выбранных зонах», а так же в таблице ниже этого поля отображается объем квот в тоннах выделенных каждому предприятию. Одновременно с этим из базы данным имеющихся в наличии судов формируется таблица судов каждого из четырех типов (среднетоннажные суда типов СРТМ, СТР и ТСМ, а так же малотоннажные суда типа РС). В таблице указывается количество имеющихся судов у каждого предприятия.

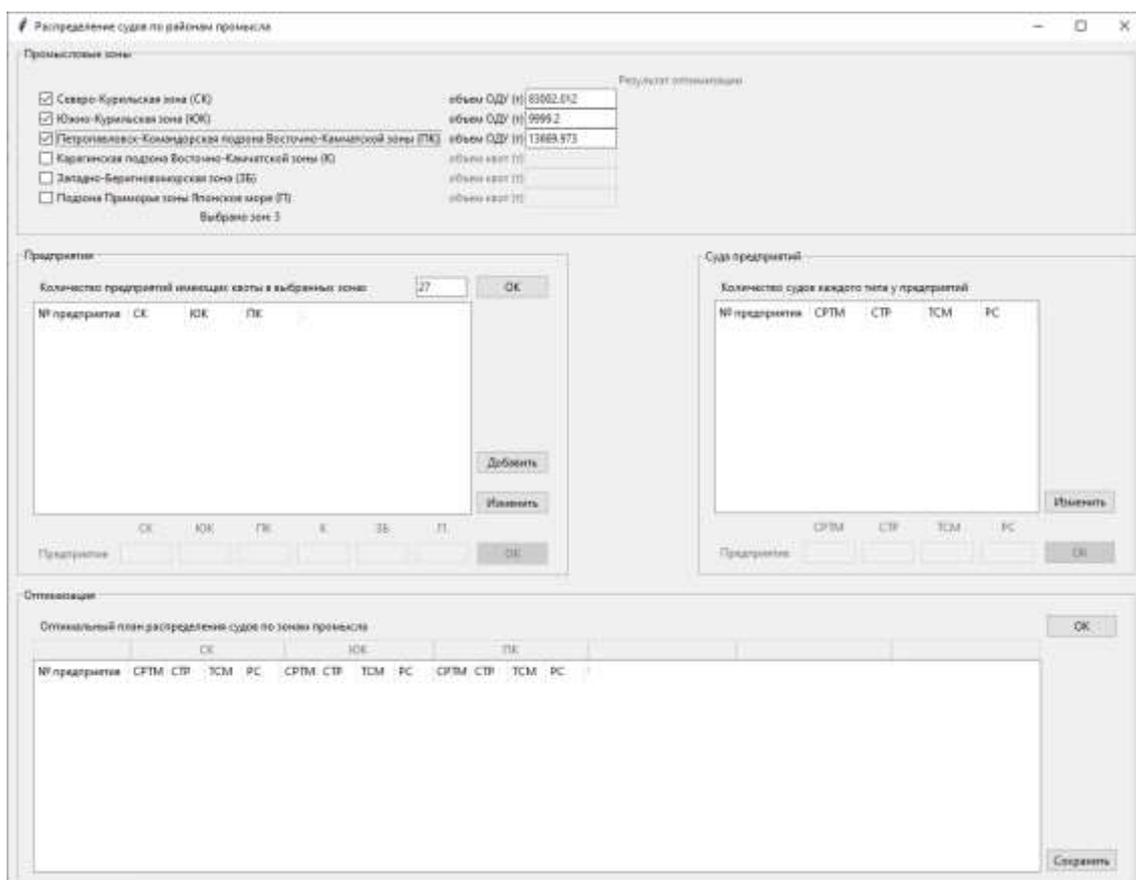


Рисунок 10 – Окно оптимизации распределения флота по зонам промысла (шаг 1: выбор промысловых зон)

Пример окна с квотами и судами пользователей для двух выбранных зон представлен на рисунке 11.

Число предприятий можно увеличить с помощью кнопки «Добавить». Данные добавляются сразу в две таблицы.

Представленные в таблицах данные можно изменить с помощью кнопок «Изменить» для каждой таблицы. Например, если пользователь (предприятие) получил еще квоты, или количество судов у пользователя изменилось, например, уменьшилось, т.е. судно было переоборудовано или отправлено на ремонт, или увеличилось, предприятие наняло судно у другой организации.

Шаг 3. Для решения задачи оптимизации из базы данных выбирается среднесуточный вылов для каждого типа судна в каждой выбранной зоне за весь период промысловой доступности объекта. Так же из базы данных для

каждого типа судна выбирается оптимальное значение рейсооборота для выбранных зон, рассчитанное с учетом всех потерь времени и периода промысловой доступности кальмар в выбранных зонах.

Промысловые зоны

Северо-Курльская зона (СК) объем ОДУ (т) 83602.812
 Южно-Курльская зона (ЮК) объем ОДУ (т) 9999.2
 Петропавловско-Командорская подзона Восточно-Камчатской зоны (ПК) объем ОДУ (т) 13669.973
 Каргинская подзона Восточно-Камчатской зоны (К) объем квот (т)
 Западно-Беринговская зона (ЗБ) объем квот (т)
 Подзона Прямые топи: Платонской зоны (ПТ) объем квот (т)

Выбрано зон: 3

Результат оптимизации

объем ОДУ (т)	83602.812
объем ОДУ (т)	9999.2
объем ОДУ (т)	13669.973
объем квот (т)	
объем квот (т)	
объем квот (т)	

Предприятия

Количество предприятий имеющая квоты в выбранных зонах: 27

№ предприятия	СК	ЮК	ПК
1	38865.487	0.0	851.419
2	3153.246	0.0	260.068
3	1143.788	84.192	0.0
4	1377.003	0.0	0.0
5	6195.339	0.0	4246.987
6	846.621	0.0	0.0
7	495.85	0.0	0.0
8	275.717	0.0	3842.903
9	11857.567	0.0	0.0
10	323.709	373.27	0.0

Суда предприятий

Количество судов каждого типа у предприятий

№ предприятия	СРТМ	СТР	ТСМ	РС
1	6	5	3	10
2	2	2	2	2
3	2	2	2	2
4	2	2	2	2
5	9	5	3	10
6	2	2	2	2
7	3	2	2	2
8	4	2	2	2
9	2	2	2	2
10	3	2	2	2

Оптимизация

Оптимальный план распределения судов по зонам промысла

№ предприятия	СК	ЮК	ПК
СРТМ			
СТР			
ТСМ			
РС			

Рисунок 11 – Окно оптимизации распределения флота по зонам промысла (шаг 2: получение данных из базы данных)

Шаг 4. Решение задачи линейной оптимизации распределения флота по зонам промысла с учетом всех выбранных значений и указанных ограничений (формула). Результат решения задачи отображается в виде таблицы для каждой выбранной зоны. В таблицы указывается количество судов каждого из четырех типов необходимое для добычи указанных объемов кальмара по зонам. Пример окна представлен на рисунке 12.

Результатом решения первой оптимизационной задачи является предварительное распределение добывающих судов каждого предприятия по зонам промысла.

Распределение судов по районам промысла

Промысловые зоны:

- Северо-Куральская зона (СК)
- Южно-Куральская зона (ЮК)
- Петропавловско-Командорская подзона Восточно-Камчатской зоны (ПК)
- Камчатская подзона Восточно-Камчатской зоны (К)
- Западно-Беринговоморская зона (ЗБ)
- Подзона Придальней зоны Атлантического океана (П)

Выбрано зон: 3

Результат оптимизации:

объем СДУ (т):	33002.812	77816.24099999997
объем СДУ (т):	9999.2	9999.101
объем СДУ (т):	13069.973	12597.701
объем косяк (т):		
объем косяк (т):		
объем косяк (т):		

Предприятия:

Количество предпринятых инвестиций косяк в выбранной зоне: 27

№ предприятия	СК	ЮК	ПК
1	38666.487	0.0	891.419
2	3153.246	0.0	280.098
3	1143.768	84.193	0.0
4	1377.063	0.0	0.0
5	6163.389	0.0	4246.987
6	846.621	0.0	0.0
7	466.06	0.0	0.0
8	279.717	0.0	3842.903
9	11857.667	0.0	0.0
10	323.768	373.27	0.0

Суда предприятия:

Количество судов каждого типа у предприятий:

№ предприятия	СРТМ	СТР	ТСМ	РС
1	7	6	3	10
2	2	2	2	2
3	2	2	2	2
4	2	2	2	3
5	8	5	3	10
6	2	2	2	2
7	3	2	2	2
8	4	2	2	2
9	2	4	2	2
10	3	2	2	2

Оптимизация:

Оптимальный план распределения судов по зонам промысла:

№ предприятия	СК				ЮК				ПК			
	СРТМ	СТР	ТСМ	РС	СРТМ	СТР	ТСМ	РС	СРТМ	СТР	ТСМ	РС
1	7	6	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
3	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	2	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0
6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	2	0
9	1	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0

Рисунок 12 – Окно оптимизации распределения флота по зонам промысла (отображение оптимального решения)

После завершения последнего шага алгоритма решение записывается в файл, который в дальнейшем будет использован для решения второй задачи оптимизации.

Файл содержит следующие сведения:

- Зоны, для которых была решена первая оптимизационная задача.
- Оптимальный план распределения судов по зонам промысла для каждой зоны и для каждого предприятия-судовладельца.
- Количество судо-суток для каждого предприятия-судовладельца в течение которых суда определенного типа должны вести промысел в каждой зоне в соответствии с оптимальным ланом распределения судов по зонам промысла и оптимальным рейсообразотом для каждого типа судна.

Схема информационных потоков оптимизации распределения добывающих судов по зонам промысла представлена на рисунке 13.

Решение первой оптимизационной задачи это приближенное решение исходной задачи оптимизации распределения судов по зонам промысла. При решении используется дополнительное допущение, связанное с периодами промысловой доступности кальмара в каждой рассматриваемой зоне. После определения периодов доступности кальмара (глава 1) установлено, что в течение года промысловые суда не могут быть задействованы на добыче кальмара полные два рейса. В силу этого при решении первой оптимизационной задачи считаем, что судно в течение календарного года выполняет только один промысловый рейс для добычи кальмара. Возможность задействования судов более чем на 1 рейс в течение календарного года учтена при решении второй оптимизационной задачи.

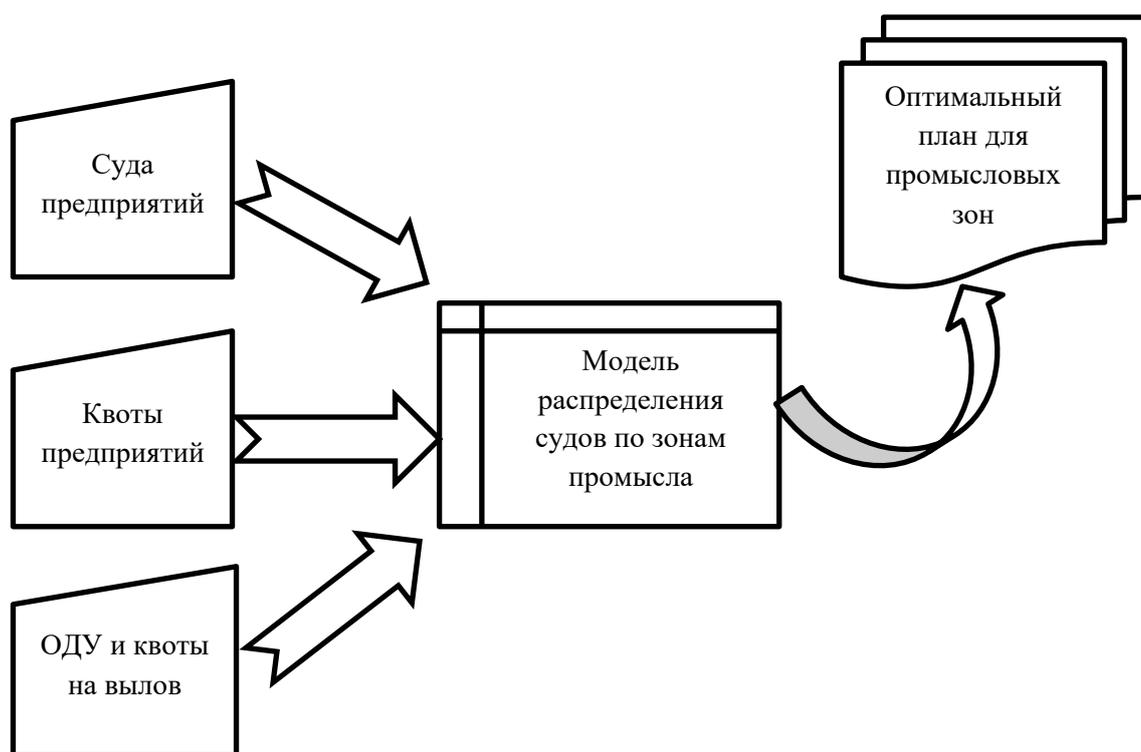


Рисунок 13 – Схема информационных потоков первой оптимизационной задачи

Решение оптимизационной задачи представляет собой совокупность оптимизационных распределений добывающих судов на промысле кальмара в выбранных зонах. Структура полученного решения представлена на рисунке 14.

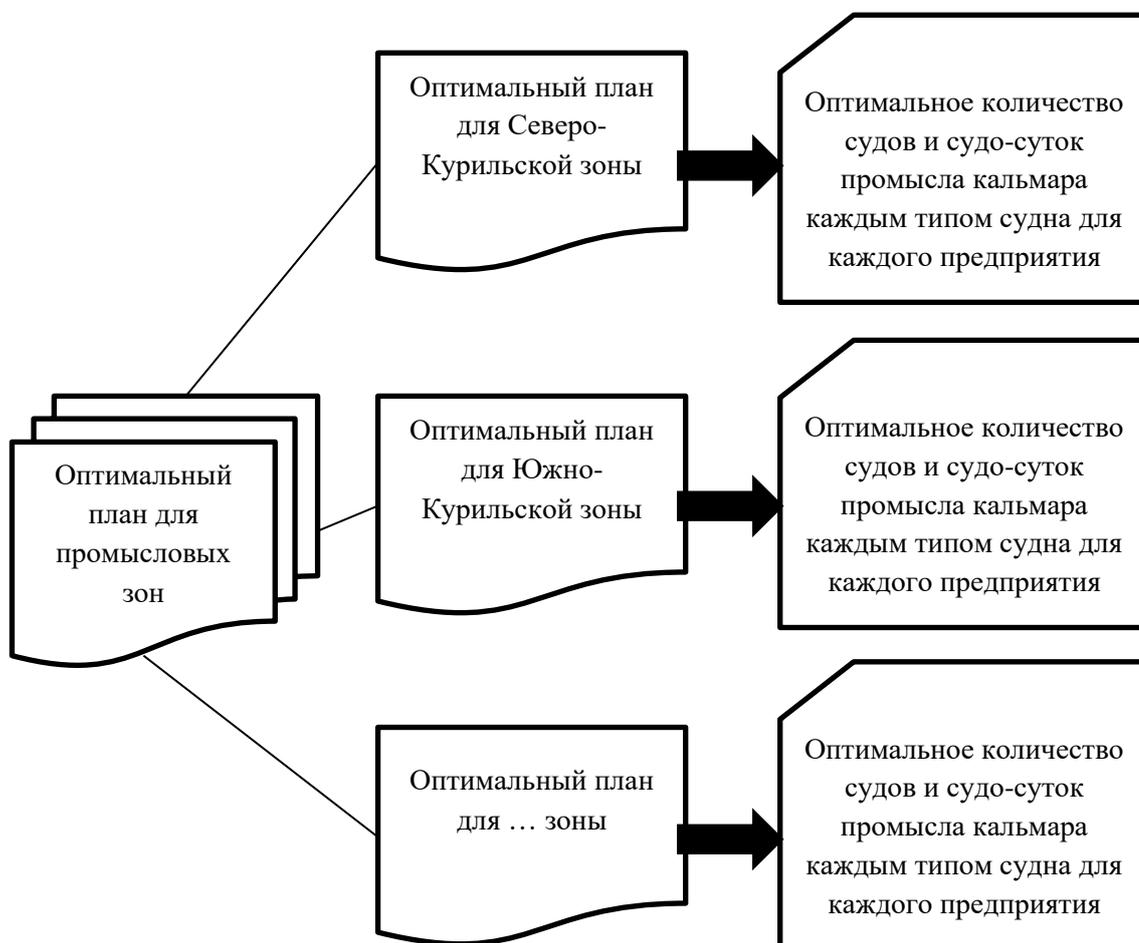


Рисунок 14 – Структура оптимального решения первой оптимизационной задачи

3.3 Оптимизация годового режима работы судна с учетом периодов промысловой доступности командорского кальмара

Распределить суда, выделенные при решении предыдущей задачи для работы в промысловой зоне, по траловым дорогам для ведения промысла в течение календарного года с учетом периода промысловой доступности

кальмара в рассматриваемой зоне и среднего суточного вылова в каждом месяце.

При решении задачи первого этапа получено количество судо-суток для каждого типа судна и каждого предприятия.

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.

Введем дополнительные обозначения для формализации новой оптимизационной задачи.

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 .

$FSO_y(z, ks_{ity}, dps_{itz}, km_{jty}, dpm_{jtz})$ – 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 (20) – задача динамического программирования, распределения судов по траловым дорогам в промысловой зоне с максимизацией вылова.

Для решения полученной задачи (20) 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.

$$\begin{aligned}
 FSO(z) &= \sum_y FSO_y(z, ks_{ity}, dps_{itz}, km_{jty}, dpm_{jtz}) \rightarrow \max \\
 ks_{ity} &\leq \frac{dps_{itz}}{ro_{iz}} \\
 km_{jty} &\leq \frac{dpm_{jtz}}{ro_{jz}} \\
 ks_{ity}, km_{jty} &\geq 0
 \end{aligned} \tag{21}$$

Полученная задача решена в виде компьютерной программы на языке программирования python, т.к. решение является большим и трудоемким (Приложение А) [83].

Для решения этой задачи используются результаты оптимизации первой задачи.

В зависимости от имеющейся в предприятия-судовладельца доли квоты на промысле командорского кальмара в рассматриваемой промысловой зоне и периода промысловой доступности кальмара в данной зоне для судна может быть определено 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.

Средний суточный вылов каждого судна при задействования 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. Таблицы значений средних суточных выловов для каждого рассмотренного варианта работы судов на траловых дорогах промысловой зоны представлены в приложении (приложение О).

Исходные данные для оптимизационной задачи распределения судов по районам промысла (траловым дорогам):

- промысловая зона, для которой была решена первая оптимизационная задача,
- предварительное распределение добывающих судов каждого предприятия в зону промысла, полученное при решении первой оптимизационной задачи,
- объем ОДУ для зон, в которых на добычу кальмара он устанавливается (данные берутся из базы данных, составленной на основании приказов об установлении общих допустимых уловов),
- распределение квот на вылов для предприятий (данные берутся из базы данных, составленной на основании приказов о распределении долей квот между пользователями),
- период промысловой доступности кальмара в выбранной зоне и приоритет месяцев (данные берутся из базы данных построенной на основании анализа представленного в главе 1),
- средние суточные выловы в каждом месяце года для каждого типа судна в рассматриваемой промысловой зоне (данные берутся из базы

данных построенной на основании анализа представленного в главе 1, таблицы с данными представлены в приложении Д),

– оптимальные значения рейсооборота для выбранных зон, рассчитанные с учетом всех потерь времени и периода промысловой доступности кальмар в конкретной зоне (расчет выполнен по алгоритму представленным в главе 2, формулы 5-8).

Алгоритм решения задачи:

Шаг 1. Выбор промысловой зоны для оптимизации работы добывающего флота в этой зоне. Выбор производится на основании полученного оптимального решения первой оптимизационной задачи. Выбор предоставляется из перечня зон, для которых было выполнено распределение судов. На рисунке 15 представлен пример окна с доступными промысловыми зонами.

