

На правах рукописи



Абдулатипов Магомед Алиевич

ПЛАНИРОВАНИЕ РАБОТЫ ЛЕДОКОЛЬНОГО ФЛОТА В КАСПИЙСКОМ БАССЕЙНЕ

Специальность: 05.22.19 – «Эксплуатация водного транспорта,
судовождение»

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Нижний Новгород – 2019

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»).

Научный руководитель доктор технических наук, профессор **Кузьмичев Игорь Константинович**

Официальные оппоненты:

Глушков Сергей Витальевич, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Морской государственный университет имени адмирала Г.И. Невельского», декан электромеханического факультета

Корьев Вадим Юрьевич, кандидат технических наук, ООО «ТК Ярбункер», генеральный директор

Ведущая организация –
ФГБОУ ВО «Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова»

Защита состоится «25» июня 2019 г. в 14:00 часов в аудитории 281 на заседании диссертационного совета Д.223.001.01 на базе ФГБОУ ВО «ВГУВТ» по адресу 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «ВГУВТ» <http://www.vsuwt.ru/science/dissert/news.php>

Автореферат разослан « » 2019 г.

Ученый секретарь
Диссертационного
совета Д.223.001.01



О.Л. Домнина

1. Общая характеристика работы

Актуальность исследований. Развитие отечественного водного транспорта в настоящее время невозможно без решения вопросов круглогодичной эксплуатации флота и портов. Российская Федерация имеет большой опыт работы судов в ледовых условиях. Основными морскими бассейнами Российской Федерации, где необходим ледокольный флот для обеспечения судоходов в зимний период в замерзающие порты, являются Балтийский, Беломорский, Каспийский, Азово-Черноморский, Дальневосточный, а также бассейны морей Северного Ледовитого океана, по которым проходит Северный морской путь (СМП).

Уровень конкуренции на рынке предоставления ледокольных услуг достаточно высок. В настоящее время ледоколы имеются более чем у 20 стран мира. Кроме России ледоколы строят в Финляндии, США, Канаде, Китае и ряде других стран. Однако, как показывает отечественный и зарубежный опыт организации ледовых навигаций, для повышения эффективности работы водного транспорта необходим не только ледокольный флот, но совершенствование его эксплуатации. В первую очередь речь идет о сокращении времени ожидания судами ледокольных проводок, которые в настоящее время достаточно велики. Причем чаще всего это связано не метеорологической обстановкой, а с чисто организационно-плановыми решениями. Официальных статистических данных относительно времени ожидания грузовыми судами с соответствующими категориями ледовых усилений ледокольных проводок нет, однако из оперативных данных судоходных компаний (СК), в частности, известно:

- в Азовском море на 16.02.2017 скопилось около сотни судов у входа в Керченский пролив в ожидании ледокольной проводки;
- срок ожидания ледокольного сопровождения на СМП может составлять до 2 недель;
- по состоянию на 17.02 2017 года в Финском заливе в ожидании ледокольной проводки в российские порты находилось 33 судна, из российских портов – 25 судов;
- в навигацию 2017 года дизель-электроход «Василий Головин» на маршруте Архангельск - Сабетта в прямом направлении в ожидание проводки потратил 8,5 суток (56% от общего времени рейса), а в обратном направлении – 5,7 суток (43%).

Приведенные примеры – не констатация частных случаев, а отражение системной ситуации в проблеме ледокольного обслуживания транспортного флота. При этом следует заметить, что в последние годы работа ледокольного флота рассматривается не в контексте продления навигации, а в обслуживании регулярного движения грузовых судов в течение всего зимнего периода.

В России в настоящее время основные плановые решения по организации ледовых навигаций принимаются на двух уровнях:

1) Федеральным агентством «Росморречфлот» осуществляется расстановка ледоколов по морским бассейнам на период 1–2 года с указанием координат и начальных дат их деятельности;

2) в каждом морском бассейне в оперативных условиях создается бассейновая комиссия и штаб ледокольных проводок, отвечающий за назначение пунктов следования и дат отправления караванов грузовых судов в сопровождении ледоколов.

При этом взаимосвязь этих решений не обеспечивает в полном объеме эффективность работы ни ледокольного флота, ни грузовых судов, которым необходимо ледокольное сопровождение. Последнее обстоятельство делает актуальным выбранную автором тему научного исследования.

Планирование работы флота и портов в зимний период позволит устранить потери производственной мощности грузового флота и перегрузочной техники. Особенно это важно для Каспийского бассейна в силу следующих обстоятельств:

– с 2017 года реализуется «Стратегия развития российских морских портов в Каспийском бассейне, железнодорожных и автомобильных подходов к ним в период до 2030 года», предусматривающая рост грузооборота через порты Каспийского моря;

– 12 августа 2018 года на Пятом саммите президентов «каспийской пятерки» (Азербайджан, Иран, Казахстан, Россия, Туркменистан) было подписано «Соглашение между правительствами прикаспийских государств о сотрудничестве в области транспорта», который определяет регион Каспийского моря как крупный международный транспортно-логистический узел.