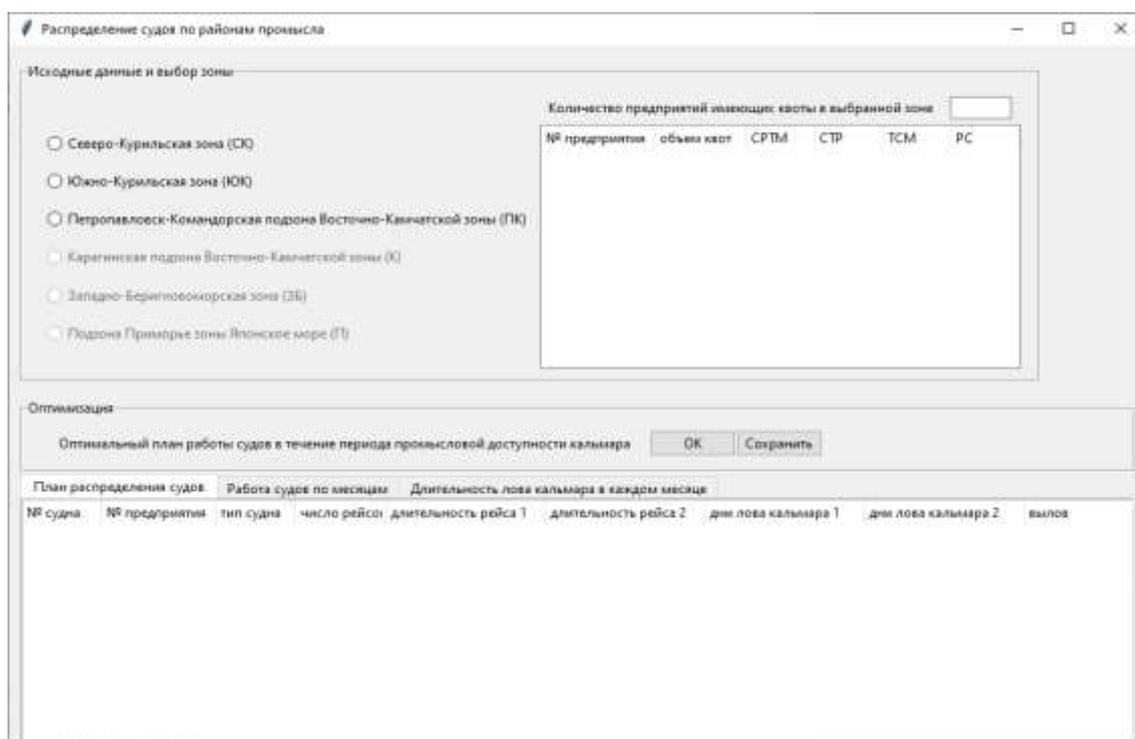


Рисунок 15 – Окно оптимизации распределения флота в промысловой зоне (шаг 1: выбор промысловой зоны)

Шаг 2. Выполняется автоматически при выборе определенной зоны. На основании полученного ранее оптимального количества судов и судо-суток промысла кальмара каждым типом судна для каждого предприятия формируется таблица данных (рисунок 16).

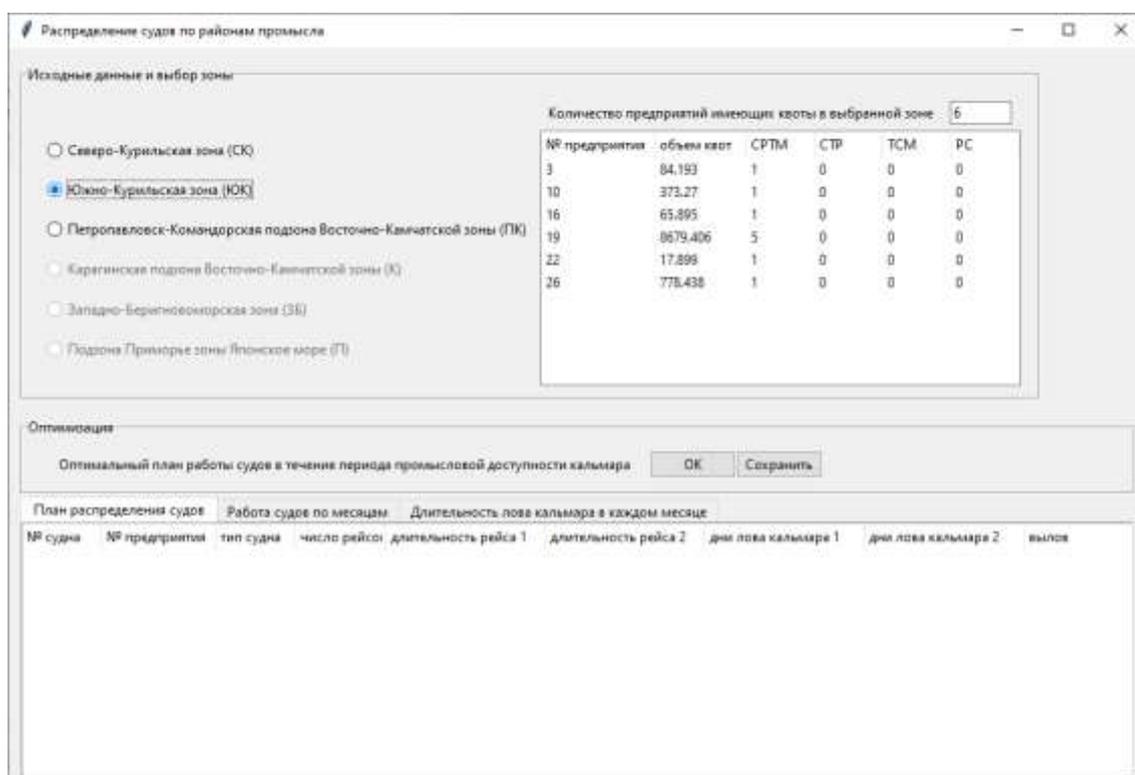


Рисунок 16 – Окно оптимизации распределения флота в промысловой зоне (шаг 2: получение решения первой задачи оптимизации)

Шаг 3. Для каждого судна определенного типа относящегося к одному предприятию-судовладельцу составляется последовательность управляющих состояний, представляющая собой годовой план работы судна в рассматриваемой промысловой зоне.

Пусть $S_{it}(r)$ – управляющее состояние номер r для среднетоннажного судна типа i предприятия-судовладельца t . Для каждого судна определяется некоторое конечное количество управляющих состояний, каждое из которых зависит от типа судна, периода промысловой доступности кальмара в рассматриваемой зоне, выделенных квотах для предприятия-судовладельца и

некоторых изменяемых факторов, одним из которых является время ремонта судна в течение календарного года.

Таким образом, каждое из управляющих состояний зависит от:

- типа судна (оптимального рейсообразота судна, времени непрерывного пребывания судна в море, времени стоянки судна в порту до и после рейса, времени межрейсового технического обслуживания судна, времени ремонта судна);
- промысловой зоны (период промысловой доступности кальмара);
- квоты, выделенные предприятию-судовладельцу;
- среднего суточного вылова кальмара для судна определенного типа.

Шаг 4. Для каждого типа судна на основании управляющих состояний $S_{it}(r)$ выбирается оптимальное состояние $S_{it}(r_{\text{опт}})$, такое чтобы суммарный вылов, полученный судном на промысле кальмара в течение составленного годового плана работы был максимальным, при условии ограничения вылова выделенными предприятию-судовладельцу квотами и ограниченности задействования судов на траловых дорогах одновременно.

Результатом решения второй оптимизационной задачи является план работы судов на промысле кальмара в рассматриваемой промысловой зоне (рисунок 16).

Оптимизационный план работы судов в промысловой зоне включает в себя:

- номер судна,
- номер предприятия,
- тип судна,
- количество рейсов с промыслом кальмара,
- длительность промысла кальмара с учетом допустимых потерь времени для каждого рейса,

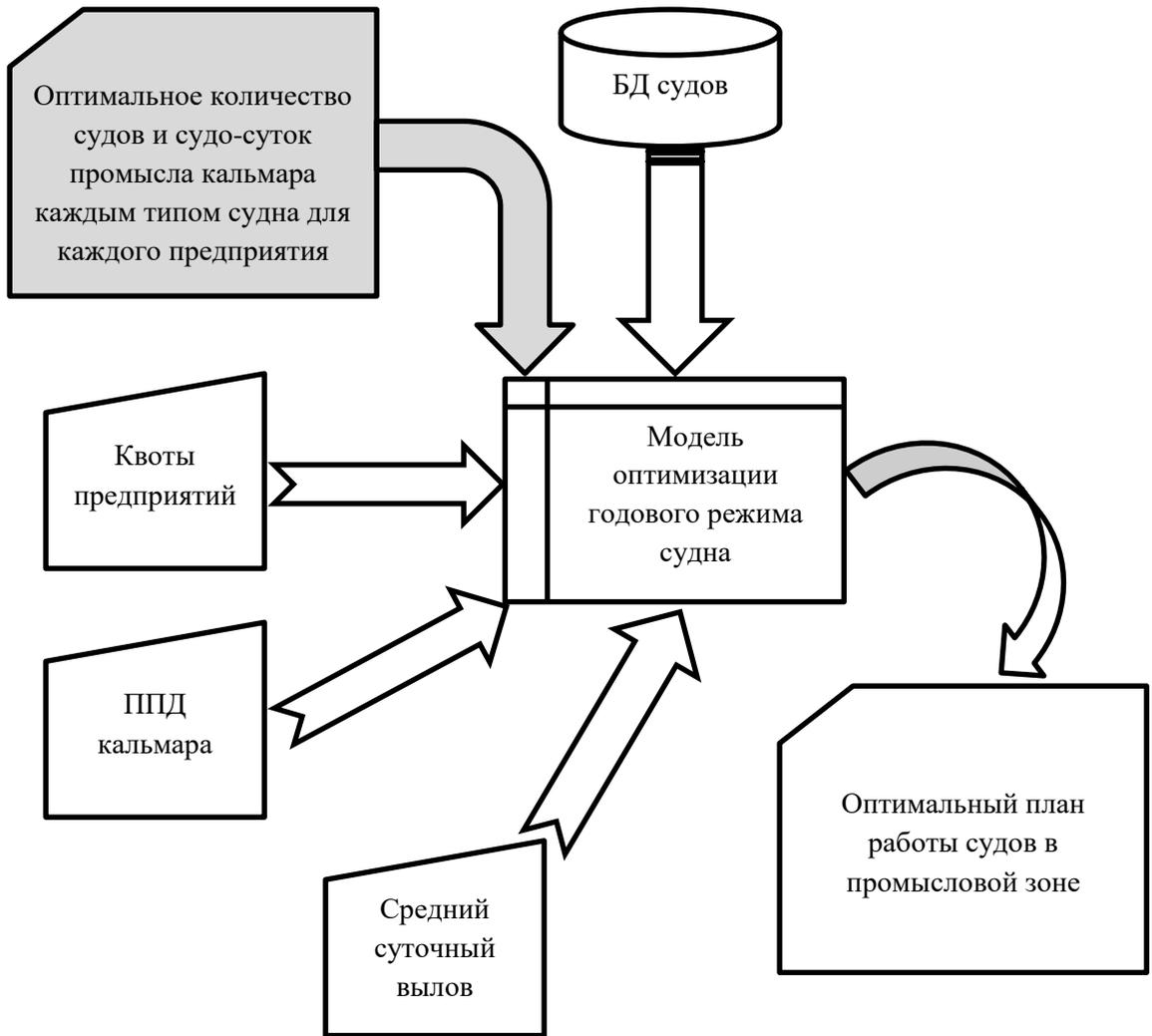


Рисунок 18 – Схема информационных потоков второй оптимизационной задачи

3.4 Оптимизация процесса управления годовой эксплуатацией добывающих судов на промысле командорского кальмара

Решение задачи оптимизации годового режима работы судна с учетом периодов промысловой доступности кальмара представляет собой оптимальный план работы судна в течение календарного года в идеальных условиях, при которых выполняет 2 рейса в течение календарного года и между рейсами не требуется ремонт судна сроком более чем длительность межрейсового технического обслуживания. Таким образом, время ремонта судна запланировано на время перед первым рейсом и/или время после

второго рейса. Фактически при оптимизации время ремонта устанавливается на период, в который кальмар в рассматриваемой зоне является недоступным для промысла или же ведение промысла в этот период нецелесообразно в связи с тем, что средний суточный вылов кальмара в этот период значительно ниже, чем в период промысловой доступности кальмара.

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, определяется временем непрерывного пребывания судна в море и временем необходимы 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.

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

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

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

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

$t_{\text{рейс1}}, t_{\text{рейс2}}$ – 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 следующим 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.

В данной задаче важным компонентом является человек, осуществляющий планирование годового режима работы судна, т.к. именно он устанавливает и корректирует время ремонта судна.

Полученная задача решена в виде компьютерной программы на языке программирования python, т.к. решение является большим и трудоемким (Приложение А) [84].

Алгоритм решения задачи:

Шаг 1. Выбор судна, для которого будет построен график годового режима работы. Выбор производится на основании полученного оптимального решения второй оптимизационной задачи. Выбор предоставляется из перечня судов, для которых была выполнена оптимизация годового режима работы. На рисунке 19 представлен пример окна с доступными судами.

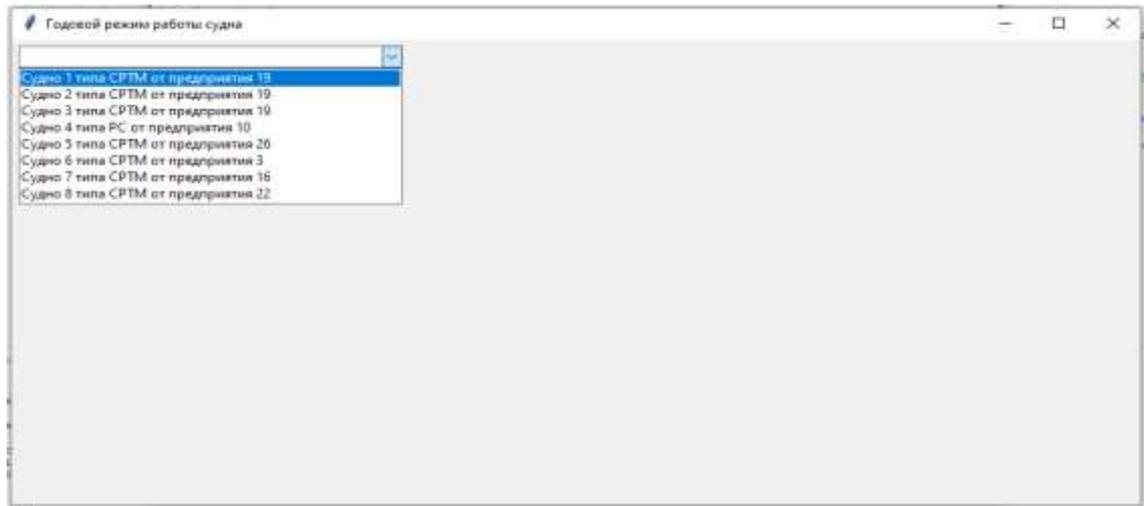


Рисунок 19– Окно оптимизации годового режима работы судна (шаг 1: выбор судна)

Шаг 2. На основании составленного оптимального плана годового режима работы судна строится предварительный график работы судна. Периоды промысла кальмара отмечены синим цветом, периоды промысла иных промысловых объектов отмечены красным цветом. На рисунке 20 представлен пример окна с построенным графиком работы добывающего судна.

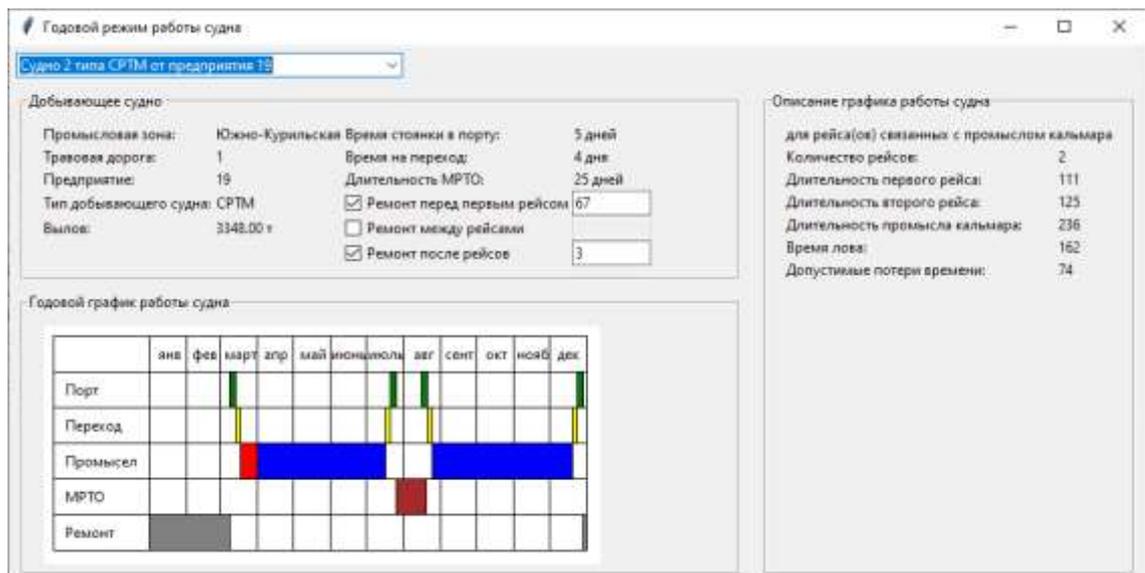


Рисунок 20– Окно оптимизации годового режима работы судна (отображение автоматически составленного годового режима работы судна)

Для наглядности разные периоды представлены разными цветами:

- периоды ремонта – серым цветом,
- время стоянки судна в порту – зеленым цветом,
- время переходы судна от порта в район промысла – желтым цветом,
- период МРТО – коричневым цветом,
- периоды промысла кальмара – синим цветом,
- периоды промысла иных промысловых объектов – красным цветом.

В отдельном пространстве указывается описание графика работы судна, которое содержит следующую информацию:

- количество рейсов судна, в которых оно ведет добычу кальмара,
- длительность рейсов на промысле кальмара,
- фактическое время лова кальмара,
- допустимые потери времени, которые были учтены при планировании рейсооборота судна.

Шаг 3. Данным шаг выполняется, если человек изменяет время ремонта судна. В этом случае происходит изменение графика работы судна и пересчет планируемого вылова. Если планируемый вылов нового режима работы судна ниже чем планируемый вылов составленного ранее оптимального режима работы судна выдается соответствующее предупреждение.

На рисунке 21 представлена схема информационных потоков задачи оптимизации годовой эксплуатации судна.