Учитывая географические и гидрометеорологические особенности региона, можно отметить важность организации здесь круглогодичной навигационной доступности, что в условиях замерзающего Северного Каспия невозможна без планирования ледокольных проводок грузовых судов.

К числу ученых и практиков, работавших в разное время в области изучения вопросов организации ледового плавания, относятся А.И. Арикайнен, В.И. Арнольд-Алябьев, М.П. Белоусов, П.И. Бухарицин, М.Н. Васильев, С.В. Глушков, В.А. Голохвастов, М.В. Готский, А.И. Дубинин, Ю.С. Кучиев, В.А. Кушнарев, В.А. Лобанов, М.В. Ломоносов, Б.С. Майнагашев, Е.А. Макдональд, Д.Р. Морли, М.К. Петров, К.Е. Сазонов, Г.Я. Седов, А. А. Темникова, К.Н. Чубаков, Э.М. Шацбергер, Ю.А. Шиманский, Н.А. Шмаков и др. Вопросами организации работы речного флота в зимних условиях занимались П.П. Зарубин, В.А. Зуев, Ю.В. Треушников, В.А. Тронин, Р.Д. Фролов и др.

В работах указанных авторов основное внимание уделялось техническим аспектам работы ледокольного флота, вопросам безопасности при формировании караванов и выборе скорости их движения. Вместе с тем регулярное функционирование морских линий в зимний период требует иного подхода к планированию работы ледокольного флота, чем при разовых отправлениях караванов судов. Однако научных работ, посвящённых планированию и оперативному регулированию работы ледокольного флота в условиях морского бассейна на принципах судогрузовых линий, практически нет, в связи с чем *степень разработанности* темы диссертации можно определить как минимальную.

Цель диссертационного исследования состоит в создании комплексной системы планирования работы ледокольного флота в морском бассейне на основе оптимизации получаемых решений включая среднесрочный, текущий и оперативный уровни.

Для достижения этой цели в диссертации были поставлены следующие *задачи исследования*.

- выполнить анализ современного состояния теории и практики планирования работы ледокольного флота;
- сформировать методические рекомендации в части формирования размеров каравана судов на уровне среднесрочного планирования и выполнить их экспериментальную проверку на реальных данных;
- разработать экономико-математическую модель планирования работы ледокольного флота в ледовых условиях и выполнить проверку ее работоспособности применительно к замерзающим портам Каспийского бассейна;

- обосновать критерий оптимизации планов работы ледокольного флота в условиях непрерывного планирования;
- обосновать перечень входной информации для целей непрерывного планирования и оперативного регулирования и разработать нормы следования ледоколов с караванами судов для различных типов гидрометеорологических условий в зимний период, а также механизм их корректировки с учетом оперативных условий работы флота в Каспийском бассейне.

Объектом исследования в соответствии с паспортом специальности 05.22.19 «Эксплуатация водного транспорта, судовождение» является «Технология, организация и управление перевозками и работой флота». Область исследования «Разработка проблем эффективного управления судном, составом судов и флотом». **Предметом исследования** является система планирования эксплуатационной деятельности ледокольного флота в условиях Каспийского бассейна.

Научная новизна работы. В диссертации теоретически обоснован новый подход к комплексному планированию работы ледокольного флота, предназначенный для использования администрациями морских портов с замерзающими акваториями.

В работе получены и обоснованы следующие результаты, определяющие ее научную новизну и являющиеся предметом защиты:

1. Впервые разработаны методические рекомендации по обоснованию размеров караванов судов при планировании ледокольных проводок на основе комплексного критерия в виде суммарных эксплуатационных расходов по грузовому и ледокольному флоту за время формирования и движения каравана. Рекомендации предназначены для принятия решений по оптимизации размеров караванов судов в морском бассейне.

2. На основании результатов обработки статистических данных за ряд лет предложен новый подход к расчету базовых норм следования ледоколов с караванами судов для различных условий развития ледовых процессов (типов навигаций).

3. Построена экономико-математическая модель непрерывного планирования работы ледокольного флота, ориентированная на принятие решений по ледокольному обслуживанию грузовых судов в условиях зимней навигации в морском бассейне. Применение модели впервые обеспечивает комплексное обоснование потребно-

сти в ледокольном флоте и времени ожидания ледокольных проводок грузовых судов в точках формирования караванов.

4. Обоснован авторский вариант системы поправочных коэффициентов к базовым нормам следования ледоколов с караванами судов и механизм их корректировки при оперативном регулировании, что позволяет моделировать возможные варианты развития ситуаций с ледокольными проводками в морском бассейне.

Теоретическая и практическая значимость работы. Предложения автора по комплексному обоснованию планов работы ледокольного флота предназначены для решения ряда теоретических и практических задач:

- обоснование оптимальных вариантов размеров караванов судов с учетом возможных вариантов прогнозных значений объемов транспортной работы ледоколов (число проводок караванов судов);
- разработка непрерывного плана работы ледокольного флота в морском бассейне;
- определение времени следования ледоколов с караванами судов для различных ледовых условий в Каспийском бассейне в зимний период, в том числе и с учетом оперативной метеорологической обстановки в процессе ледокольных проводок.

Методология и методы исследования. Для достижения целей настоящей диссертации использовались методы исследования операций, экономико-математического моделирования, причём адекватность всех моделей проверялась с помощью их программной реализации. Диссертационное исследование базировалось также на практическом опыте диссертанта в области организации и управления ледокольными проводками в Каспийском бассейне.

Положения, выносимые на защиту:

1. Методические рекомендации по обоснованию размеров караванов судов при планировании ледокольных проводок на основе комплексного критерия в виде суммарных эксплуатационных расходов по грузовому и ледокольному флоту за время формирования и движения каравана.

2. Технология обоснования базовых норм следования ледоколов с караванами судов для различных условий развития ледовых процессов.

3. Экономико-математическая модель непрерывного планирования работы ледокольного флота, ориентированная на принятие ре-

шений по ледокольному обслуживанию грузовых судов в условиях зимней навигации в морском бассейне.

4. Система поправочных коэффициентов к базовым нормам следования ледоколов с караванами судов и механизм их корректировки при оперативном регулировании.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность результатов исследования подтверждается применением научных методов, использованием научных материалов и фактических данных, апробацией разработанных теоретических положений на международных конференциях, публикациями и разработкой практических мероприятий на при планировании работы ледокольного флота в Каспийском бассейне.

Результаты исследований докладывались на заседаниях кафедры управления транспортом ФГБОУ ВО «Волжский государственный университет водного транспорта», кафедры судовождения Каспийского института морского и речного транспорта, а также на международном научно-промышленном форуме «Великие реки - 2018».

Процедуры планирования работы ледокольного флота на основе предложенной в диссертации экономико-математической модели и элементов оперативного регулирования прошли проверку в ФГБУ «АМП Каспийского моря» в период ледокольных проводок 2017-2018 года, методические рекомендации по обоснованию оптимальных размеров караванов судов с учетом организационно-экономических факторов используются ФГБУ «АМП Балтийского моря». Методические разработки автора диссертации в части планирования работы ледокольного флота в морских бассейнах применяются в учебном процессе в Каспийском институте морского и речного транспорта по дисциплинам «Технология транспортных процессов и систем», «Методы оптимального управления на транспорте», «Управление международными перевозками».

По данной тематике автором было опубликовано 9 статей, в том числе 4 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК, общим объемом 3,5 п.л. Авторский вклад – 2,16 п.л.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения (130 страниц текста, включая 41 рисунок, 29 формул и 18 таблиц), списка литературы из 167 наименований и 9 приложений.

2. Основные положения диссертации

Во *введении* обозначена актуальность исследований, указаны существующие проблемы в области предмета и объекта исследования, сформулированы цели и задачи работы.

Первая глава посвящена оценке современного состояния, тенденций и проблем организации перевозок водным транспортом в ледовых условиях. Большинство морей, омывающих берега России, в течение длительного времени покрыты льдом, что затрудняет их круглогодичное использование, однако потребности экономического и социального развития страны таковы, что населению и народному хозяйству требуется нормальное транспортное обеспечение в течение всего года. Организация ледокольных проводок в замерзающих портах России возложена на Федеральное государственное унитарное предприятие «Росморпорт» (ФГУП «Росморпорт»), Федеральное государственное унитарное предприятие «Атомфлот» (ФГУП «Атомфлот») и Публичное акционерное общество «Дальневосточное морское пароходство» (ПАО «ДВМП»).

ФГУП «Росморпорт» включает в себя 14 филиалов, в 8 из которых предприятием представляются ледокольные услуги: Северо-Западный, Архангельский, Мурманский, Азовский, Азово-черноморский, Астраханский, Ванинский и Магаданский. ФГУП «Атомфлот» и ПАО «ДВМП» обслуживают Северный морской путь (СМП), включая моря Северного Ледовитого океана (Баренцево, Карское, Лаптевых, Восточно-Сибирское, Чукотское) и частично Тихого океана (Берингово).

На рисунке 1 приведены графики, отражающие изменения числа проведенных судов и протяженности ледокольных проводок в бассейнах морей, обслуживание которых возложено на ФГУП «Росморпорт», за период с 2009 по 2016 гг. по отношению к соответствующим среднегодовым значениям.