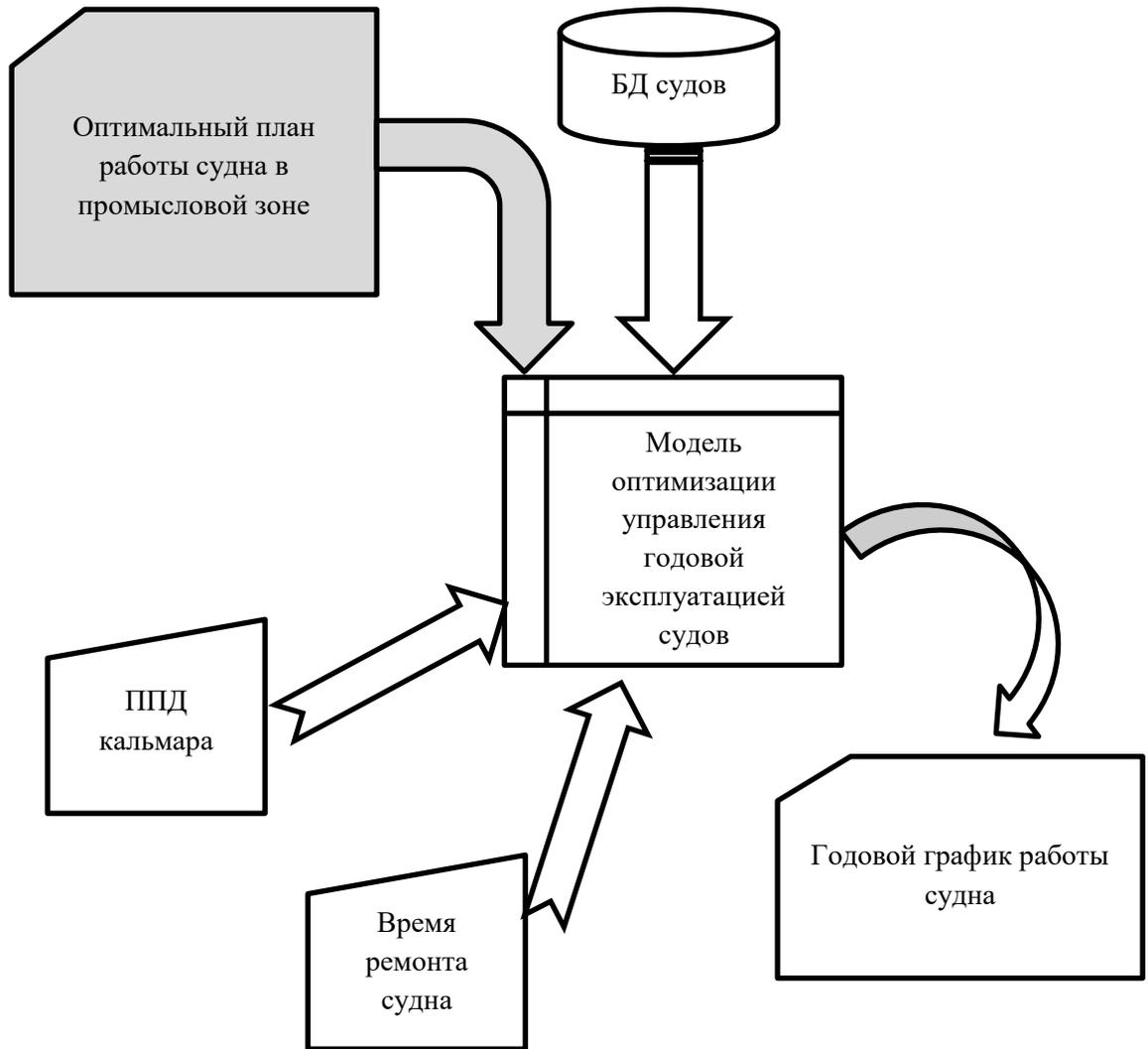


Рисунок 21 – Схема информационных потоков

3.5 Анализ моделирования промысла командорского кальмара

Согласно данным анализа проведенным в главе 1 освоение ОДУ на командорский кальмар в 2023 году составило 83,3%, что хоть и выше среднего значения освоения за девятилетний период (68,2%), но все же является недостаточным для того чтобы считать, что промысловый объект командорский кальмар осваивается на должном уровне.

В Петропавловск-Командорской подзоне Восточно-Камчатской зоны в течение года работали 16 судов трех типов: БМРТ, РТМ и СРТМ. В Северо-Курильской зоне в течение года работали 53 судна пяти типов: БМРТ, РТМ,

СРТМ, МРКТ и ТСМ. В Южно-Курильской в течение года работали 16 судов трех типов: БМРТ, РТМ и СРТМ.

Итого на добыче кальмара в 2023 году в трех промысловых зонах было задействовано 85 судов.

В таблице 2 представлены исходные данные для моделирования оптимизации распределения судов на добыче кальмара в промысловых зонах ДВБР. В таблице указаны 27 предприятий и выделенные им доли квот на промысел кальмара в трех промысловых зонах, а так же данные о добывающем флоте каждого предприятия.

Далее по тексту для среднетоннажных добывающих судов современного типа используются обозначение СДС1, СДС2 и СДС3. Для малотоннажных добывающих судов – МДС1.

Таблица 2 – Исходные данные (доли квот, добывающий флот)

№ предприятия	Доля квоты, тонны			Состав флота, штуки			
	СК	ЮК	ПК	СДС1	СДС2	СДС3	МДС1
1.	38666,487	0	891,419	6	6	3	10
2.	3153,246	0	280,098	2	2	2	2
3.	1143,768	84,193	0	2	2	2	2
4.	1377,003	0	0	2	2	2	2
5.	6165,389	0	4246,987	5	5	3	10
6.	846,621	0	0	2	2	2	2
7.	405,05	0	0	2	2	2	2
8.	279,717	0	3842,903	2	2	2	2
9.	11857,667	0	0	2	4	2	2
10.	323,708	373,27	0	2	2	2	2
11.	611,725	0	247,427	2	2	2	2
12.	1528,897	0	58,234	2	2	2	2
13.	3176,487	0	2129,098	5	5	3	10
14.	226,595	0	0	2	2	2	2
15.	903,892	0	0	2	2	2	2
16.	442,401	65,895	0	2	2	2	2

Окончание таблицы 2

№ предприятия	Доля квоты, тонны			Состав флота, штуки			
	СК	ЮК	ПК	СДС1	СДС2	СДС3	МДС1
17.	442,401	65,895	0	2	2	2	2
18.	120,353	0	0	2	2	2	2
19.	394,26	0	0	2	2	2	2
20.	6071,597	8679,406	179,954	10	12	10	10
21.	735,398	0	0	2	2	2	2
22.	152,724	0	0	2	2	2	2
23.	393,43	17,899	0	2	2	2	2
24.	1151,238	0	0	2	2	2	2
25.	428,29	0	0	2	2	2	2
26.	417,5	0	0	2	2	2	2
27.	0	778,438	0	2	2	2	2
28.	224,935	0	0	2	2	2	2

Первый этап оптимизации: решение задачи оптимизации распределения судов по зонам промысла. На первом этапе не учитывается, то что судно может выполнить более одного рейса за календарный год. На этапе анализа данных установлены периоды промысловой доступности объектов для каждой промысловой зоны, где ведется добыча кальмара. Длительность полученных периодов промысловой доступности не позволяет выполнять два полных рейса для добывающих судов.

Освоение квот по промысловым зонам:

Южно-Курильская зона – оптимальный вылов составит 9 999,1 т, освоение составит 99,9%.

Северо-Курильская зона – оптимальный вылов 77 916,24 т, освоение составит 93,87%.

Петропавловко-Командорская подзона Восточно-Камчатской зоны – оптимальный вылов 12 597,7 т, освоение составит 92,16%.

Окончание таблицы 3

№ пред- приятия	СК				ЮК				ПК			
	СДС1	СДС2	СДС3	МДС1	СДС1	СДС2	СДС3	МДС1	СДС1	СДС2	СДС3	МДС1
26.	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27.	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
28.	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Всего	36	10	9	0	10	0	0	0	6	2	9	0

Итоговый результат решения первой оптимизационной задачи – распределение судов по зонам промысла:

55 судов для добычи кальмара в Северо-Курильской зоне

10 судов для добычи кальмара в Южно-Курильской зоне.

17 судов для добычи кальмара в Петропавловско-Командорской подзоне Восточно-Камчатской зоны.

В таблице 4 представлены данные о выделенных квотах для предприятия и оптимальном вылове, полученном в результате решения первой оптимизационной задачи (16).

Таблица 4 – Сравнение выделенных долей квот на вылов и оптимального вылова, полученного при решении задачи (16)

№ предприятия	Доля квоты, тонны			Оптимальный вылов, тонны		
	СК	ЮК	ПК	СК	ЮК	ПК
1.	38666,487	0	891,419	35384,35	0	0,00
2.	3153,246	0	280,098	3153,24	0	280,098
3.	1143,768	84,193	0	1143,768	84,193	0
4.	1377,003	0	0	1377,003	0	0
5.	6165,389	0	4246,987	6165,389	0	4246,987
6.	846,621	0	0	846,621	0	0
7.	405,05	0	0	405,05	0	0
8.	279,717	0	3842,903	279,717	0	3842,903
9.	11857,667	0	0	11857,667	0	0
10.	323,708	373,27	0	323,708	373,27	0

Окончание таблицы 4

№ предприятия	Доля квоты, тонны			Оптимальный вылов, тонны		
	СК	ЮК	ПК	СК	ЮК	ПК
11.	38666,487	0	891,419	35384,35	0	0,00
12.	3153,246	0	280,098	3153,24	0	280,098
13.	1143,768	84,193	0	1143,768	84,193	0
14.	1377,003	0	0	1377,003	0	0
15.	6165,389	0	4246,987	6165,389	0	4246,987
16.	846,621	0	0	846,621	0	0
17.	405,05	0	0	405,05	0	0
18.	279,717	0	3842,903	279,717	0	3842,903
19.	11857,667	0	0	11857,667	0	0
20.	323,708	373,27	0	323,708	373,27	0
21.	611,725	0	247,427	611,725	0	247,427
22.	1528,897	0	58,234	1528,897	0	58,234
23.	3176,487	0	2129,098	3176,487	0	2129,098
24.	226,595	0	0	226,595	0	0
25.	903,892	0	0	903,892	0	0
26.	442,401	65,895	0	442,401	65,895	0
27.	120,353	0	0	120,353	0	0
28.	394,26	0	0	394,26	0	0
29.	6071,597	8679,406	1792,954	6071,597	8679,406	1792,954
30.	735,398	0	0	735,398	0	0
31.	152,724	0	0	152,724	0	0
32.	393,43	17,899	0	393,43	17,899	0
33.	1151,238	0	0	1151,238	0	0
34.	428,29	0	0	428,29	0	0
35.	417,5	0	0	417,5	0	0
36.	0	778,438	0	0	778,438	0
37.	224,935	0	0	224,935	0	0

В результате решение первой оптимизационной суммарный вылов в трех зонах составит 100 516,04 т, что составляет 94,23% от квот, выделенных для промышленного и (или) прибрежного рыболовства.

Всего будет задействовано 82 судна, что на 3 судна меньше фактически использованных судов.

Второй этап оптимизации: решение задачи оптимизации годового режима работы судна с учетом периодов промысловой доступности командорского кальмара выполняется для каждой промысловой зоны отдельно. Решение, полученное на предыдущем этапе, является базой для получения оптимального плана распределения судов.

Для Южно-Курильской зоны решение второй оптимизационной задачи:

Задействовано судов – 8,

Оптимальный вылов – 9 982,66 т, освоение – 99,84%.

Результат распределения судов предприятий-судовладельцев, имеющих квоты на вылов в Южно-Курильской зоне, с указанием количества выполняемых рейсов и полученного вылова кальмара за время работы в промысловой зоне представлен в таблице 5.

Таблица 5 – Распределение добывающего флота и оптимальный вылов по типам судов (Южно-Курильская зона)

№ предприятия	Тип добывающего судна	Количество добывающих судов		Оптимальный вылов
		2 рейса	1 рейс	
3	СДС1	0	1	71,08
10	СДС1	0	1	373,24
16	СДС1	0	1	64,38
19	СДС1	2	1	8678,8
22	СДС1	0	1	17,9
26	СДС1	0	1	777,28

Для Северо-Курильской зоны решение второй оптимизационной задачи:

Задействовано судов – 43,

Оптимальный вылов – 80 491,79 т, освоение – 99,13%.

Результат распределения судов предприятий-судовладельцев, имеющих квоты на вылов в Северо-Курильской зоне, с указанием количества выполняемых рейсов и полученного вылова кальмара за время работы в промысловой зоне представлен в таблице 6.

Таблица 6 – Распределение добывающего флота и оптимальный вылов по типам судов (Северо-Курильская зона)

№ предприятия	Тип добывающего судна	Количество добывающих судов		Оптимальный вылов
		2 рейса	1 рейс	
1	СДС1	4	0	19463,96
	СДС2	3	1	15068,68
	СДС3	2		3472,72
2	СДС1	0	1	3153,09
3	СДС1	0	1	1143,12
4	СДС1	0	1	1376,61
5	СДС1	0	1	2691,84
	СДС3	2	0	3472,72
6	СДС1	0	1	846,2
7	СДС1	0	1	404,35
8	СДС3	0	1	279,28
9	СДС2	2	1	11097,52
	СДС3	0	1	759,93
10	СДС1	0	1	323,56
11	СДС1	1	1	593,04
12	СДС1	0	1	1528,66

Окончание таблицы 6

№ предприятия	Тип добывающего судна	Количество добывающих судов		Оптимальный вылов
		2 рейса	1 рейс	
12	СДС1	0	1	1528,66
13	СДС1	1	0	3176,31
14	СДС1	0	1	222,61
15	СДС1	0	1	902,94
16	СДС1	1	1	440,41
17	СДС1	0	1	114,93
18	СДС1	0	1	391,85
19	СДС1	1	1	6071,35
20	СДС1	0	1	735,18
21	СДС1	0	1	150,49
22	СДС1	0	1	391,85
23	СДС1	0	1	1151,22
24	СДС1	0	1	427,91
25	СДС1	0	1	416,85
27	СДС1	0	1	222,61

Для Петропавловско-Командорской подзоны Восточно-Камчатской зоны решение второй оптимизационной задачи:

Задействовано судов – 12,

Оптимальный вылов – 12669,6 т, освоение – 93,92%.

Результат распределения судов предприятий-судовладельцев, имеющих квоты на вылов в Петропавловско-Командорская подзона Восточно-Камчатской зоны, с указанием количества выполняемых рейсов и полученного вылова кальмара за время работы в промысловой зоне представлен в таблице 7.

Таблица 7– Распределение добывающего флота и оптимальный вылов по типам судов (Петропавловско-Командорская подзона Восточно-Камчатской зоны)

№ предприятия	Тип добывающего судна	Количество добывающих судов		Оптимальный вылов
		2 рейса	1 рейс	
2	СДС3	0	1	279,28
5	СДС1	1	1	4337,99
8	СДС2	2	1	3842,84
11	СДС1	0	1	246,48
12	СДС1	0	1	41,08
13	СДС3	2	0	2129,00
19	СДС3	1	1	1792,95

Всего будет задействовано 63 судна, что на 22 судна меньше фактически использованных судов.

Количество дней, в течение которых судно ведет промысел кальмара в каждом месяце периода промысловой доступности добывающих судов на примере Южно-Курильской представлена в таблице 8.

Таблица 8 – Фактическое время лова судов в каждом месяце в Южно-Курильской зоне

№ предприятия	Тип добывающего судна										
		04	05	06	07	08	09	10	11	12	
19	СДС1	21	22	21	12	8	21	22	21	16	
19	СДС1	21	22	21	12	8	21	22	21	16	
19	СДС1	0	0	0	13	22	12	0	0	0	

Окончание таблицы 8

№ предприятия	Тип добывающего судна	Тип									
		04	05	06	07	08	09	10	11	12	
26	СДС1	0	0	0	0	10	18	0	0	0	
10	СДС1	0	0	0	0	12	1	0	0	0	
3	СДС1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	
16	СДС1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
22	СДС1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	

У трех предприятий (№№ 3, 22, 26) небольшие по сравнению с другими доли квот. Это означает, что предприятие не ведет целенаправленный промысел кальмара, а приобретает доли квот только для прилова кальмара при добыче других промысловых объектов. Поэтому для этих трех предприятий не выполняется оптимизация по распределению судов предприятий по траловым дорогам, т.к. промысел на кальмаре для судов этих предприятий составит 1-3 дня и в случае необходимости их работа может быть оперативно согласована с работой других судов. В результате оптимизации получены периоды работы судов на траловых дорогах (таблица 9) на добыче кальмара.

Таблица 9 – Оптимальное распределение периодов работы судов в Южно-Курильской зоне

Судно	№ предприятия	Тип добывающего судна	Период добычи кальмара в первом рейсе	Период добычи кальмара во втором рейсе
Судно № 1	19	СДС1	27 марта – 16 июня (111 дней)	21 августа – 23 декабря (125 дней)

Окончание таблицы 8

Судно	№ предприятия	Тип добывающего судна	Период добычи кальмара в первом рейсе	Период добычи кальмара во втором рейсе
Судно № 2	19	СДС1	27 марта – 16 июня (111 дней)	21 августа – 23 декабря (125 дней)
Судно № 3	19	СДС1	–	14 июля – 15 сентября (64 дня)
Судно № 4	26	СДС1	–	16 сентября – 26 октября (41 день)
Судно № 5	10	СДС1	24 июня – 14 июля (19 дней)	–

Если период работы судна на траловой дороге меньше времени непрерывного пребывания судна в море, тогда оставшееся время судно будет занято добычей иных промысловых объектов.

На рисунке 22 представлено распределение судов на траловой дороге в Южно-Курильской зоне в течение календарного года.

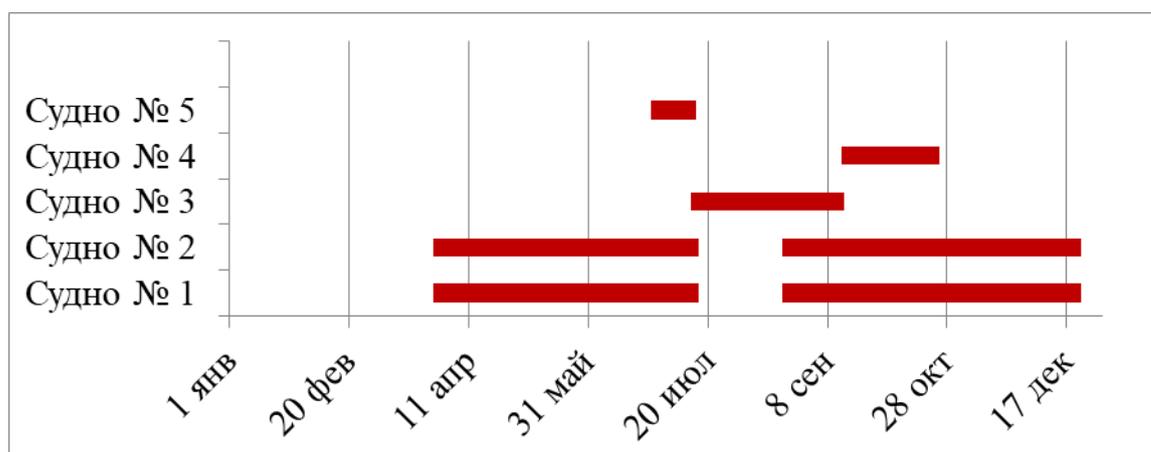


Рисунок 22 – Периоды добычи кальмара в Южно-Курильской зоне промысловыми судами

Аналогичным образом строится оптимальное распределение судов в Петропавловско-Командорской подзоне Восточно-Камчатской зоны и Северо-Курильской зоне с учетом задействованных траловых дорог и при условии, что все суда могут выполнять 4-5 производственных циклов.

Таким образом, при оптимизации распределения судов по предложенному алгоритму освоение квот составит 98,53%, что на 15,23% больше показателя за 2023 год и на 30,23% больше среднего показателя освоения за десятилетний период (2015-2024 гг).

Выводы по главе 3

Представлена модель оптимизации работы добывающего флота на промысле командорского кальмара состоящая из трех последовательно решаемых задач:

1. Задача оптимизации распределения судов по зонам промысла представляет собой первый шаг управления промыслов. Результатом оптимизации является численное распределение добывающих судов по зонам промысла и планируемый вылов, который будет получен этими судами в каждой из промысловых зон. Численный эксперимент моделирования оптимального распределения имеющегося добывающего флота показал, что освоение квот при реализации представленного в оптимальном решении распределения судов по зонам промысла составит 94,23%, что превышает средний показатель освоения квот за период с 2015 по 2024 гг на 26,03%.

2. Оптимизация годового режима работы судна с учетом периодов промысловой доступности командорского кальмара это второй этап оптимизации, результатом которого является оптимальное распределение судов для работы для каждой зоны отдельно. Оптимизация учитывает периоды промысловой доступности кальмара и особенности его добычи – траловые дороги. Численный эксперимент моделирования оптимального распределения имеющегося добывающего флота показал, что освоение квот при реализации представленного в оптимальном решении распределения

судов по зонам промысла составит 98,53%, что превышает средний показатель освоения квот за период с 2015 по 2024 гг на 30,23% и при этом количество судов которое необходимо для освоения командорского кальмара с полученным показателем на 8 судов меньше, чем количество судов, задействованных на промысла кальмара в 2023 г, когда процент освоения ОДУ составил 83,3%.

3. Разработанный программный комплекс может быть использован в процессах организации, планирования и управления рыбодобывающей деятельностью, как на государственном уровне, так и в рыбодобывающих организациях различных форм собственности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе были поставлены и решены следующие задачи:

- проведенный анализ состояния промысла командорского кальмара за период 2015-2024 гг, показал, что наблюдается неэффективное освоение командорского кальмара в промысловых зонах Дальневосточного рыбохозяйственного бассейна, связанное со спецификой биологии кальмара, привлечением для его промысла крупнотоннажных судов, нерациональным распределением промысловых усилий по зонам промысла, отсутствием заинтересованности пользователей в освоении квот в случае установления рекомендованных объемов добычи с последующей заявочной кампанией на получение таких квот;
- спроектирована новая однообъектная система по промысловому объекту «кальмар командорский» с учетом его биологических особенностей обитания, поведения в естественных условиях и в зоне действия орудия рыболовства (донного трала), периодами промысловой доступности кальмара по зонам промысла, с вовлечением в промысел эффективных промысловых мощностей (среднетоннажные и малотоннажные добывающие суда), наделенных оптимальными объемами квот с обязательным распределением по промысловым районам и зонам;
- разработаны математическая модель оптимизации распределения добывающего флота по зонам промысла с учетом периодов промысловой доступности кальмара и математическая модель управления годовой эксплуатацией добывающих судов на промысле командорского кальмара. Модели основаны на комбинации линейного и динамического программирования, что позволяет максимизировать освоение квот за счет синхронизации рейсов с периодами промысловой доступности и минимизировать эксплуатационные издержки через рациональное распределение судов по зонам и исключение «коротких» рейсообразов;

– разработан алгоритм оптимизации распределения добывающего флота по районам промысла и траловым дорогам, на основе которого создан пакет компьютерных программ организационно-управленческой оптимизации на языке программирования Python, состоящий из трех взаимосвязанных модулей: модуль оптимизации структуры добывающего флота владельцев квот, модуль оптимизации годового режима работы судна, модуль оптимизации процесса управления годовой эксплуатацией судов.

Разработанная однообъектная система «кальмар командорский» исключает использование крупнотоннажных судов с низкой рентабельностью, фокусируясь на среднетоннажных и малотоннажных промысловых мощностях, и обеспечивает оптимальное распределение добывающего флота по промысловым зонам с учетом пространственно-временной динамики скоплений кальмара.

С помощью разработанного комплекса компьютерных программ проведен численный эксперимент по распределению добывающего флота по зонам промысла командорского кальмара с учетом биологических, технических и экономических факторов. Полученные в ходе эксперимента результаты сравнивались с фактическими данными рыбопромысловой деятельности 2023 года. Анализ этого сопоставления позволил сформулировать следующие выводы:

– освоение квот при реализации представленного в оптимальном решении распределения судов по зонам промысла составит 98,53%, что превышает средний показатель освоения квот за период с 2015 по 2024 гг на 30,23%;

– количество судов, необходимое для освоения командорского кальмара, с полученным показателем на 22 судна меньше, чем количество судов, задействованных на промысле кальмара в 2023 г, когда процент освоения ОДУ составил 83,3%;

– полученные результаты проведенных экспериментов свидетельствуют о возможности сокращения численности задействованного

на промысле флота на 20–25 % при сохранении высокой степени освоения квот.

Разработанный алгоритм оптимизации доказал свою эффективность в условиях реального промысла, устраняя нерациональное распределение промысловых усилий и обеспечивая рентабельность деятельности даже при жестких ограничениях на объемы добычи, может быть использован в процессах организации, планирования и управления рыбодобывающей деятельностью, как на государственном уровне, так и в рыбодобывающих организациях различных форм собственности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев Д. О., Бизиков В. А., Ботнев Д. А., Лищенко Ф. В. История развития промысла командорского кальмара в водах России и его современное состояние // Труды ВНИРО. 2018. Т. 170. С. 90-104.
2. Алексеев Д. О., Лищенко Ф. В., Кивва К. К. Новый метод оценки биомассы командорского кальмара *Beryteuthis magister* // Вопросы рыболовства. 2017. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/novyy-metod-otsenki-biomassy-komandorskogo-kalmara-beryteuthis-magister> (дата обращения: 18.02.2025).
3. Алексеев Д. О. Представления о пространственно-функциональной структуре ареала охотоморской популяции командорского кальмара *Beryteuthis magister* // Вопросы рыболовства. 2018. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/predstavleniya-o-prostranstvenno-funktsionalnoy-strukture-areala-ohotomorskoj-populyatsii-komandorskogo-kalmara-beryteuthis> (дата обращения: 18.02.2025).
4. Алексеев Д. О. Пространственно-функциональная структура популяций кальмаров рода *Beryteuthis* в дальневосточных морях России // Труды ВНИРО. 2022. 2022 г. Т. 188. С. 13-48 <https://doi.org/10.36038/2307-3497-2022-188-13-48>
5. Алексеев Д. О. Пространственная биология командорского кальмара: автореферат дис. доктора биологических наук. – Москва, 2020. – 51 с.
6. Алексеев, Д. О. Пространственная биология командорского кальмара: диссертация ... доктора биологических наук : 03.02.10 / Алексеев Дмитрий Олегович; [Место защиты: ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии»]. - Москва, 2020. - 391 с.: ил
7. Андреев М.Н., Студенецкий С.А. Оптимальное управление на промысле. Москва: Пищевая промышленность, 1975. 288 с.

8. Антонов Н. П., Кузнецова Е. Н. Современное состояние промысла морских рыб в морях Дальнего Востока // Рыбное хозяйство. 2013. № 2. С. 55–57.
9. Баранов Ф.И. К вопросу о динамике рыбного промысла // Бюллетень рыбного хозяйства. 1925. № 8. С. 26–28. 296
10. Баринов В.В., Осипов Е.В., Иванко Н.С., Грибов А.Е., Комков А.С. Совершенствование промысла тихоокеанского кальмара (*Todarodes Pacificus*) с использованием источников света // Рыбное хозяйство. 2023. № 6. С. 150-156.
11. Баринов В.В., Осипов Е.В., Лисиенко С.В. Совершенствование технологии промысла кальмара // Известия КГТУ. 2016. № 43. С. 178–185.
12. Барышко М.Е. Рыбная промышленность Дальневосточного бассейна: монография. Владивосток: Дальрыбвтуз, 2005. 415 с.
13. Барышко М.Е. Рыбная промышленность Дальнего Востока: монография. Владивосток: ЛАИНС, 2012. 740 с.
14. Беллман Р., Энджел Э. Динамическое программирование и уравнения частных производных: пер. с англ. Москва: Мир, 1974. 205 с.
15. Беллман Р., Калаба Р. Динамическое программирование и современная теория управления: пер. с англ. Москва: Наука, 1969. 119 с.
16. Берг А.И. Кибернетика - наука об оптимальном управлении. Москва-Ленинград: Энергия, 1964. - 64 с.
17. Берталанфи Л. Общая теория систем – обзор проблем и результатов // Системные исследования. Ежегодник. Москва: Наука, 1969. С. 30–54.
18. Бир Ст. Кибернетика и управление производством. Москва: Физматгиз, 1963. 276 с.
19. Блауберг И.В., Мирский Э.М., Садовский В.Н. Системный подход и системный анализ // Системные исследования. Ежегодник. 1982. Москва: Наука, 1982. С. 47–64. 297

20. Блауберг И.В., Садовский В.Н., Юдин Э.Г. Системный подход в системной науке // Проблемы методологии системного исследования. Москва: Мысль, 1970. С. 7–48.
21. Блауберг И.В., Юдин Э.Г. Становление и сущность системного подхода. Москва: Наука, 1973. 271 с.
22. Бойцов А.Н., Лисиенко С.В., Осипов Е.В., Пилипчук Д.А. Устройство и эксплуатация орудий рыболовства: учеб. пособие. Владивосток: Дальрыбвтуз, 2020. 432 с.
23. Бородин Р.Г. Некоторые аспекты регулирования промысла // Сборник трудов по промысловому рыболовству. Москва: ВНИИТЭИРХ, 1973. Т. 1. С. 19–30.
24. Бочаров Л.Н. Системный анализ в краткосрочном рыбопромысловом прогнозировании. Ленинград: Наука, 1990. 208 с.
25. Буханевич И.Б., Драпацкий М.Я. О некоторых моделях системного анализа для управления рыболовством // Труды ВНИРО. 1978. Т. 128. С. 72–75.
26. Вагнер Г. Основы исследования операций. Москва: Мир, 1973. Т.3. 504 с.
27. Винер Н. Кибернетика. 2-е изд. Москва: Советское радио, 1968. 328 с.
28. Воронов А.А. Основы теории автоматического регулирования и управления. Ч. 3. Оптимальные, многосвязные и адаптивные системы. Ленинград: Энергия, 1970. 328 с.
29. Габрюк В.И., Мазур Е.Е. Методика проектирования разноглубинных тралов // Научные труды Дальрыбвтуза. 2013. Т. 28. С. 21–35.
30. Габрюк В.И., Кудакаев В.В., Мазур Е.Е. Методика моделирования симметричных и несимметричных траловых систем // Научные труды Дальрыбвтуза. 2024. Т. 67, № 1. С. 75–88.

31. Галембо З.Б., Веников Г.В. Системный подход к рассмотрению кибернетических систем: Методологические аспекты системного подхода к рассмотрению кибернетических систем и некоторые вопросы развития технических средств автоматизированной переработки информации // Техническая кибернетика. Москва: ВИНТИ, 1976. Т. 7. С. 268–328.
32. Глушков В.М. Введение в кибернетику. – Киев: Изд-во АН УССР, 1964.
33. Голиков Ю.Я., Костин А.А. Проблемы и принципы исследования меж системных взаимодействий в сложных человеко-машинных комплексах // Общеметодологические проблемы системных исследований. Ежегодник. 1998. Москва: Эдиториал УРСС, 1999.
34. Горский Ю.М. Системно-информационный анализ процессов управления. Новосибирск: Наука, Сиб. Отд-ние, 1988. 327 с.
35. Грибова К.А., Иванко Н.С., Лисиенко С.В. Формирование базы данных промысловой статистики рыбодобывающей деятельности в Дальневосточном рыбохозяйственном бассейне // В сборнике: Комплексные исследования в рыбохозяйственной отрасли. Материалы VIII Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Владивосток, 2023. С. 59-64.
36. Грибова К.А., Лисиенко С.В. Анализ освоения командорского кальмара в Восточно-Камчатской зоне Дальневосточного рыбохозяйственного бассейна в период 2014-2018 гг. // Научные труды Дальрыбвтуза. 2020. Т. 53, № 3. С. 25–29. 300
37. Громовой Э.П. Математические методы и модели в планировании и управлении на морском транспорте: учебник для вузов мор. транспорта. Изд. 2-е, перераб. и доп. Москва: Транспорт, 1979. 360 с.
38. Грушина И.И. Выбор района промысла с целью оптимизации операции добычи // Труды Калининградского технического института рыбной промышленности и хозяйства. 1972. Вып. 29. С. 35–42.

39. Гуд Г.Х., Макол Р.Э. Системотехника: Введение в проектирование больших систем: пер. с англ. Москва: Советское радио, 1962. 367 с.
40. Дверник А.В. Технология и управление промышленным рыболовством: учеб. пособие. Москва: МОРКНИГА, 2013. 318 с.
41. Джефферс Дж. Введение в системный анализ: применение в экологии: пер. с англ. Москва: Мир, 1981. 256 с. 301
42. Добровольский В.К. Экономико-математическое моделирование. Киев: Наукова думка, 1975. 184 с.
43. Дьячков С.Н. Расстановка добывающих судов на промысле методами теории стратегических игр // Труды Калининградского технического института рыбной промышленности и хозяйства. 1972. Вып. 29. С. 43–48.
44. Жариков О.Н., Королевская В.И., Хохлов С.Н. Системный подход к управлению: учеб. пособие для вузов / под ред. В.А. Персианова. Москва: ЮНИТИ ДАНА, 2001. 62 с.
45. Журавлев Л. В. Обоснование режима работы добывающего судна на Дальневосточном бассейне: учеб. пособие. Владивосток: Дальрыбвтуз, 2001. 64 с.
46. Иванко Н.С. Командорский кальмар: промысловое распределение и промысел // В сборнике: Актуальные вопросы становления и развития рыбного хозяйства России. Материалы всероссийской научно-практической конференции, 05-06 июня 2025 года. С. 191-195
47. Иванко Н.С. Моделирование распределения сырца по видам обработки на добывающем судне с законченным производственным циклом // Научные труды Дальрыбвтуза. 2021. Т. 58. № 4. С. 16-24.
48. Иванко Н. С. Модель оптимизации распределения судов на промысле командорского кальмара // Научные труды Дальрыбвтуза. 2025. Т. 73, № 3. С. 85–92.

49. Иванко Н.С. Системный подход к оптимизации промысла командорского кальмара // Научные труды Дальрыбвтуза. 2025. Т. 72. № 2.
50. Иванко Н.С., Лисиенко С.В. Анализ добычи командорского кальмара за 2023 г // Научные труды Дальрыбвтуза. 2024. Т. 68. № 2. С. 93-102.
51. 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.
52. Иванко Н.С., Лисиенко С.В. Анализ промысловых потерь времени при ведении рыбодобывающей деятельности в многовидовой промысловой системе – промысловая зона рыбохозяйственного бассейна // Научные труды Дальрыбвтуза. 2020. Т. 52, № 2. С. 24–30.
53. Иванко Н.С., Лисиенко С.В. Командорский кальмар *Beryteuthis Magister*: анализ и проблемы промышленного освоения // Рыбное хозяйство. 2024. № 5 (5). С. 43-48.
54. Иванко Н.С., Лисиенко С.В. Командорский кальмар: распределение между пользователями с 2015 по 2022 гг. в зоне Восточно-Камчатская // В сборнике: Рациональная эксплуатация водных биологических ресурсов. Материалы Международной научно-технической конференции. Владивосток, 2023. С. 39-45.
55. Иванко Н.С., Лисиенко С.В. Командорский кальмар: распределение между пользователями с 2015 г. по 2022 г. в Северо-Курильской зоне // В сборнике: Актуальные проблемы освоения биологических ресурсов Мирового океана. Материалы VIII Международной научно-технической конференции. Владивосток, 2024. С. 115-121.
56. Иванко Н.С., Лисиенко С.В. О математическом инструментарии, используемом для решения практико-ориентированных задач организационно-управленческой направленности // Научные труды Дальрыбвтуза. 2023. Т. 65. № 3. С. 40-45.

57. Иванко Н.С., Лисиенко С.В. Особенности математического моделирования сложной индустриальной системы "промысловая зона" в контексте совершенствования организации и управления добычей водных биологических ресурсов // Научные труды Дальрыбвтуза. 2019. Т. 50. № 4. С. 31-36.

58. 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.

59. Иванко Н.С., Лисиенко С.В., Веренич Т.Н. Оценка перспектив создания системной платформы в области организации рыболовства // В сборнике: Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промысловое и техническое использование. Материалы XV Национальной (всероссийской) научно-практической конференции. – Петропавловск-Камчатский, 2024. С. 196-199.

60. Катугин О.Н., Кулик В.В. Анализ динамики запаса командорского кальмара (*Beryteuthis magister*) у Курильских островов с использованием детерминированного и стохастического подходов // Материалы Всероссийской конференции, посвящённой 80-летию юбилею ФГУП «КамчатНИРО» (Петропавловск-Камчатский, 26-27 сентября 2012 г.). Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО. С. 176-183.

61. Катугин О.Н., Кулик В.В. Прогнозирование вылова командорского кальмара (*Beryteuthis magister*) у центральных и северных Курильских островов // Промысловые беспозвоночные: материалы VIII Всерос. науч. конф. (Калининград, 2-5 сентября 2015). Калининград: КГТУ, 2015. С. 183-185.

62. Катугин О.Н., Кулик В.В., Михайлов А.И. Проверка статистической достоверности влияния климатических факторов на производительность промысла командорского кальмара (*Beryteuthis magister*) в районе Курильских островов // Труды ВНИРО. 2014. Т. 151. С. 81-86.

63. Кудакеев В.В., Бойцов А.Н. Применение гибких распорных устройств для тралового промысла командорского кальмара на сложных грунтах в районе курильских островов // Научные труды Дальрыбвтуза. 2012. Т. 26. С. 35-43.
64. Ларичев О.И. Наука и искусство принятия решений. Москва: Наука, 1979. 199 с. 304
65. Лисиенко С.В. Индустриальная логистическая система «промысловая зона» как объект системного исследования // Рыбное хозяйство. 2013. № 6. С. 14–17.
66. Лисиенко С.В. Концептуальный подход к построению эффективной системы организации промысла морских биоресурсов // Научные труды Дальрыбвтуза. 2008. № 20. С. 321–326.
67. Лисиенко С.В. Концептуальный подход к совершенствованию организации ведения добычи водных биологических ресурсов в контексте развития общей теории промышленного рыболовства (на примере Дальневосточного региона) // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия «Рыбное хозяйство». 2014. № 1. С. 18–28.
68. Лисиенко С.В. Моделирование системы «промысел» на основе биотехнологического дуализма // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия «Рыбное хозяйство». 2021. № 3. С. 94–101.
69. Лисиенко С.В. О многовидовом рыболовстве в контексте совершенствования системной организации промысла ВБР // Рыбное хозяйство. 2013. № 4. С. 34–41. 305
70. Лисиенко С.В. Организация и планирование промышленного рыболовства: учеб. пособие. Москва: МОРКНИГА, 2012. 230 с.
71. Лисиенко С.В. Проектирование многовидовой промысловой системы – промысловая зона // Рыбное хозяйство. № 4. 2021. С. 33–37.
72. Лисиенко С.В. Промышленное рыболовство: новый подход к системной организации и планированию: монография [Электронный ресурс]

/ С.В. Лисиенко. – Электрон. дан. (15 Mb). – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2023. 270 с.

73. Лисиенко С.В. Совершенствование системной организации ведения добычи водных биологических ресурсов (на примере дальневосточного рыбохозяйственного бассейна): диссертация ... доктора технических наук: 05.18.17/ Лисиенко Светлана Владимировна; [Место защиты: ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»] – Владивосток, 2022. – 394 с.: ил

74. Лисиенко С.В. Системный подход к исследованию индустриальной логистической системы «промысловая зона» – научная основа совершенствования организации ведения добычи водных биологических ресурсов // Рыбное хозяйство. 2016. № 5. С. 40–43.

75. Лисиенко С.В. Совершенствование организации ведения добычи водных биологических ресурсов с целью успешной реализации стратегического развития отечественного рыболовства // Рыбное хозяйство. 2013. № 3. С. 17–21.

76. 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.

77. Лисиенко С.В., Иванко Н.С. Анализ освоения ресурсного потенциала Северо-Курильской зоны в период 2013–2018 гг. // Комплексные исследования в рыбохозяйственной отрасли: материалы VI Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Владивосток, 2021. С. 99–105.

78. Лисиенко С.В., Иванко Н.С. Анализ освоения сырьевой базы Северо Курильской зоны Дальневосточного рыбохозяйственного бассейна в

2010-2019 гг. // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия «Рыбное хозяйство». 2021. № 2. С. 7–19.

79. Лисиенко С.В., Иванко Н.С. Анализ промысловой деятельности до бывающих судов за 2014–2018 гг. в Северо-Курильской зоне // Водные биоресурсы: рациональное освоение и искусственное воспроизводство: материалы Международной научно-практической конференции. Владивосток, 2021. С. 29–35.

80. 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.

81. Лисиенко С.В., Иванко Н.С. Моделирование процесса планирования количества и типового состава добывающего флота в статическом состоянии промысловой системы // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2021616757. 26.04.2021. Заявка № 2021615566 от 14.04.2021.

82. Лисиенко С.В., Иванко Н.С. Модуль оптимизации структуры добывающего флота владельцев квот // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2024684144, 15.10.2024. Заявка № 2024683069 от 03.10.2024.

83. Лисиенко С.В., Иванко Н.С. Модуль оптимизации годового режима работы судна // Свидетельство о регистрации базы данных RU 2025617764, 28.03.2025. Заявка № 2025615769 от 14.03.2025.

84. Лисиенко С.В., Иванко Н.С. Модуль оптимизации процесса управления годовой эксплуатацией судов // Свидетельство о регистрации базы данных RU 2025617765, 28.03.2025. Заявка № 2025615770 от 14.03.2025.

85. Лисиенко С.В., Иванко Н.С. Модуль расчета и оптимизации промыслово-технологического режима добывающего судна // Свидетельство

о регистрации программы для ЭВМ № 2021669034 от 23.11.2021 г. Заявка № 2021667696 от 08.11.2021.

86. Лисиенко С.В., Иванко Н.С. Модуль расчета оптимальной формы организации промысла // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2021669033 от 23.11.2021 г. Заявка № 2021667697 от 08.11.2021.

87. Лисиенко С.В., Иванко Н.С. Модуль расчета рейсооборота добывающего судна // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2021669032. 23.11.2021. Заявка № 2021667699 от 08.11.2021.