Для освоения перевозок в ледовых условиях необходимы современные ледоколы, рейдовые суда ледокольного типа, грузовой флот соответствующего класса. Однако не менее важным является совершенствование технологии транспортного процесса и управления работой элементов транспортно-технологических систем в различных ледовых условиях.



Рисунок 1 – Темпы роста числа проведенных судов и протяженности ледокольных проводок в зоне ответственности ФГУП «Росморпорт» за период с 2009 по 2016 гг. по отношению к соответствующим среднегодовым значениям, %

Актуальность вопросов совершенствования планирования и оперативного регулирования работы флота в период ледокольных проводок обусловлена такими факторами, как значительная разнотипность эксплуатируемого ледокольного флота и буксирных судов, старение морских судов торгового флота России, недоиспользование мощностей морских портов России в зимний период, перспективы развития международной торговли.

Во второй главе рассмотрены теоретические аспекты планирования работы ледокольного флота в морском бассейне.

По своей сути вопрос планирования работы ледокольного флота на всех уровнях планирования сводится к проблеме формирования рациональных размеров караванов судов с учетом ряда сопутствующих факторов: времени ожидания флота, эксплуатационных расходов и т.п.

Автором предложен метод оптимизации размера каравана судов, основанный на использовании принципа минимизации общих расходов участников транспортного процесса (P):

$$P = P^{\Gamma} + P^{\Delta} \quad (1)$$

где P^{Γ} – расходы по грузовым судам за время ожидания ими проводки и самой проводки в составе каравана судов, руб.;

P^{Δ} – расходы на ледокольные проводки, тыс. руб.

Расходы по грузовым судам за время ожидания ими проводки и самой проводки в составе каравана судов (P^{Γ}), руб.:

$$P^{\Gamma} = \sum_{i \in A} \sum_{j \in B} n_{ij}^M (C_i^c t_{ij}^{CM} + C_i^x t_{ij}^{XM}) + \sum_{i \in A} \sum_{j \in B} n_j^{\Pi} (C_i^c t_{ij}^{c\Pi} + C_i^{\Pi} t_{ij}^{x\Pi}) \quad (2)$$

где i – индекс типа грузового судна, участвующего в ледокольной проводке, $i \in A$, где A – множество типов грузовых судов;

j – индекс типа каравана судов, $j \in B$, где B – множество типов караванов судов за период ледокольной проводки;

n_{ij}^M, n_{ij}^N – число судов i -го типа в составе каравана j -го типа соответственно входящего со стороны моря для следования в морские порты и выходящего из этих портов для следования в море, ед.;

C_i^c, C_i^x – стоимость содержания грузового судна i -го типа соответственно за время его стоянки в точке формирования каравана (ТФК) и в ходу, руб./судо-сут.;

t_{ij}^{CM}, t_{ij}^{CN} – время ожидания грузовым судном i -го типа ледокольной проводки в составе каравана j -го типа соответственно в ТФК в море и в ТФК в портах, сут.;

t_{ij}^{XM}, t_{ij}^{XN} – время следования грузового судна i -го типа в составе каравана j -го типа соответственно из ТФК в море в порты и из ТФК портов в море, сут.

3. Расходы по ледокольным проводкам, включающие расходы по ледокольному флоту и расходы общепроизводственного характера (P^N):

$$P^N = \sum_{z \in Z} \sum_{j \in B} n_{zj}^M (C_z^c t_{zj}^{CM} + C_z^x t_{zj}^{XM}) + \sum_{z \in Z} \sum_{j \in B} n_{zj}^N (C_z^c t_{zj}^{CN} + C_z^x t_{zj}^{XN}) + \Phi OT^{BK} + \Phi OT^{ШЛП} + P^N \quad (3)$$

где z – индекс типа ледокола, участвующего в ледокольной проводке, $z \in Z$, где Z – множество типов ледоколов;

n_{zj}^M, n_{zj}^N – число ледоколов z -го типа в составе каравана j -го типа соответственно входящего со стороны моря для следования в порты и выходящего из этих портов для следования в море, ед.;

C_z^c, C_z^x – стоимость содержания ледокола z -го типа соответственно за время его стоянки в ТФК и в ходу, руб./судо-сут.;

t_{zj}^{CM}, t_{zj}^{CN} – время ожидания ледоколом z -го типа ледокольной проводки в составе каравана j -го типа соответственно в ТФК в море и в ТФК в портах, сут.;

t_{zj}^{XM}, t_{zj}^{XN} – время следования ледокола z -го типа в составе каравана j -го типа соответственно из ТФК в море в порты и из ТФК портов в море, сут.;

$\Phi OT^{B,K}$ – фонд оплаты труда бассейновой комиссии, контролирующей процесс ледокольной проводки, руб.;

$\Phi OT^{ШЛП}$ – фонд оплаты труда работников штаба ледокольных проводок (ШЛП), руб.;

P^n – прочие расходы, включающие стоимость гидрологических, гидрометеорологических услуг, связи, авиаразведки, соответствен-но на вход в порты и на выход из них, руб.

С увеличением числа караванов расходы по грузовым судам за время их накопления в пункте формирования каравана и ледокольной проводки снижаются, а расходы по ледокольным проводкам, наоборот, растут. В итоге оптимальное количество судов в караване определяется точкой минимума общих расходов.

Также во второй главе рассмотрены теоретические аспекты непрерывного планирования работы ледоколов в морском бассейне. С учетом анализа работ ученых и практиков в области планирования на водном транспорте автором диссертации предлагается использование для разработки непрерывных планов эксплуатационной деятельности ледокольного флота метода линейного программирования на основе экономико-математического модели, при описании которой приняты следующие обозначения:

i – индекс типа ледокола, $i \in I$, где I – множество индексов i ;

j – индекс рейса ледокола из одного пункта морского бассейна в другой, $j \in J$, где J – множество индексов j ;

l – индекс пункта (порта), $l \in L$, где L – множество индексов l ;

z – индекс каравана судов, определяющий число одновременно проводимых судов за один рейс, $z \in Z$, где Z – множество индексов z ;

X_{ijlz} – число отправок ледоколов i -го типа в j -ый рейс из l -пункта с z -ым караваном судов, ед.;

X_{ijlz}^n – число рейсов отправок ледоколов i -го типа в j -ый рейс из l -пункта с z -ым караваном судов при наличии n ледоколов в караване, ед., $X_{ijlz}^n \in X_{ijlz}$;

g_{ijlz}^c – число грузовых судов с ледоколом i -го типа на j -ом рейсе, отправляемых из l -пункта в составе z -го каравана, ед.

Спецификой Каспийского бассейна является то, что движение караванов из ТФК на акватории морского рейда (АМР) Каспийского моря в морской порт Астрахань и обратно проходит в непосредственной близости от причалов морского порта Оля. А учитывая, что в порт Оля судозаходов грузового флота значительно меньше, чем в порт Астрахань, то суда, следующие в порт Оля, входят в состав общего каравана. При необходимости проводки грузовых су-

дов из порта Оля в порт Астрахань или в ТФК АМР штаба, осуществляющего руководство ледокольными проводками, включает их в состав очередного каравана, следующего или в порт Астрахань с Каспия, или на Каспий из Астрахани. В связи с последним обстоятельством автором диссертации предлагается следующий принцип определения величины g_{ijlz}^c :

$$g_{ijlz}^c = \begin{cases} g_{ijlz}^{c'} \\ g_{ijlz}^{c'} + g_{ijlz}^{c''} \\ g_{ijlz}^{c'} + g_{ijlz}^{c'''} \\ 0 \end{cases}, \quad (4)$$

где $g_{ijlz}^{c'}$ - число грузовых судов с ледоколом i -го типа на j -ом рейсе, отправляемых из l -пункта в составе z -го каравана до конечного пункта ледокольной проводки, ед.;

$g_{ijlz}^{c''}$ - число грузовых судов с ледоколом i -го типа на j -ом рейсе, отправляемых из l -пункта в составе z -го каравана до промежуточного пункта ледокольной проводки, ед. (в Каспийском бассейне это караваны с грузовыми судами, следующие из ТФК АМР в порт Оля и из порта Астрахань в порт Оля), ед.;

$g_{ijlz}^{c'''}$ - число грузовых судов с ледоколом i -го типа на j -ом рейсе, отправляемых из l -пункта в составе z -го каравана от промежуточного до конечного пункта ледокольной проводки, ед. (в Каспийском бассейне это караваны с грузовыми судами, следующие из порта Оля в ТФК АМР и из порта Оля в порт Астрахань), ед.;

0 - движение ледокола без каравана судов;

G_{jl}^c - число грузовых судов, которое необходимо отправить из l -го пункта в j -ый рейс в целом за период ледовой навигации, ед.;

f_{ijlz} - потребность в ледоколах i -го типа на одно отправление на j -ом рейсе, отправляемых из l -пункта с z -ым караваном судов; судо-сутки;

F_i - наличие ледоколов i -го типа, судо-сутки;

$p_{ijlz}^{\text{ВЫХ}}$ = -1 - параметр, отражающий отправление ледоколов i -го типа в j -ый рейс из l -пункта с z -ым караваном судов;

$p_{ijlz}^{\text{ВХ}}$ = +1 - параметр, отражающий прибытие ледоколов i -го типа по завершении в j -го рейса в l -пункт с z -ым караваном судов;

K_{max}^n и K_{min}^n – соответственно, максимально возможное и минимально необходимое число караванов, проводимых одновременно n ледоколами, ед.

Y_i – количество дежурств ледоколов, ед.;

f_i – средняя продолжительность выполнения работ ледоколами i -го типа в период ледокольных проводок (дежурство, организация ледовых переправ и т.п.), судо-сут.