88. Лисиенко С.В., Иванко Н.С. Об особенностях моделирования процессов и систем промышленного рыболовства в контексте реализации концепции рационального природопользования // Актуальные проблемы биоразнообразия и природопользования: материалы II Национальной научно-практической конференции, посвященной 20-летию кафедры экологии моря ФГБОУ ВО «КГМТУ». Керчь, 2019. С. 342–345.

89. Лисиенко С.В., Иванко Н.С. Оптимизация рыбодобывающей деятельности в многовидовых промысловых системах – промысловых зонах в статическом их состоянии с учетом биотехнологического дуализма (на примере Северо-Курильской зоны Дальневосточного рыбохозяйственного бассейна) // Морские интеллектуальные технологии. 2020. № 4–1(50). С. 230–238.

90. 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.

91. Лисиенко С.В., Иванко Н.С. Особенности математического моделирования сложной индустриальной системы «Промысловая зона» в контексте совершенствования организации и управления добычей водных биологических ресурсов // Научные труды Дальрыбвтуза. 2019. Т. 50, № 4. С. 31–36.

92. Лисиенко С.В., Иванко Н.С. Планирование рейсооборота добывающих судов // Морские интеллектуальные технологии. 2021. Т. 1. № 2(53). С. 200–208.

93. Лисиенко С.В., Иванко Н.С. Реализация модели многовидовой промысловой системы // Морские интеллектуальные технологии. 2023. № 4-1. С. 305-311.

94. Лисиенко С.В., Иванко Н.С. Решение задачи оптимизации рыбодобывающей деятельности // Вестник МГТУ. Труды Мурманского государственного технического университета. 2023. Т. 26. № 3. С. 335-343.

95. Лисиенко С.В., Иванко Н.С. Учет и оптимизация издержек времени в рыбодобывающем процессе // Морские интеллектуальные технологии. 2022. № 4-1 (58). С. 295-300.

96. Лисиенко С.В., Иванко Н.С. Формирование и оптимизация издержек производственной рыбодобывающей деятельности судов // Морские интеллектуальные технологии. 2021. Т. 1, № 4(54). С. 227–231.

97. Лисиенко С.В., Иванко Н.С., Вальков В.Е., Бойцов А.Н. Моделирование процессов и систем по организации, планированию и управлению промысловым флотом // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2019666312. 06.12.2019. Заявка № 2019664954 от 20.11.2019.

98. Лисиенко С.В., Иванко Н.С., Грибова К.А. Использование программного комплекса для обработки данных промысловой статистики рыбодобывающей деятельности в Дальневосточном рыбохозяйственном бассейне // В сборнике: Инновационное развитие рыбной отрасли в контексте обеспечения продовольственной безопасности Российской Федерации. Материалы VI Национальной научно-технической конференции. Владивосток, 2023. С. 69-73.

99. Лисиенко С.В., Иванко Н.С., Грибова К.А. Промысловая статистика рыбодобывающей деятельности в Дальневосточном рыбохозяйственном бассейне – Commercial statistics of fishing activity in the

far eastern fishery basin // Свидетельство о регистрации базы данных RU 2022623127, 28.11.2022. Заявка № 2022623066 от 17.11.2022.

100. Лисиенко С.В., Иванко Н.С., Машкова А.С. Анализ промысловой деятельности добывающего флота в Северо-Курильской зоне на недоосвоенных объектах в 2018 г. // Инновационное развитие рыбной отрасли в контексте обеспечения продовольственной безопасности Российской Федерации: материалы IV Национальной научно-технической конференции. Владивосток, 2021. С. 79–85.

101. Лисиенко С.В., Иванко Н.С., Машкова А.С. Анализ работы добывающего флота в Западно-Беринговоморской зоне в период 2015-2019 гг // В сборнике: Актуальные проблемы освоения биологических ресурсов Мирового океана. Материалы VII Международной научно-технической конференции. Владивосток, 2022. С. 148-152.

102. Лисиенко С.В., Иванко Н.С., Машкова А.С. Исследование состояния освоения кальмара командорского в двух промысловых зонах // Научно-практические вопросы регулирования рыболовства: материалы Международной научно-технической конференции. Владивосток, 2021. С. 30–35.

103. Лисиенко, С. В., Осипов, Е. В., Бойцов, А. Н., Баринов, В. В., Иванко, Н. С. Промысел дальневосточных кальмаров. – Калининград. Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ». 2024. – 90 с.

104. Лисиенко С.В., Осипов Е.В., Осипов В.А., Бойцов А.Н., Габрюк В.И. Повышение эффективности организации тралового промысла судами БМРТ типа «Сотрудничество» // Инновационное развитие рыбной отрасли в контексте обеспечения продовольственной безопасности Российской Федерации: материалы I Национальной заочной научно-технической конференции. Владивосток, 2017. С. 56–60.

105. Лищенко Ф.В. 2015. Состав скоплений и динамика биологического состояния командорского кальмара (*Beryteuthis magister*) в

районе Северных Курильских островов в весенне-летний период 2014 года // Труды ВНИРО. Т. 154. Москва: ВНИРО. С. 31–37.

106. Лищенко Ф. В., Лищенко А. В. Состав промысловых скоплений командорского кальмара *Beryteuthis magister* (Berry, 1913) в районе Северных Курильских островов и Юго-Восточной Камчатки в летне-осенний период 2015 года // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. 2016. №40. С. 57-60.

107. Машкова А.С., Иванко Н.С., Лисиенко С.В. Распределение квот на командорский кальмар между пользователями в Южно-Курильской зоне // В сборнике: Комплексные исследования в рыбохозяйственной отрасли. Материалы IX Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Владивосток, 2024. С. 75-80.

108. Мельников А.В. Введение в экологическую кибернетику // Вестник Астраханского государственного технического университета. 1998. № 1. С. 7. 39–15.

109. Мельников А.В. Некоторые вопросы контроля и регулирования рыболовства // Сб. науч. тр. ВНИРО. 1988. С. 157-169.

110. Мельников А.В. Некоторые проблемы регулирования рыболовства // Сб. науч. тр. ВНИРО. 1993. С. 11–24. 314

111. Мельников А.В. Оптимизация регулирования рыболовства как кибернетическая проблема. Астрахань: Астрыбвтуз. Рук. деп. в ЦНИИТЭИРХе. 1988. рх-936. 42 с.

112. Мельников А.В., Мельников В.Н., Овчинников С.А. Экономические показатели промышленного рыболовства // Вестник Астраханского государственного технического университета. 2008. № 3(44). С. 86–89.

113. Мельников В.Н. Об общей теории промышленного рыболовства // Сб. науч. тр. ВНИРО. 1993. С. 4–11.

114. Мельников В.Н, Мельников А.В. Рыбохозяйственная кибернетика. Астрахань: Изд-во АГТУ, 1998. 310 с.

115. Мельников В.Н. Биотехнические основы промышленного рыболовства: учебник для вузов. Москва: Легкая и пищевая промышленность, 1983. 216 с.
116. Мельников В.Н. Биофизические основы промышленного рыболовства. Москва: Пищевая промышленность, 1973. 392 с.
117. Мельников В.Н. О биотехническом (кибернетическом) направлении промышленного рыболовства // Рыбное хозяйство. 1976. № 9. С. 50–53.
118. Мельников В.Н. Основы управления объектом лова. Москва: Пищевая промышленность, 1975. 358 с.
119. Мельников В.Н. Особенности моделирования в экологической кибернетике // Вестник Астраханского государственного технического университета. 1998. С. 32–38.
120. Мельников А.В., Мельников В.Н. Общая классификация и характеристика экологических систем управления // Вестник АГТУ. Серия «Рыбное хозяйство». 2009. № 1. С. 10–16.
121. Мельников В.Н., Лукашов В.Н. Техника промышленного рыболовства. Москва: Легкая и пищевая промышленность, 1981. 310 с.
122. Мельников В.Н., Мельников А.В. Общая характеристика основных видов математических моделей теории рыболовства // Вестник АГТУ. Серия «Рыбное хозяйство». 2009. № 1. С. 17–22.
123. Мельников В.Н., Мельников А.В. Системные исследования в теории промышленного рыболовства, аквакультуры и экологии // Вестник АГТУ. Серия «Рыбное хозяйство». 2010. № 1. С. 32–41.
124. Мельников В.Н., Мельников А.В. Совершенствование общей теории промышленного рыболовства // Вестник АГТУ. Серия «Рыбное хозяйство». 2010. № 1. С. 42–53.
125. Мельников В.Н., Мельников А.В. Экологическая кибернетика. Основы управления экологическими процессами и системами: монография: в 2 ч. Астрахань: Изд-во АГТУ, 2010.

126. Мельников К. А., Мельников А. В., Гребенщиков Ю. Б. Экономическая эффективность промыслового усилия // Вестник АГТУ. Серия: Рыбное хозяйство. 2014. №2. С. 50-54.
127. Месарович М. Основание общей теории систем // Общая теория систем: сб. докладов. Москва: Мир, 1966. С. 15.
128. Месарович М., Такахара Я. Общая теория систем: математические основы: пер с англ. Москва: Мир, 1978. 311 с.
129. Мизюркин М.А., Мизюркина А.В., Татарников В.А., Пак А. Разновидовой промысел. Владивосток: ТИНРО-Центр, 2004. 139 с.
130. Мойсеенко С.С. Методы оптимального управления процессом про мысла: учеб. пособие для специалистов рыбопромыслового флота. Калининград: ВИПК, 1988. 73 с.
131. Мойсеенко С.С. Проектирование транспортно-логистических систем: учеб. пособие. Калининград: Изд-во БГАРФ, 2009. 184 с.
132. Мойсеенко С.С., Мейлер Л.Е. Рыбопромышленная логистика: моно графия. Калининград: Изд-во БГРАФ, 2015. 174 с.
133. Мойсеенко С.С., Мороз Е.О. Оптимизация системы транспортного обслуживания рыболовных судов // Морские интеллектуальные технологии. 2018. Т. 3, № 4(42). С. 168–176.
134. Мониторинг рыболовства 2005. Инструкции и рекомендации экипажам промысловых судов и судовладельцам / Под общ. ред. д.т.н. И.Г. Проценко. – Петропавловск-Камчатский: ФГУП «Камчатский центр связи и мониторинга». – 2005. – 264 с.
135. Мухин В.И. Исследование систем управления: учебник. Москва: Экзамен, 2003. 384 с.
136. Николаев В.И., Брук В.М. Системотехника: методы и приложения. Ленинград: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1985. 199 с.
137. Норинов Е.Г. Основы системного проектирования: учеб. пособие. Владивосток: Дальрыбвтуз. 2002. 134 с.

138. Норинов Е.Г. Проектирование систем – введение: курс лекций. Владивосток: Дальрыбвтуз, 1997.

139. Норинов Е.Г. Системоаналитический подход к решению проблемы развития прибрежного рыбохозяйственного комплекса Приморского края // Научные труды Дальрыбвтуза. 1996. Вып. 7.

140. О распределении объема части общего допустимого улова водных биологических ресурсов, утвержденного применительно к квоте добычи (вылова) водных биологических ресурсов, предоставленной на инвестиционные цели в области рыболовства для осуществления промышленного и (или) прибрежного рыболовства по пользователям в Дальневосточном рыбохозяйственном бассейне.(с изменениями). Приказы Минсельхоза России [Электронный ресурс]. Режим доступа свободный. URL: <http://fish.gov.ru/>(дата обращения: 20.05.2025).

141. Об утверждении общего допустимого улова водных биологических ресурсов во внутренних морских водах Российской Федерации, территориальном море Российской Федерации, на континентальном шельфе Российской Федерации и в исключительной экономической зоне Российской Федерации, в Азовском и Каспийском морях на 2015 год: Приказ Минсельхоза России от 21 октября 2014 г. № 399 (документ с изменениями, внесенными приказами 319 Минсельхозом России от 26 декабря 2014 № 532; от 24 февраля 2015 № 76; от 27 августа 2015 № 388) [Электронный ресурс]. Режим доступа свободный. URL: <http://fish.gov.ru/> (дата обращения: 20.05.2025).

142. Об утверждении общего допустимого улова водных биологических ресурсов во внутренних морских водах Российской Федерации, территориальном море Российской Федерации, на континентальном шельфе Российской Федерации и в исключительной экономической зоне Российской Федерации, в Азовском и Каспийском морях на 2016 год: Приказ Минсельхоза России от 07 октября 2015 г. № 465 (документ с изменениями, внесенными приказами Минсельхоза России от 29

августа 2016 года № 387; от 16 сентября 2016 года № 411) [Электронный ресурс]. Режим доступа свободный. URL: <http://fish.gov.ru/> (дата обращения: 20.05.2025).

143. Об утверждении общего допустимого улова водных биологических ресурсов во внутренних морских водах Российской Федерации, территориальном море Российской Федерации, на континентальном шельфе Российской Федерации и в исключительной экономической зоне Российской Федерации, в Азовском и Каспийском морях на 2017 год: Приказ Минсельхоза России от 10 октября 2016 г. № 445 (документ с изменениями, внесенными приказами Минсельхоза России от 20 марта 2017 года № 134; от 17 июля 2017 года № 349; от 10 августа 2017 года № 392; от 12 октября 2017 года № 506) [Электронный ресурс]. Режим доступа свободный. URL: <http://fish.gov.ru/> (дата обращения: 20.05.2025).

144. Об утверждении общего допустимого улова водных биологических ресурсов во внутренних морских водах Российской Федерации, территориальном море Российской Федерации, на континентальном шельфе Российской Федерации и в исключительной экономической зоне Российской Федерации, в Азовском и Каспийском морях на 2018 год: Приказ Минсельхоза России от 27 октября 2017 г. № 533 (документ с изменениями, внесенными приказами Минсельхоза России от 21 декабря 2017 года № 643; от 27 июня 2018 года № 320 253; от 18 октября 2018 года № 468; от 11 декабря 2018 года № 567) [Электронный ресурс]. Режим доступа свободный. URL: <http://fish.gov.ru/> (дата обращения: 20.05.2025).

145. Об утверждении общего допустимого улова водных биологических ресурсов во внутренних морских водах Российской Федерации, территориальном море Российской Федерации, на континентальном шельфе Российской Федерации, в исключительной экономической зоне Российской Федерации и Каспийском море на 2019 год: Приказ Минсельхоза России от 09 ноября 2018 г. № 516 (документ с

изменениями, внесенными приказами Минсельхоза Рос сии от 7 мая 2019 года № 246; от 6 сентября 2019 года № 529; от 17 сентября 2019 года № 548) [Электронный ресурс]. Режим доступа свободный. URL: <http://fish.gov.ru/> (дата обращения: 20.05.2025).

146. Об утверждении общего допустимого улова водных биологических ресурсов во внутренних морских водах Российской Федерации, в территориальном море Российской Федерации, на континентальном шельфе Российской Федерации, в исключительной экономической зоне Российской Федерации и Каспийском море на 2020 год: Приказ Минсельхоза России от 29 октября 2019 г. № 610 (документ с изменениями, внесенными приказами Минсельхоза Рос сии от 19 ноября 2019 № 636; от 28 ноября 2019 № 657; от 14 января 2020 № 7; от 14 февраля 2020 № 65; приказом Минсельхоза России от 23 марта 2020 № 145; от 26 июня 2020 № 348; от 28 августа 2020 № 512) [Электронный ресурс]. Режим доступа свободный. URL: <http://fish.gov.ru/> (дата обращения: 20.05.2025).

147. Об утверждении общего допустимого улова водных биологических ресурсов во внутренних морских водах Российской Федерации, в территориальном море Российской Федерации, на континентальном шельфе Российской Федерации, в исключительной экономической зоне Российской Федерации и Каспийском море на 2021 год: Приказ Минсельхоза России от 09 октября 2020 г. № 601 (документ с изменениями, внесенными приказами Минсельхоза Рос сии от 05.04.2021 N 186; от 25.08.2021 N 591; от 20.10.2021 N 712; от 10.11.2021 N 748; от 02.12.2021 N 821) [Электронный ресурс]. Режим доступа свободный. URL: <http://fish.gov.ru/> (дата обращения: 20.05.2025).

148. Об утверждении общего допустимого улова водных биологических ресурсов во внутренних морских водах Российской Федерации, в территориальном море Российской Федерации, на континентальном шельфе Российской Федерации, в исключительной экономической зоне Российской Федерации и Каспийском море на 2022 год:

Приказ Минсельхоза России от 19 октября 2021 г. № 711 (с изменениями на 14 сентября 2022 года) [Электронный ресурс]. Режим доступа свободный. URL: <http://fish.gov.ru/> (дата обращения: 20.05.2025).

149. Об утверждении общего допустимого улова водных биологических ресурсов во внутренних морских водах Российской Федерации, в территориальном море Российской Федерации, на континентальном шельфе Российской Федерации, в исключительной экономической зоне Российской Федерации и Каспийском море на 2023 год: Приказ Минсельхоза России от 30 сентября 2022 г. № 648(документ с изменениями, внесенными приказами Минсельхоза России от 05.06.2023 N 551; от 14.08.2023 N 683) [Электронный ресурс]. Режим доступа свободный. URL: <http://fish.gov.ru/> (дата обращения: 20.05.2025).

150. Овчинников С.А. Оценка влияния параметров производительности на промыслово-экономическую эффективность тралового лова // Вестник АГТУ. Серия «Рыбное хозяйство». 2009. № 1. С. 36–30.

151. Оптнер С.Л. Системный анализ для решения деловых и промышленных проблем: пер с англ. С.П. Никанорова. Москва: Советское радио, 1969. 69 с.

152. Освоение рекомендованных объемов добычи (вылова) ВБР (неодуемые) 2015-2023 годы [Электронный ресурс]. Режим доступа свободный. URL <https://kamchatka.fish.gov.ru/activities/organizatsiya-rybolovstva/commercial-fishing/osvoenie-rekomendovannykh-obemov/> (дата обращения: 02.06.2025 г.).

153. Осипов Е.В. Промысел командорского кальмара *Beryteuthis magister* (Berry, 1913) в российской зоне Японского моря // Рыбное хозяйство. 2022. № 2. С. 42-45.

154. Пазынич Г.И., Пазынич С.Г. Развитие отечественных методов решения задач управления промыслом при неопределенных условиях работы // Современные тенденции практической подготовки в морском образовании:

материалы I национальной научно-практической конференции. Керчь. 2020. С. 153–166.

155. Покровский Б.И., Киданов В.В. Методы повышения эффективности управления флотом на промысле. Москва: Легкая и пищевая промышленность, 1981. 144 с.

156. Пономарев Ю. Проблемы прогнозирования добычи рыбы и расстановки флота // Экономические и научно-технические проблемы развития рыбной промышленности Дальневосточного бассейна. Владивосток: ТИНРО, 1984. С. 40–44.

157. Портал ОСМ [Электронный ресурс] URL: <https://cfmc.ru/electronic-services/portal-osm/> (дата обращения 21.02.2024)

158. Проценко И.Г. Информационная система мониторинга рыболовства // Рыбное хозяйство. – 2001. – Спец. выпуск. – С. 3–18.

159. Райзберг Б.А., Голубков Е.П., Пекарский Л.С. Системный подход в перспективном планировании. Москва: Экономика. 1975. 271 с.

160. Розенберг Г. С. Экология и кибернетика: по следам Маргалефа // Биосфера. 2011. №4. с. 445-454.

161. Садовский В.Н. Основания общей теории систем. Логико-методологический анализ. Москва: Наука, 1974. 279 с.

162. Сберегаев Н.А. Организация, планирование и управление промышленным рыболовством: учеб. пособие. Калининград: КТИРПХ, 1988. 126 с.

163. Сведения об улове рыбы, добыче других водных биоресурсов и производстве рыбной продукции за 2015 г. [Электронный ресурс]. Режим доступа свободный. URL: <http://fish.gov.ru/> (дата обращения: 15.06.2025).

164. Сведения об улове рыбы, добыче других водных биоресурсов и производстве рыбной продукции за 2016 г. [Электронный ресурс]. Режим доступа свободный. URL: <http://fish.gov.ru/> (дата обращения: 15.06.2025).

165. Сведения об улове рыбы, добыче других водных биоресурсов и производстве рыбной продукции за 2017 г. [Электронный ресурс]. Режим доступа свободный. URL: <http://fish.gov.ru/> (дата обращения: 15.06.2025).

166. Сведения об улове рыбы, добыче других водных биоресурсов и производстве рыбной продукции за 2018 г. [Электронный ресурс]. Режим доступа свободный. URL: <http://fish.gov.ru/> (дата обращения: 15.06.2025).