В принятых обозначениях ограничения модели имеют вид:

1. В течение ледовой навигации необходимо обеспечить ледокольными проводками все суда, которые подали соответствующие заявки, т.е. отправить все грузовые суда в j -ые рейсы из l -ых пунктов морского бассейна:

$$\sum_{i \in I} \sum_{z \in Z} g_{ijlz}^c \cdot X_{ijlz} = G_{jl}^c \text{ при условии } j \in J \wedge l \in L \quad (5)$$

2. Потребность в ледоколах i -го типа для освоения заданного количества ледокольных проводок должна соответствовать их наличию в морском бассейне:

$$\sum_{j \in J} \sum_{l \in L} \sum_{z \in Z} f_{ijlz} \cdot X_{ijlz} + Y_i \cdot f_i = F_i \text{ при условии } i \in I \quad (6)$$

3. Количество отправлений выходящих из l -го пункта ледоколов должно быть равно количеству ледоколов, приходящих в этот же пункт в течение ледовой навигации:

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{z \in Z} p_{ijlz}^{BX} \cdot X_{ijlz} + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{z \in Z} p_{ijlz}^{BYX} \cdot X_{ijlz} = 0, \text{ если } l \in L \quad (7)$$

4. Одновременное использование для организации ледокольных проводок двух ледоколов в случае сложных ледовых условий должно находиться в допустимом диапазоне:

$$K_{max}^n \geq X_{ijlz}^n \geq K_{min}^n, X_{ijlz}^n \in X_{ijlz} \quad (8)$$

5. Потребность в обязательном нахождении (дежурстве) ледоколов на проблемных участках водного пути должна быть обеспечена в пределах планового диапазона:

$$F_i^{max} \geq Y_i \cdot f_i \geq F_i^{min} \quad (9)$$

6. Искомые переменные – судопотоки ледоколов с караванами грузовых судов должны быть неотрицательными величинами:

$$X_{ijlz} \geq 0 \text{ при условии } i \in I \wedge j \in J \wedge l \in L \quad (10)$$

Автором диссертации были проведены исследования по обоснованию приоритетной функции цели при оптимизации работы ледокольного флота в условиях морского бассейна, которые показали, что в качестве критериев решения наиболее целесообразно использовать минимумы суммарных эксплуатационных расходов по ледокольному флоту и грузовым судам за время ледокольных проводок (11) и суммы общего времени ожидания грузовыми судами ледокольных проводок и ледоколами отправления в рейс (12).

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{l \in L} \sum_{z \in Z} (T_{ijlz}^c \cdot C_{ijlz}^c + t_{ijlz} \cdot C_i) \cdot X_{ijlz} \rightarrow \min \quad (11)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{l \in L} \sum_{z \in Z} (T_{ijlz}^c + t_{ijlz}) \cdot X_{ijlz} \rightarrow \min \quad (12)$$

T_{ijlz}^c – общее время ожидания грузовыми судами ледокольных проводок в расчете на одно отправление, сут.;

t_{ijlz} – время ожидания ледокола i -го типа в ТФК за 1 отправление на j -м рейсе из l -го пункта с z -ым караваном судов, сут.;

C_{ijlz}^c – общая стоимость содержания грузовых судов в j -м рейсе из l -го пункта в z -ом караване за ледоколом i -го типа, руб./судо-сут.;

C_i – стоимость содержания ледокола i -го типа в сутки эксплуатации, руб./судо-сут.

Как показали проверочные расчеты, первый критерий является наиболее пригодным при планировании на период от месяца и более, а второй – от суток до месяца.

Приведенная экономико-математическая модель предоставляет возможность в условиях непрерывного планирования «рассчитать» определенное количество возможных вариантов планов.

В третьей главе определены возможности оптимизации технологических процессов работы ледокольного флота в Каспийском бассейне на уровне разработки текущего и оперативных планов.

Реализация методических рекомендаций автора диссертации по оптимизации размера каравана судов была проверена на конкретном примере. В таблице 1 приведены результаты расчетов расходов для разных типов караванов при условии проводки 270 единиц судов за период ледокольных проводок. Количество ледокольных проводок (караванов) за рассматриваемый период меняется от 27 до 135.

Таблица 1 – Суммарные расходы по ледокольному флоту, грузовым судам и организации ледокольных проводок

Количество судов в караване, ед.	Всего проведенных судов в составе караванов, ед.	Количество ледокольных проводок, ед.	Расходы, млн. рублей		
			Расходы по грузовым судам за время следования и ожидания ледокольной проводки	Расходы по ледокольным судам и общего характера	Суммарные расходы по ледокольному флоту, грузовым судам и организации ледокольных проводок
2	270	135	542,4	348,6	891,0
3	270	90	502,9	218,8	721,7
4	270	67,5	555,3	181,8	737,1
5	270	54	634,1	166,0	800,1
6	270	45	720,1	157,1	877,2
7	270	38,6	836,3	155,9	992,2
8	270	33,7	983,1	160,0	1143,1
9	270	30	1138,0	162,9	1300,9
10	270	27,0	1353,1	172,8	1525,9

На рисунке 2 приведена графическая иллюстрация реализации методических рекомендаций. Из него следует, что в рассмотренном примере оптимальным является караван, состоящий из трех судов и одного ледокола при 85-100 проводках.

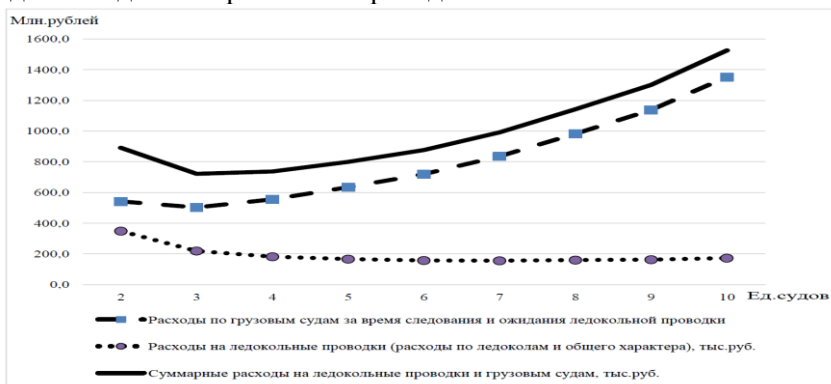
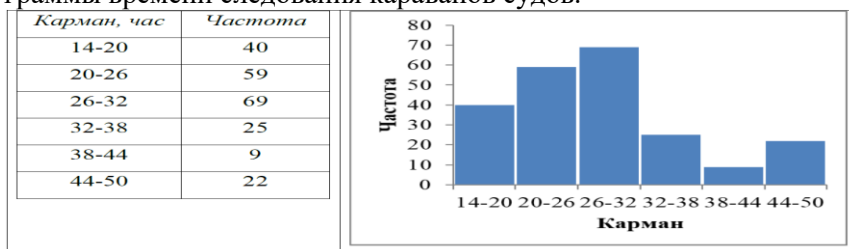


Рисунок 2 – Суммарные расходы участников ледокольной проводки

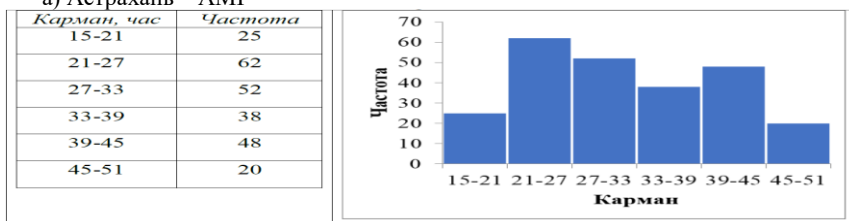
Как известно, качество плановых решений в существенной степени определяется достоверностью исходных данных. В диссертации представлены основные группы информации, необходимой для принятия плановых решений по работе ледокольного флота в зимний период работы. Анализ показал, что в настоящее время в Кас-

пийском бассейне при принятии решений по работе ледокольного флота отсутствует такая информационная составляющая, как нормы следования ледоколов с караванами судов в условиях различных типов навигаций: легкой навигации (мягкая и очень мягкая зима), средней навигации (умеренная зима) и тяжелой навигации (суровая и очень суровая зима).

Автором диссертации были обработаны статистические данные по продолжительности ледокольных проводок с АМР в порты Астрахань, Оля и обратно за 6 лет. На рисунке 3 приведены гистограммы времени следования караванов судов.



а) Астрахань – АМР



б) АМР – Астрахань

Рисунок 3 – Гистограммы распределения времени следования караванов судов

Из рисунка 3 следует, что статистические данные по времени следования караванов относительно среднего значения можно разделить на две области. При этом количество вариантов слева и справа относительно среднего значения примерно одинаково (например, для движения от Астрахани до АМР слева до среднего значения имеется 125 вариантов, а справа после среднего значения – 99 вариант). В результате были определены базовые нормы времени следования ледоколов с караванами судов, приведенные в таблице 2.

Таблица 2 – Базовые нормы времени следования ледоколов с караванами судов

Тип навигации	Базовая норма времени следования ледокола с караваном судов, час.	
	из АМР в Астрахань	из Астрахани в АМР
легкая навигация	25	22
средняя навигация	32	28
тяжелая навигация	41	36

Для проверки работоспособности модели (5)-(10) были сформированы матрицы, учитывающие: рейсы ледоколов из АМР в Астрахань (через Оля) и обратно как с караванами судов (от 1 до 12 единиц грузовых судов), так и без караванов для различных типов навигаций; дежурство ледоколов и их работа на переправах.