167. Сведения об улове рыбы, добыче других водных биоресурсов и производстве рыбной продукции за 2019 г. [Электронный ресурс]. Режим доступа свободный. URL: <http://fish.gov.ru/> (дата обращения: 15.06.2025).

168. Сведения об улове рыбы, добыче других водных биоресурсов и производстве рыбной продукции за 2020 г. [Электронный ресурс]. Режим доступа свободный. URL:<http://fish.gov.ru/> (дата обращения: 15.06.2025).

169. Сведения об улове рыбы, добыче других водных биоресурсов и производстве рыбной продукции за 2021 г. [Электронный ресурс]. Режим доступа свободный. URL:<http://fish.gov.ru/> (дата обращения: 15.06.2025).

170. Сведения об улове рыбы, добыче других водных биоресурсов и производстве рыбной продукции за 2022 г. [Электронный ресурс]. Режим доступа свободный. URL:<http://fish.gov.ru/> (дата обращения: 15.06.2025).

171. Сведения об улове рыбы, добыче других водных биоресурсов и производстве рыбной продукции за 2023 г. [Электронный ресурс]. Режим доступа свободный. URL:<http://fish.gov.ru/> (дата обращения: 15.06.2025).

172. Сведения об улове рыбы, добыче других водных биоресурсов и производстве рыбной продукции за 2024 г. [Электронный ресурс]. Режим доступа свободный. URL:<http://fish.gov.ru/> (дата обращения: 15.06.2025).

173. Системный анализ в экономике и организации производства: учебник для студентов вузов (с грифом Госкомитета РФ по образованию) / под ред. С.А. Валуева, В.Н. Волковой. Ленинград: Политехника, 1991. 398 с.

174. Спицнадель В.Н. Основы системного анализа: учеб. пособие. Санкт-Петербург: Издательский дом «Бизнес-пресса», 2000. 326 с.

175. Статистические данные Федерального агентства по рыболовству и Центра мониторинга и связи [Электронный ресурс]. 2015. Режим доступа свободный. URL:<http://fish.gov.ru/> (дата обращения: 16.05.2025).

176. Статистические данные Федерального агентства по рыболовству и Центра мониторинга и связи [Электронный ресурс]. 2016. Режим доступа свободный. URL:<http://fish.gov.ru/> (дата обращения: 16.05.2025).

177. Статистические данные Федерального агентства по рыболовству и Центра мониторинга и связи [Электронный ресурс]. 2017. Режим доступа свободный. URL:<http://fish.gov.ru/> (дата обращения: 16.05.2025).

178. Статистические данные Федерального агентства по рыболовству и Центра мониторинга и связи [Электронный ресурс]. 2018. Режим доступа свободный. URL:<http://fish.gov.ru/> (дата обращения: 16.05.2025).

179. Статистические данные Федерального агентства по рыболовству и Центра мониторинга и связи [Электронный ресурс]. 2019. Режим доступа свободный. URL:<http://fish.gov.ru/> (дата обращения: 16.05.2025).

180. Статистические данные Федерального агентства по рыболовству и Центра мониторинга и связи [Электронный ресурс]. 2020. Режим доступа свободный. URL:<http://fish.gov.ru/> (дата обращения: 16.05.2025).

181. Статистические данные Федерального агентства по рыболовству и Центра мониторинга и связи [Электронный ресурс]. 2021. Режим доступа свободный. URL:<http://fish.gov.ru/> (дата обращения: 16.05.2025).

182. Статистические данные Федерального агентства по рыболовству и Центра мониторинга и связи [Электронный ресурс]. 2022. Режим доступа свободный. URL:<http://fish.gov.ru/> (дата обращения: 16.05.2025).

183. Статистические данные Федерального агентства по рыболовству и Центра мониторинга и связи [Электронный ресурс]. 2023. Режим доступа свободный. URL:<http://fish.gov.ru/> (дата обращения: 16.05.2025).

184. Статистические данные Федерального агентства по рыболовству и Центра мониторинга и связи [Электронный ресурс]. 2024. Режим доступа свободный. URL:<http://fish.gov.ru/> (дата обращения: 16.05.2025).

185. Токарев В.В. Методы оптимальных решений: учеб. пособие: в 2 т. 3-е изд. Т. 2: Многокритериальность. Динамика. Неопределенность. Москва: Физматлит, 2012. 420 с.
186. Тюхтин В.С. Актуальные вопросы разработки общей теории систем // Система. Симметрия. Гармония. Москва: Мысль, 1988. С. 10–38.
187. Уемов А.И. Системный подход и общая теория систем. Москва: Мысль. 1978. 272 с.
188. Уилсон А., Уилсон М. Управление и творчество при проектировании систем / пер. с англ. Москва: Советское радио, 1976. 256 с.
189. Урманцев Ю.А. Общая теория систем: состояние, приложение и перспективы развития // Система. Симметрия. Гармония. Москва: Мысль, 1988. С. 38–124.
190. Федорец, Ю. А. Командорский кальмар *Beryteuthis Magister* (Berry, 1913) Берингова и Охотского морей: Распределение, биология, промысел: диссертация ... кандидата биологических наук: 03.00.18. - Владивосток, 2006. – 283
191. Фомин С. Ю. Оптимальное управление рыбодобывающим флотом на основе применения модели линейного программирования // Региональная экономика: теория и практика. 2008. №36. С. 77-87.
192. Цифровизация рыболовства идет вперед [Электронный ресурс] URL: <https://fishretail.ru/news/tsifrovizatsiya-ribolovstva-idet-vpered-457903> (дата обращения 21.02.2024)
193. Черчмен У., Акофф Р., Арнофф Л. Введение в исследование операции: пер. с англ. Москва: Наука, 1968. 486 с.
194. Эшби У.Р. Введение в кибернетику. Москва: Иностранная литература, 1959. 432 с.
195. Юдин Э.Г. Системный подход и принцип деятельности. Москва: Наука, 1978. 392 с.
196. Arkhipkin A. I., Rodhouse P. G. K., Pierce G. J. et al. 2015. World Squid Fisheries // *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 23:2. P. 92-252.

197. Babcock, Elizabeth & Pikitch, Ellen. (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. 357-370. 10.1139/cjfas-57-2-357.
198. Barnes R.S.K. and Hughes R.N. *An Introduction to Marine Ecology*, Third Edition. Blackwell Science Ltd, 1999. 286 p.
199. Fakıoğlu, Y.E. (2025). Fuel efficiency of trawlers per kilogram of landed catch: Insights for decarbonizing fisheries in Türkiye. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 42(1), 56-63. <https://doi.org/10.12714/egejfas.42.1.08>
200. Forootani, R. Iervolino, M. Tipaldi and J. Neilson, "Approximate dynamic programming for stochastic resource allocation problems," in *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, vol. 7, no. 4, pp. 975-990, July 2020, doi: 10.1109/JAS.2020.1003231.
201. Katugin O.N., Shevtsov G.A., Zuev M.A., Didenko V.D., Kulik V.V., Vanin N.S. 2013. *Berryteuthis magister*, Schoolmaster Gonate Squid. *Advances in Squid Biology, Ecology and Fisheries // Part II: Oegopsid Squids*. New-York, Nova Science Publishers. P. 1–48.
202. Perez-Lechuga, G. & Álvarez-Suárez, M. & Gonzalez, Jaime & Niccolas Morales, Heriberto & Venegas-Martínez, Francisco. (2006). Stochastic linear programming to optimize some stochastic systems. *WSEAS Transactions on Systems*. 5. 315-320.
203. Zambrano A, Laguna MF, Kuperman MN, Laterra P, Monjeau JA, Nahuelhual L. 2023. A tragedy of the commons case study: modeling the fishers king crab system in Southern Chile. *PeerJ* 11:e14906 <https://doi.org/10.7717/peerj.14906>
204. Mathematical approaches to fisheries quota management: ensuring sustainable practices in U.S. commercial fishing Josephine Biya Aladetan 1, Francis Agbo Idoko 2, * and Otugene Victor Bamigwojo 3 1 Bachelor Information System and Management, Stanton University, Anaheim, USA. 2 Department of

Fisheries Technology, Bauchi State College of Agriculture, Bauchi, Nigeria. 3
School of Preliminary and remedial Studies, Federal University Lokoja, Nigeria.
World Journal of Advanced Research and Reviews, 2024, 24(01), 1019–1053
<https://doi.org/10.30574/wjarr.2024.24.1.3119>

205. Gebremedhin, S.; Bruneel, S.; Getahun, A.; Anteneh, W.; Goethals, P.
Scientific Methods to Understand Fish Population Dynamics and Support
Sustainable Fisheries Management. *Water* 2021, 13, 574.
<https://doi.org/10.3390/w13040574>

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2025617764

Модуль оптимизации годового режима работы судна

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет» (RU)*

Авторы: *Лисиенко Светлана Владимировна (RU), Иванко Нина Сергеевна (RU)*

Заявка № 2025615769

Дата поступления 14 марта 2025 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 28 марта 2025 г.

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*


Ю.С. Зубов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**СВИДЕТЕЛЬСТВО**

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2025617765**Модуль оптимизации процесса управления годовой
эксплуатацией добывающих судов**

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Дальневосточный государственный технический
рыбохозяйственный университет» (RU)*

Авторы: *Лисиенко Светлана Владимировна (RU), Иванко
Нина Сергеевна (RU)*

Заявка № **2025615770**Дата поступления **14 марта 2025 г.**

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ **28 марта 2025 г.**

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

Ю.С. Зубов

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Таблица П.Б.1 – Качественный состав командорского кальмара* за период 2015-2024 гг

зона/подзона	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Западно-Беринговоморская	неОДУ									
Восточно-Камчатская / Карагинская	неОДУ									
Восточно-Камчатская / Петропавловско-Камчатская	ОДУ									
Северо-Курильская	ОДУ									
Южно-Курильская	ОДУ									
Японского моря					неОДУ	неОДУ	неОДУ	неОДУ	неОДУ	неОДУ

* Пустая клетка означает, что добыча в данной зоне/подзоне не велась

Таблица П.Б.2 – Объемы добычи командорского кальмара за период 2015-2024 гг, тыс. тонн

Зона, подзона	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Зона Западно-Беринговоморская (неОДУ)	5,14	2,50	1,72	1,67	0,29	0,97	0,92	3,02	0,29	9,65
Зона Восточно-Камчатская, Карагинская подзона (неОДУ)	0,85	5,58	6,12	9,30	0,69	5,30	0,47	2,41	0,14	1,86
Зона Восточно-Камчатская, Петропавловско-Командорская подзона (ОДУ)	9,07	10,76	9,92	0,74	0,33	5,18	10,78	2,772	1,72	0,37
Северо-Курильская зона (ОДУ)	27,08	59,50	56,41	78,02	75,01	89,45	54,53	53,253	80,40	84,44
Южно-Курильская зона (ОДУ)	0,64	2,85	4,60	8,04	6,71	7,07	8,23	4,516	9,86	9,97
Зона Японского моря (неОДУ)	0	0	0	0	0,13	0,04	0,32	0,21	0,76	0,62
Всего по ДВРБ			78,78	97,77	83,15	108,01	75,25	67,07	92,83	106,91
в т.ч. по квотам ОДУ			70,94	86,80	82,04	101,69	73,54	61,44	91,64	94,78

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Динамика добычи и освоение ОДУ командорского кальмара в ДВБР

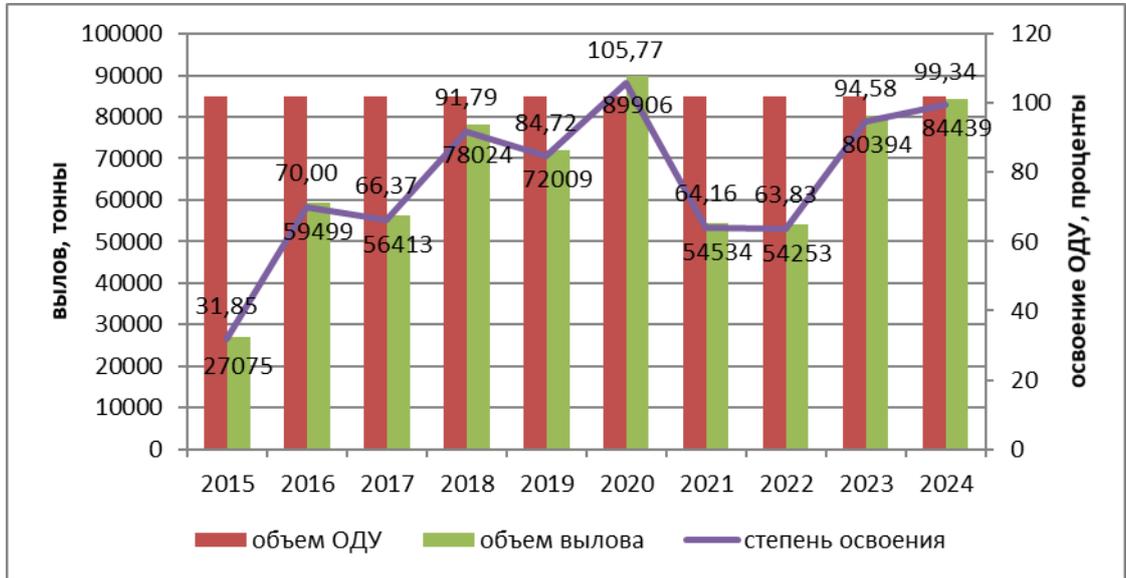


Рисунок П.В.1 – Северо-Курильская зона

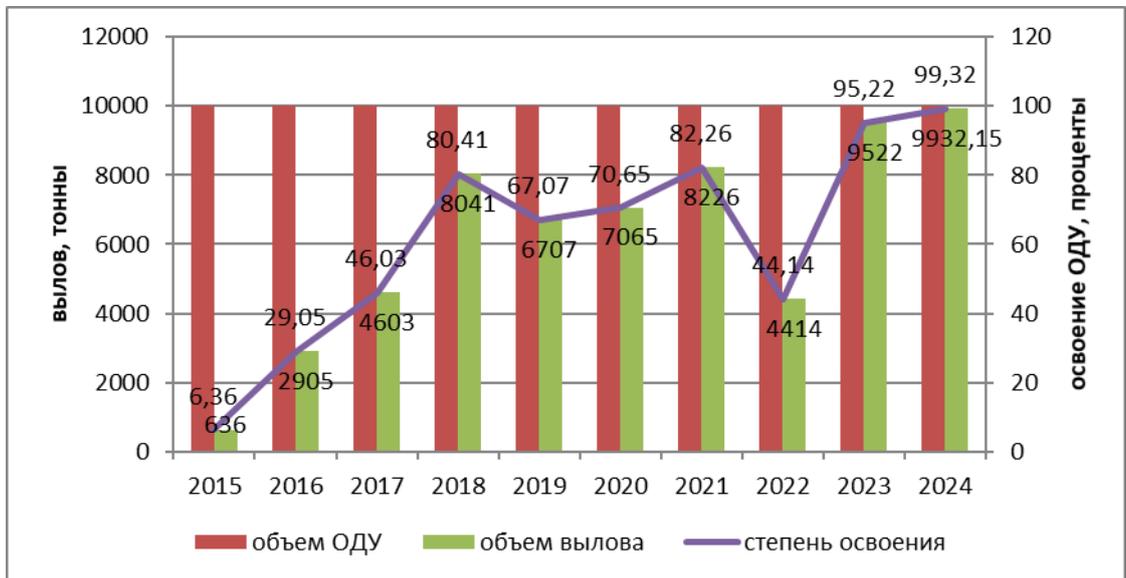


Рисунок П.В.2 – Южно-курильская зона

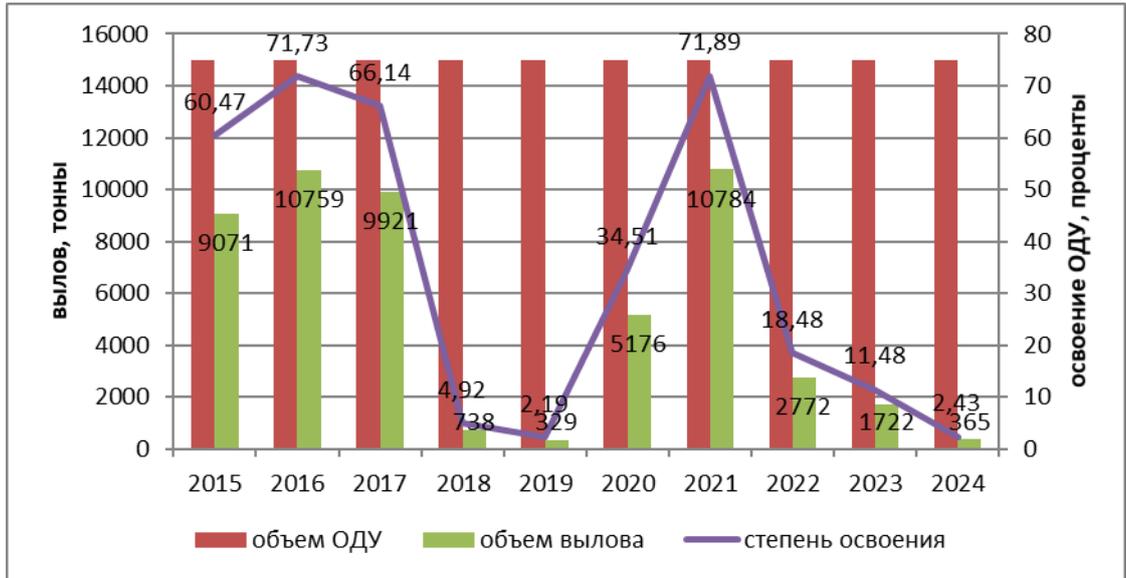


Рисунок П.В.3 – Петропавловско-Командорская подзона Восточно-Камчатской зоны

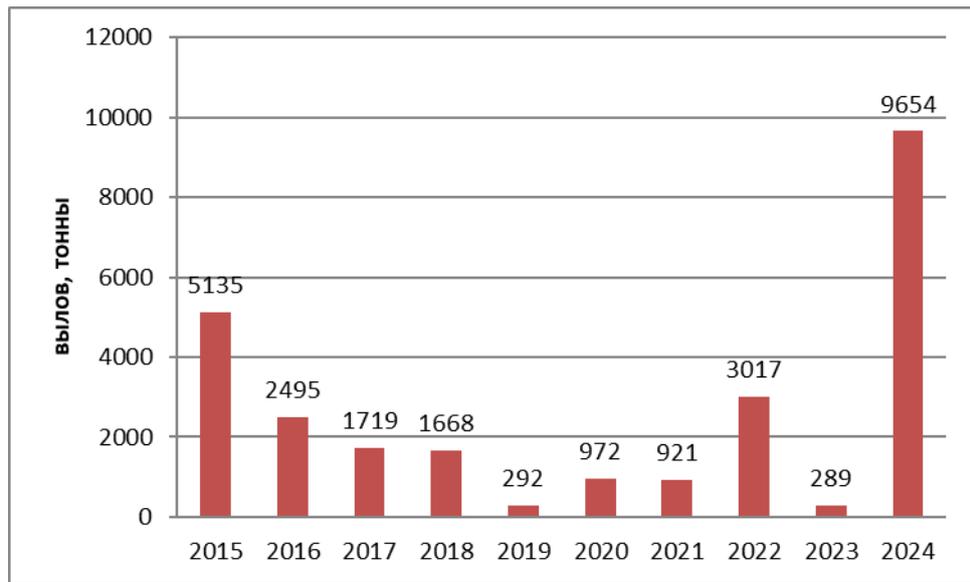


Рисунок П.В.4 – Западно-Беринговоморская зона

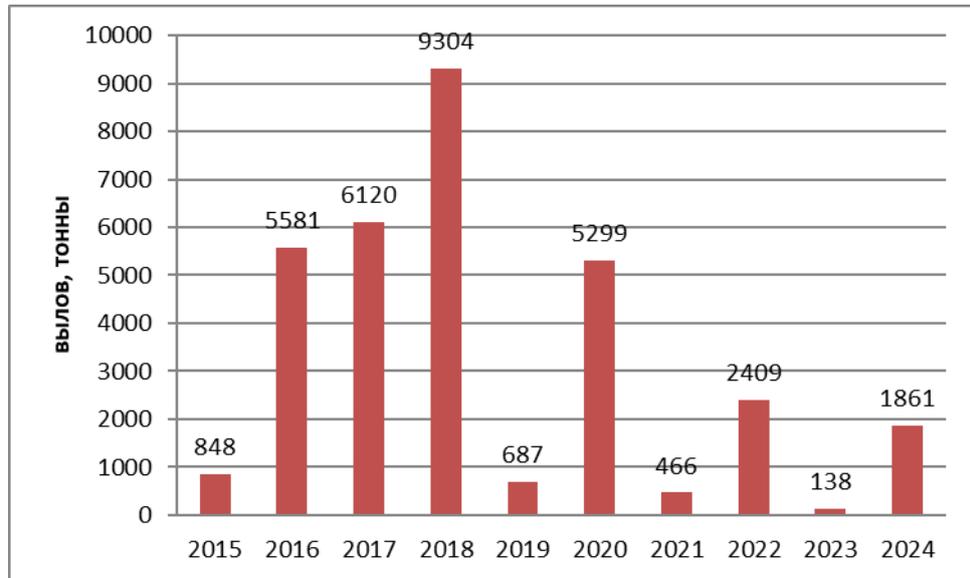


Рисунок П.В.5 – Карагинская подзона Восточно-Камчатской зоны

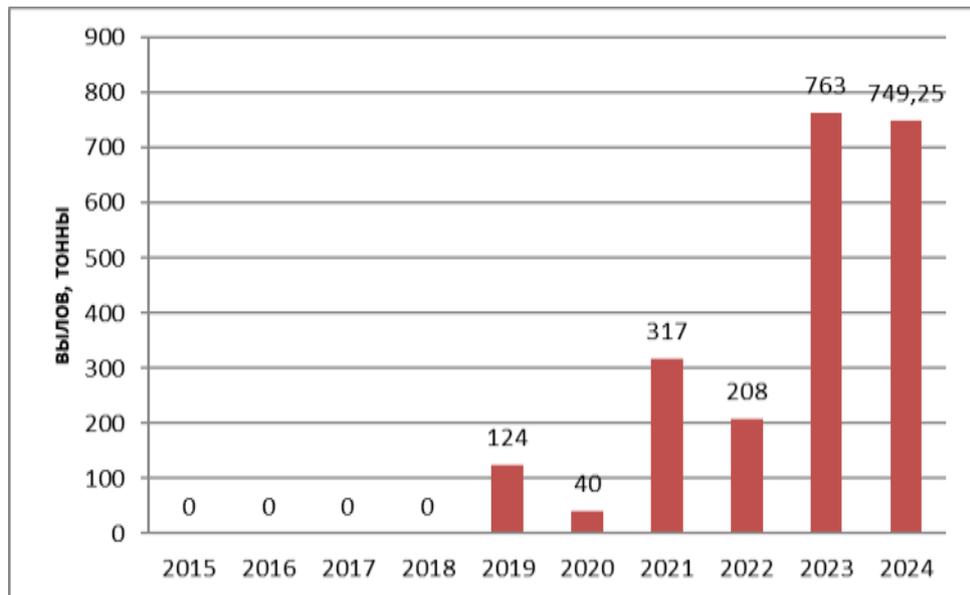


Рисунок П.В.6 – Подзона Приморья зоны Японского моря

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Динамика освоения ОДУ командорского кальмара за 2015-2024 гг.

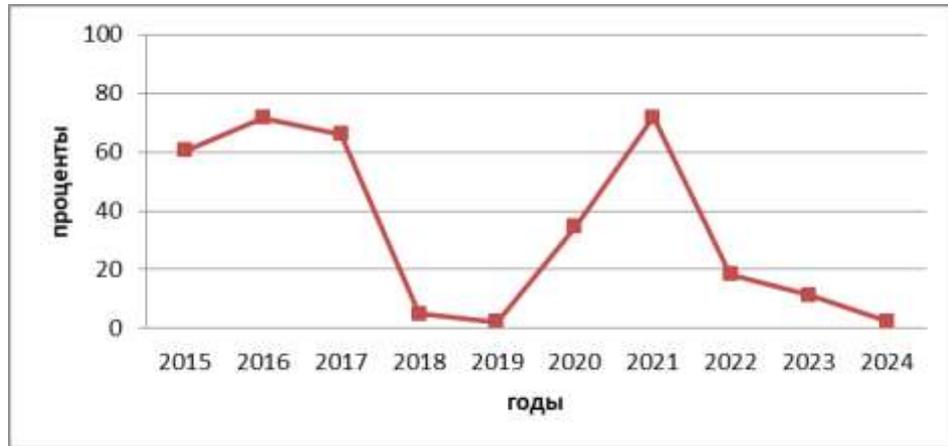


Рисунок П.Г.1 – Динамика освоения объемов ОДУ в подзоне Петропавловско-Командорская Восточно-Камчатской зоны

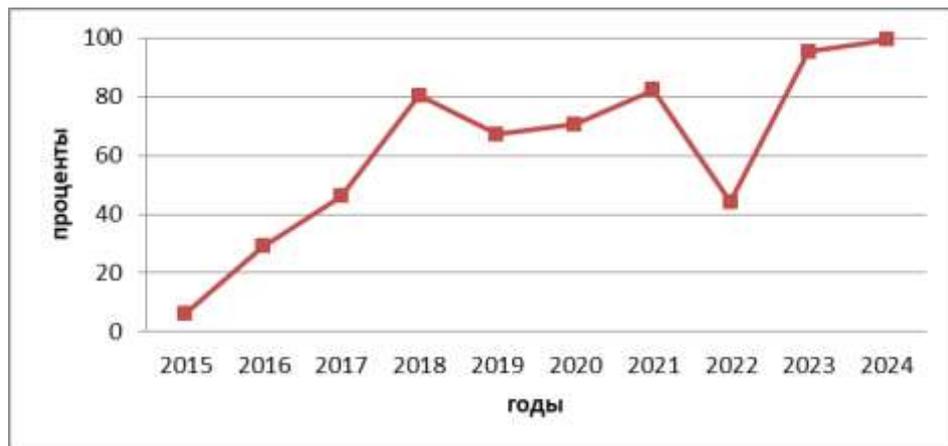


Рисунок П.Г.2 – Динамика освоения объемов ОДУ в Южно-Курильской зоне

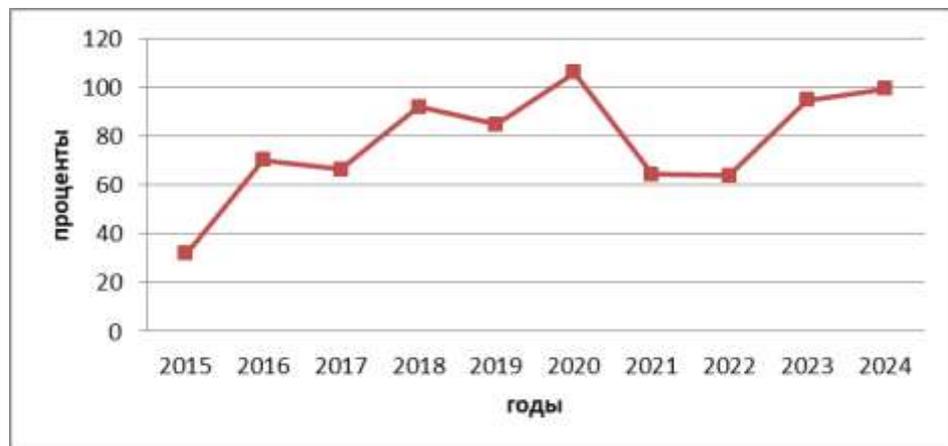


Рисунок П.Г.3 – Динамика освоения объемов ОДУ в Северо-Курильской зоне

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Средний суточный вылов командорского кальмара по зонам промысла

Таблица П.Д.1 – Средний суточный вылов командорского кальмара в Северо-Курильской зоне, тонны

Тип судна	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	В среднем за ППД
СРТМ	7,13	16,85	21,18	42,31	36,06	29,60	27,86	18,91	16,56	24,1
СТР	6,06	14,30	17,40	32,50	28,74	24,65	22,56	16,01	13,02	19,5
ТСМ	4,52	8,88	4,48	1,12	4,66	11,44	12,45	11,32	7,13	7,33

Таблица П.Д.2 – Средний суточный вылов командорского кальмара в Южно-Курильской зоне, тонны

Тип судна	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	В среднем за ППД
СРТМ	6,5	13,2	32,93	35,54	28,84	27,16	20,76	25,67	17,90	23,2
СТР	5,46	11,09	27,66	29,85	24,23	22,81	17,44	21,57	15,04	19,5
ТСМ	4,52	8,88	4,48	1,12	4,66	11,44	12,45	11,32	7,13	7,33

Таблица П.Д.3 – Средний суточный вылов командорского кальмара в Петропавловско-Командорская подзоне Восточно-Камчатской зоны, тонны

Тип судна	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	В среднем за ППД
СРТМ	4,15	4,98	12,45	41,08	27,10	30,01	20,50	16,70	19,62
СТР	3,65	4,38	10,96	36,15	23,85	26,41	18,04	14,70	17,27
ТСМ	4,52	8,88	4,48	1,12	4,66	11,44	12,45	11,32	7,36

Таблица П.Д.4 – Средний суточный вылов командорского кальмара в Карагинской подзоне Восточно-Камчатской зоны, тонны

Тип судна	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	В среднем за ППД
СРТМ	21,08	17,10	10,01	10,50	6,70	13,10
СТР	18,55	15,05	8,81	9,24	5,90	11,50
ТСМ	5,12	4,66	8,30	12,45	11,32	8,37

Таблица П.Д.5 – Средний суточный вылов командорского кальмара в Западно-Беринговоморской зоне, тонны

Тип судна	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	В среднем за ППД
СРТМ	1,74	2,52	4,44	2,38	0,16	2,25
СТР	1,45	2,1	3,7	1,98	0,13	1,87
ТСМ	1,33	1,93	3,40	1,82	0,12	1,72

Таблица П.Д.6 – Средний суточный вылов командорского кальмара в подзоне Приморья зоны Японского моря, тонны

Тип судна	январь	февраль	август	сентябрь	октябрь	В среднем за ППД
СРТМ	1,49	1,34	2,56	2,97	2,68	2,21
СТР	1,45	1,13	2,3	2,15	2,1	1,84
ТСМ	0,93	1,01	1,93	2,32	1,72	1,58
РС	1,23	1,46	1,79	1,79	1,6	1,56

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Общие объемы распределенных объемов квот для целей
промышленного рыболовства за 2015-2024 гг

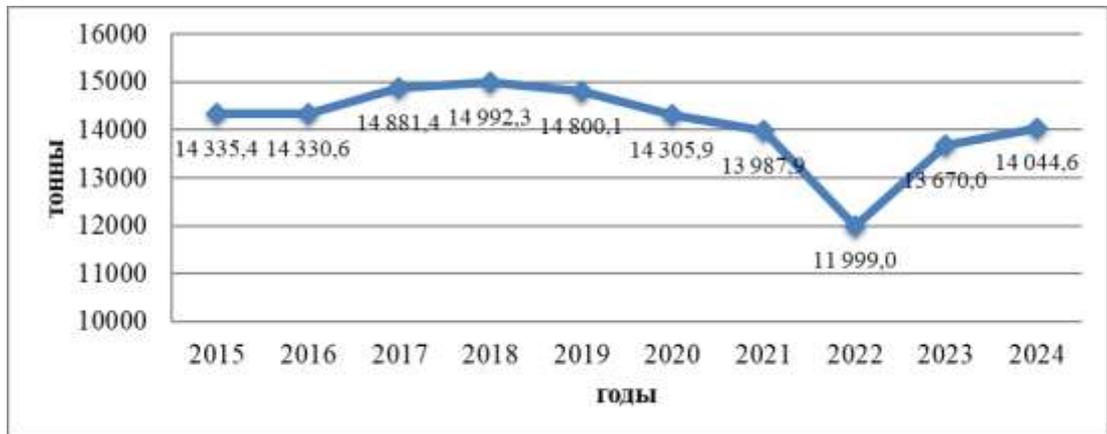


Рисунок П.Е.1 – Петропавловско-Командорская подзона Восточно-Камчатской зоны за 2015-2022 гг., тонны

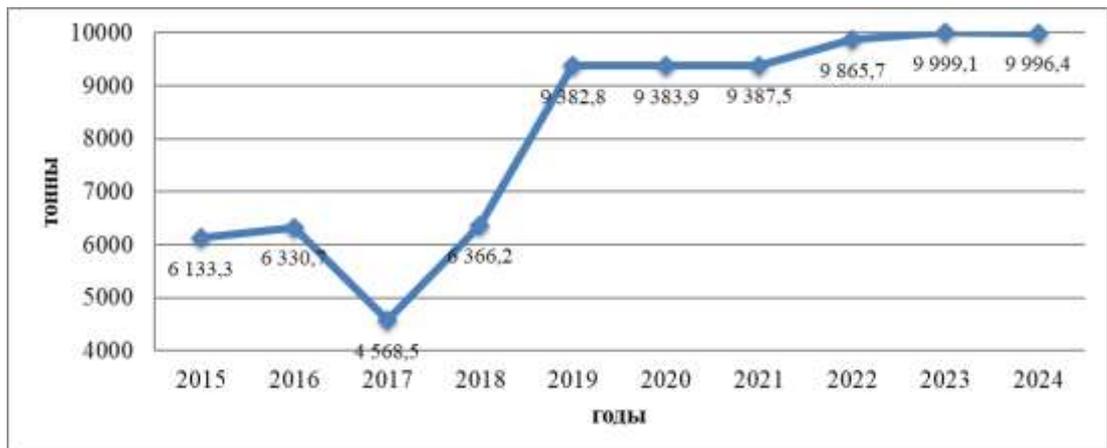


Рисунок П.Е.2 – Южно-Курильская зона за 2015-2022 гг., тонны

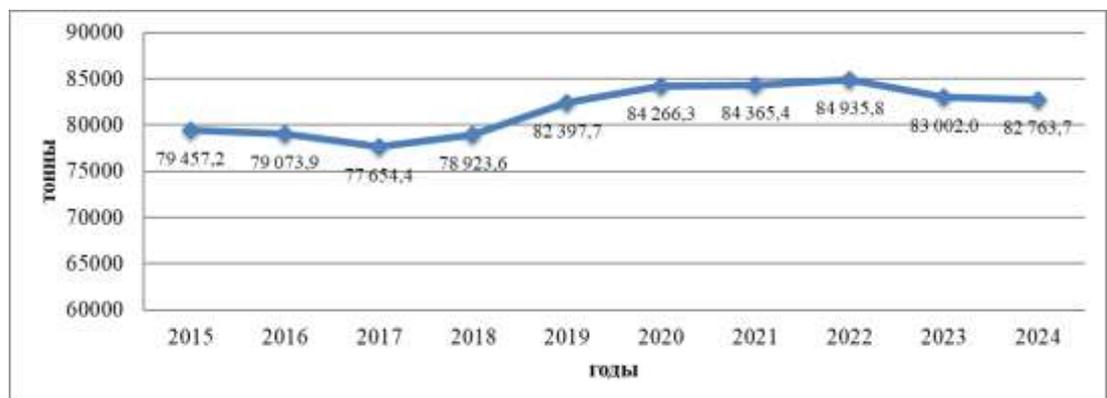


Рисунок П.Е.3 – Северо-Курильская зона за 2015-2024 гг, тонны

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

Общие объемы ОДУ и распределенных квот, предоставленных на инвестиционные цели (для промышленного рыболовства)

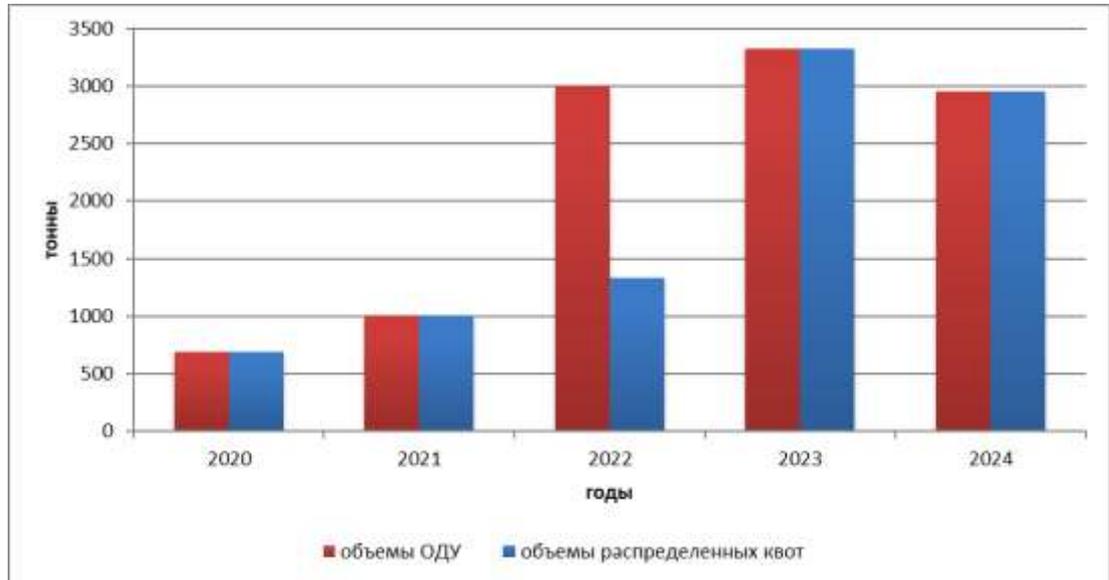


Рисунок П.Ж.1 – Общие объемы ОДУ и распределенных квот, предоставленных на инвестиционные цели (для промышленного рыболовства) за 2020-2024 гг, тонны

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Динамика распределения квот добычи кальмара между пользователями

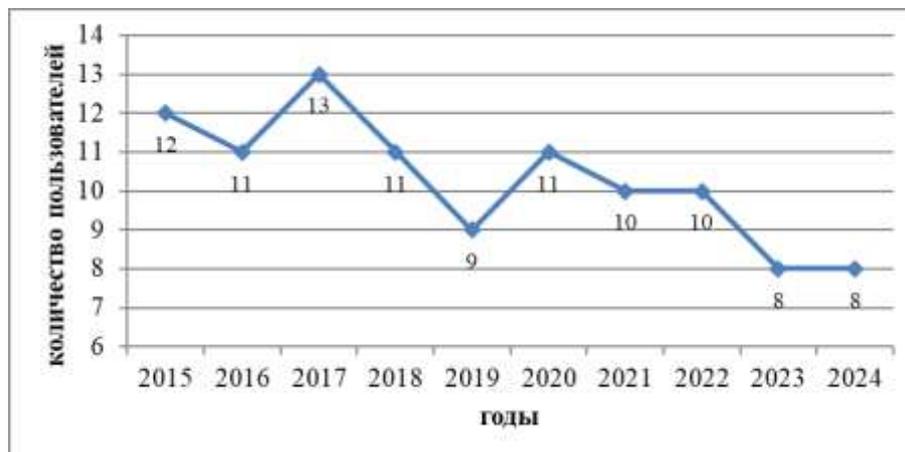


Рисунок П.3.1 – Петропавловско-Командорская подзона Восточно-Камчатской зоны за 2015-2024 гг, единицы

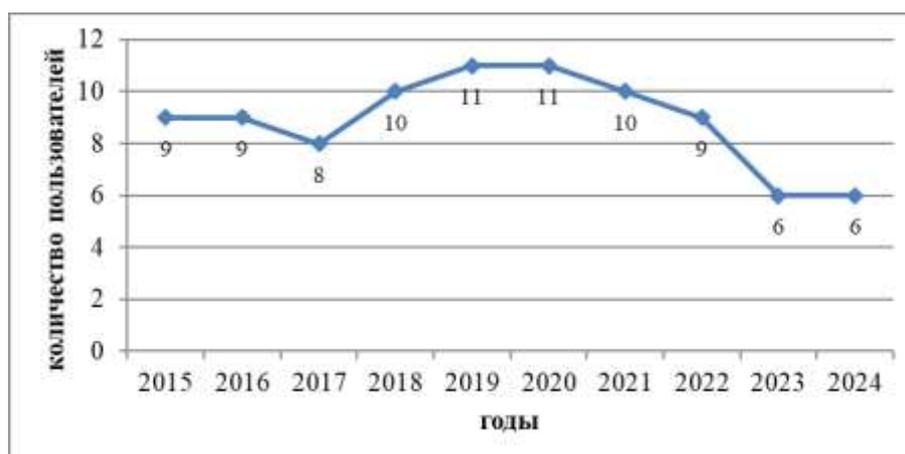


Рисунок П.3.2 – Южно-Курильская зона за 2015-2024 гг, единицы

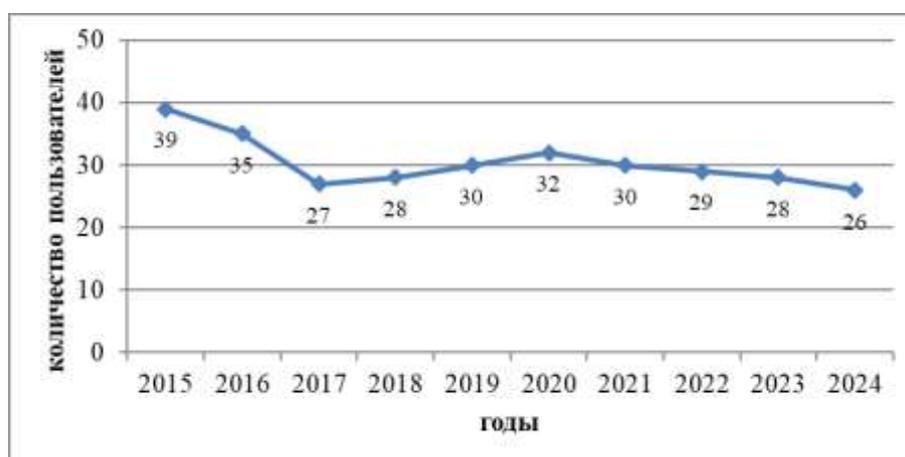


Рисунок П.3.3 – Северо-Курильская зона за 2015-2024 гг, единицы

ПРИЛОЖЕНИЕ И

Динамика распределения зависимости числа пользователей от длительности пользования квотами

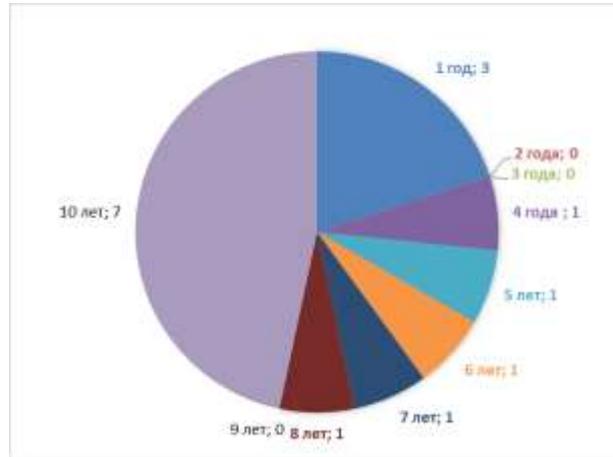


Рисунок П.И.1 – Петропавловско-Командорская подзона Восточно-Камчатской зоны, единицы

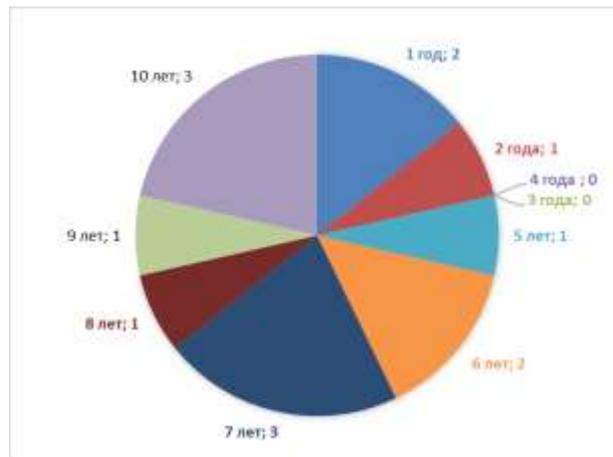


Рисунок П.И.2 – Южно-Курильская зона, единицы

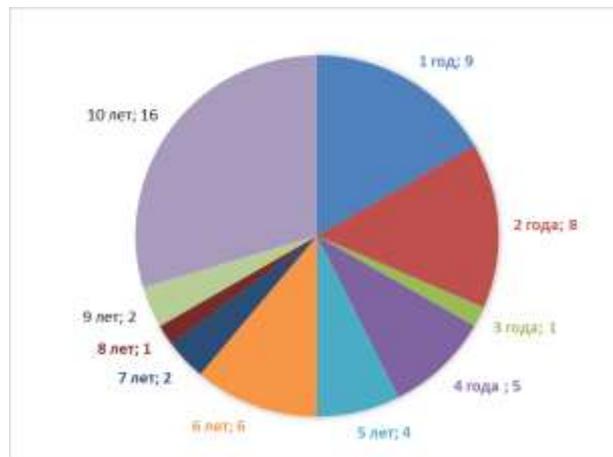


Рисунок П.И.3 – Северо-Курильская зона, единицы

ПРИЛОЖЕНИЕ К

Динамика распределения пользователей по группам

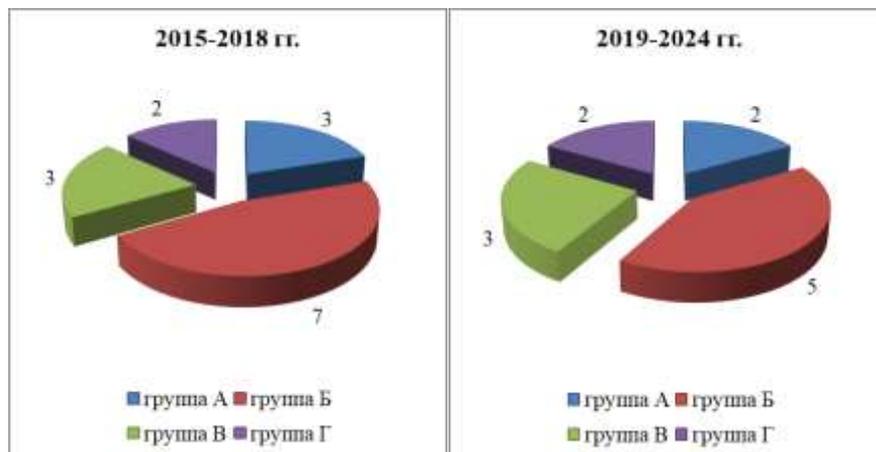


Рисунок П.К.1 – Петропавловско-Командорская подзона Восточно-Камчатской зоны, единицы

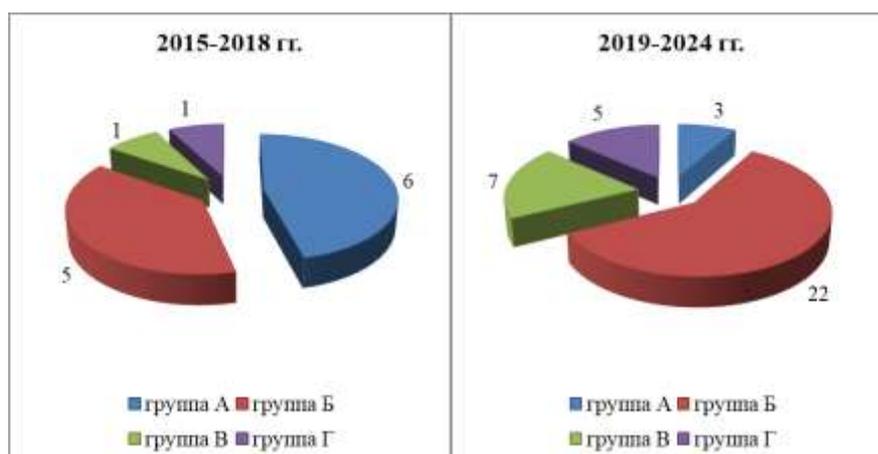


Рисунок П.К.2 – Южно-Курильская зона, единицы

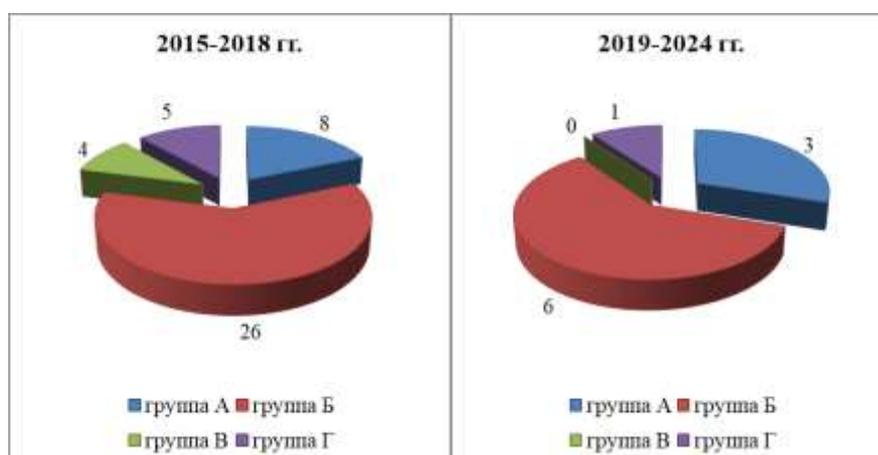


Рисунок П.К.3 – Северо-Курильская зона, единицы

ПРИЛОЖЕНИЕ Л

Динамика распределения среднегодовых объемов квот по группам пользователей

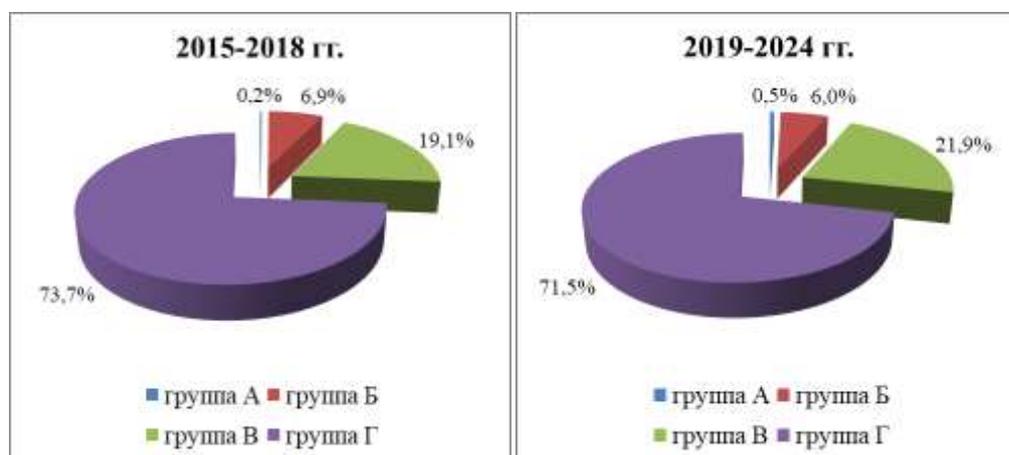


Рисунок П.Л.1 – Петропавловско-Командорская подзона Восточно-Камчатской зоны, проценты

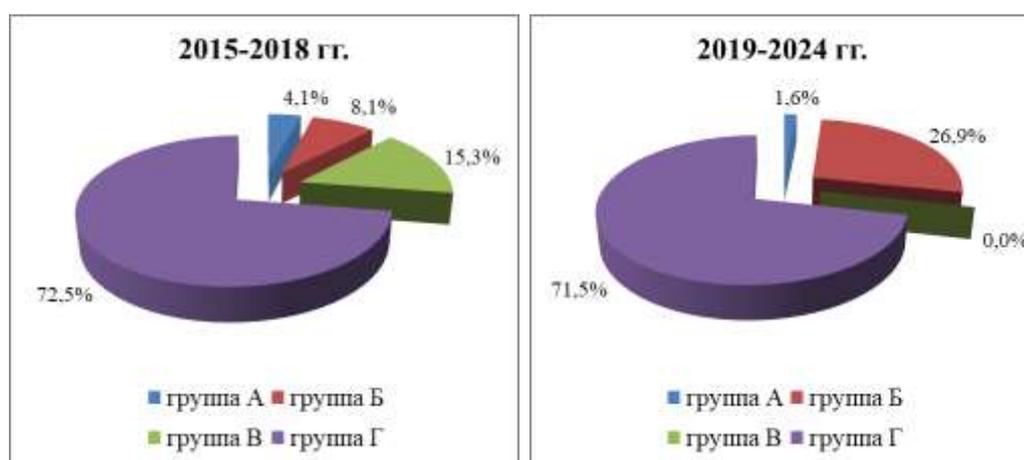


Рисунок П.Л.2 – Южно-Курильская зона, проценты

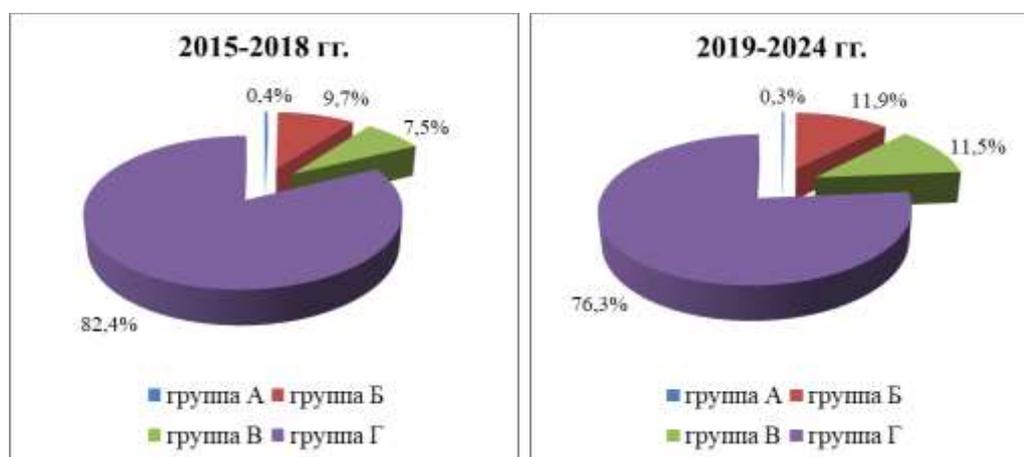


Рис. Л.3 – Северо-Курильская зона, проценты

ПРИЛОЖЕНИЕ М

Приоритеты месяцев промысла кальмара в промысловых зонах

Таблица П.М.1 – Приоритеты месяцев

Промысловая зона	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь
Северо-Курильская зона	нулевой	нулевой	низкий	средний	средний	высокий	высокий	высокий	высокий	высокий	средний	средний
Петропавловско-Командорская подзона Восточно-Камчатской зоны	нулевой	нулевой	нулевой	средний	средний	средний	высокий	средний	высокий	высокий	средний	низкий
Южно-Курильская зона	нулевой	нулевой	нулевой	низкий	низкий	средний	средний	средний	высокий	высокий	высокий	низкий
Западно-Беринговоморская зона	нулевой	низкий	нулевой	нулевой	средний	низкий	средний	нулевой	высокий	высокий	средний	средний
Карагинская подзона Восточно-Камчатской зоны	нулевой	нулевой	нулевой	нулевой	средний	низкий	высокий	средний	высокий	высокий	высокий	средний
Подзона Приморья зоны Японское море	средний	низкий	низкий	нулевой	нулевой	нулевой	нулевой	средний	высокий	высокий	нулевой	нулевой

ПРИЛОЖЕНИЕ Н

Все, представленные в таблице, суда оборудованы траловой системой промысла.

Таблица П.Н.1 – Современные среднетоннажные суда

Название	Переработка на борту	Трюмы для хранения продукции
Морозильный траулер EFF03	автоматизированные линии по обработке и разделке улова. Производительность рыбофабрики - 30т/сутки	Вместимость охлаждаемых трюмов 500 м ³ Вместимость мороженой продукции 300 т
Средний рыболовный траулер Проекта ST 116XL	Линии переработки рыбы, рыбомучная установка. Морозильная установка - 100 т/сут РМУ – 40 т/сут Рыбофабрика (филе) – 25 т/сут	Объем трюма 600 м ³
Средний морозильный траулер Проект HS 45T	Линии по сортировке рыбы, линии по обезглавливанию и потрошению BAADER, рыбомучная установка типа РМУ-5, вертикальные морозильные аппараты. Морозильная установка - 24 т/сут	Объем трюма 640 м ³

ПРИЛОЖЕНИЕ О

Таблица среднесуточных выловов

Таблица П.О.1 – Средние суточные выловы среднетоннажных судов в Северо-Курильской зоне

Кол-во судов	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь
1	8,92	13,56	22,73	47,88	28,82	22,00	22,325	17,38	20,70
2	8,92	13,56	22,73	47,88	28,82	22,00	22,32	17,38	20,20
3	7,13	10,85	18,18	38,31	23,06	17,60	17,86	13,91	16,56
4	6,42	9,77	16,36	34,47	20,75	15,84	16,07	12,52	14,90
5	5,35	8,14	13,64	28,73	17,29	13,20	13,39	10,43	12,42

Таблица П.О.2 – Суммарный средний суточный вылов всеми задействованными среднетоннажными судами в Северо-Курильской зоне

Кол-во судов	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь
1	8,92	13,56	22,73	47,88	28,82	22,00	22,32	17,38	20,70
2	17,83	27,13	45,46	95,76	57,64	44,01	44,65	34,77	41,40
3	21,40	32,55	54,55	114,92	69,17	52,81	53,57	41,72	49,68
4	25,68	39,06	65,46	137,90	83,00	63,37	64,29	50,06	59,61
5	26,75	40,69	68,18	143,64	86,46	66,01	66,97	52,15	62,10

ПРИЛОЖЕНИЕ П

Акты внедрения

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор ООО «Минтай
ДВ»

Батицев И.В.

«20» ноября 2025



АКТ

О внедрение результатов диссертационной работы

Иванко Нины Сергеевны на тему

«Совершенствование организации и ведения добычи (вылова) командорского кальмара»

Разработанное в рамках диссертационного исследования методы организации промысла командорского кальмара внедрено в производственную деятельность компании и учитывается в планирование и организации промысла командорского кальмара с учетом районов и квот компании на его освоение.

Начальник отдела добычи

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Новгородов'.

Новгородов Е.А./

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО РЫБОЛОВСТВУ

Федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

Дальневосточный государственный
технический рыбохозяйственный
университет

(ФГБОУ ВО «Дальрыбвтуз»)
г. Владивосток

УТВЕРЖДАЮ:
Ректор ФГБОУ ВО
«Дальрыбвтуз»

«___» _____ г.



АКТ

о внедрении результатов диссертационной работы

Иванко Нины Сергеевны

«Совершенствование организации и ведения добычи (вылова) командорского
кальмара»

в учебный процесс

Настоящий акт составлен о том, что результаты диссертационной работы Иванко Н.С. «Совершенствование организации и ведения добычи (вылова) командорского кальмара», внедрены в учебный процесс обучающихся по направлению подготовки 35.03.09 «Промышленное рыболовство» по образовательным программам бакалавриата «Организация промысловых работ на рыболовном судне», «Организация прибрежного рыболовства и хозяйств аквакультуры» и «Организация добычи водных биологических ресурсов» всех форм обучения по дисциплине «Информационные технологии в рыболовстве»:

- раздел 3 «Информационные системы управления рыболовством», тема «Решение задач по оптимизации производственно-промыслового процесса», посредством включения в лекционный курс и курс лабораторных работ разработанной методологии оптимизации производственно-промыслового процесса;

- раздел 3 «Информационные системы управления рыболовством», тема «Выбор оптимального промыслового района», посредством включения в лекционный курс и курс лабораторных работ разработанной методологии распределения судов по районам промысла.

Объем внедренных компонентов составляет 4 часа для очной формы обучения, 2 часа для заочной формы обучения.

Изменения в рабочих программах по дисциплине «Информационные технологии в рыболовстве» для указанных программ подготовки утверждены

на заседании кафедры «Промышленное рыболовство» протоколом № 1 от 12.09.2025 г.

Использование научных разработок в учебном процессе позволяет повысить эффективность самого процесса, стимулирует интерес студентов к изучению дисциплины и в конечном итоге способствует повышению качества образовательного процесса.

Начальник учебно-методического
Управления

О.В. Хмелева

Начальник научного управления

Е.В. Денисова

Зав. кафедрой
«Промышленное рыболовство»

Е.В. Осипов

Заместитель директора института
рыболовства и аквакультуры
по учебно-методической работе

И.А. Круглик