Результаты расчетов, выполненных с использованием надстройки «Поиск решения» Microsoft Excel, показали высокую вариативность получаемых решений (планов ледокольного обслуживания) Пример плана работы ледокольного флота в Каспийском бассейне в условиях тяжелой навигации приведен на рисунке 4.

Направление движения АМР-Астрахань					Направление движения Астрахань-АМР						
№ п/п	Рейс	Число ледоколов в караване, ед	Максимальное число грузовых судов в караване, ед.	Число судов, подлежащих провозке из АМР в Астрахань, ед	Число судов, подлежащих провозке из АМР в Оля, ед	№ п/п	Рейс	Число ледоколов в караване, ед	Максимальное число грузовых судов в караване, ед.	Число судов, подлежащих провозке из Астрахани в АМР, ед	Число судов, подлежащих провозке из Оля в АМР, ед
1	АМР - Астрахань	1	4	14		1	Астрахань -АМР	1	6	118	
2	АМР - Астрахань	1	5	101		2	Астрахань -АМР	2	11	40	
3	АМР - Астрахань включая 1 судно из АМР в Оля	1	10	54	6	3	Астрахань - АМР плюс 1 судно из Оля в АМР	1	6	13	3
4	АМР - Астрахань включая 1 судно из АМР в Оля	2	10	36	4	4	Астрахань - АМР плюс 1 судно из Оля в АМР	1	7	34	7
	Всего:			205	10		Всего:			205	10

Дежурство ледоколов 10 судо-суток

Рисунок 4 – План работы ледоколов в Каспийском бассейне

Важнейшим элементом комплексной системы планирования работы ледокольного флота является оперативное регулирование хода транспортного процесса. Автором предлагается формула расчета продолжительности времени следования ледоколов ($t_{\text{рейса}}$) с караваном судов в оперативных условиях:

$$t_{\text{рейса}} = H_6 \prod_{s \in S} k_s, \quad (13)$$

где H_6 – базовая норма следования ледокола, час;

s – индекс поправочного коэффициента; $s \in S$, где S – множество индексов s ;

k_s – значение s -го поправочного коэффициента.

Система поправочных коэффициентов, разработанная автором для условий Каспийского бассейна, приведена в таблице 3.

Механизм принятия оперативных решений при организации ледокольных проводок сводится к следующему:

1. ШЛП до начала активных процессов льдообразования в бассейне с использованием рекомендаций, приведенных ранее, определяет наиболее вероятные оптимальные караваны судов.

2. В оперативных условиях по формуле (13) рассчитывается плановое время рейса формируемого в АМП каравана.

3. Если $t_{\text{рейса}}$ близко по значению базовой норме следования, то ШЛП рекомендует капитану ледокола формирование оптимального варианта каравана.

4. Если $t_{\text{рейса}}$ значительно превышает базовую норму следования, а в портах Астрахань и/или Оля складывается ситуация, ведущая к простою грузовых терминалов, то либо формируется караван с двумя ледоколами, либо при одном ледоколе сокращается число судов в караване.

5. Если $t_{\text{рейса}}$ меньше базовой нормы следования, и терминалы в морских портах к моменту поступления грузовых судов в течение этого времени заняты, то либо скорость судов снижается до значения, соответствующего экономичному режиму движения, либо увеличивается число судов в караване.

На выбор решения влияет большая группа факторов, включая уровень мотивации, степень готовности к риску и порядок действий капитанов судов и членов ШЛП.

Сравнительная оценка решений, полученных на основе методических положений автора диссертации, с действующими методами планирования и оперативного регулирования работы ледокольного флота в зимнюю навигацию 2017–2018 года показала, что при внедрении разработок автора в практику работы АМП «Каспийского моря» может быть получен комплексный эффект:

Таблица 3 - Система поправочных коэффициентов к базовым нормам следования

Тип ледокола	коэффици-циент	Выполняемая операция		Разрушенность льда		Толщина льда		Число судов в караване				
		операция	коэффи-циент	баллы	коэффи-циент	м	коэффи-циент	ед.	коэффи-циент			
проект 1105	0,95	прокладка канала	1,44	0	1,09	0,1	0,72	0	0,64			
				1								
проект 1191	1,05	расширение канала	1,00	1	1,05	0,2	0,81	1	0,66			
				2								
		измельчение льда	0,84	2	1,02	0,3	0,90	2	0,69			
				3						0,98		
				4							1,00	
				5								1,12
			1,45									
				0,7								
					1,45							
						0,8						
							1,68					
			8									
				9								
					10							
						11						
							12					
			1,27									
				1,42								
					1,60							
						1,79						
							2,00					

В качестве примера рассмотрим расчет времени следования ледокола проекта 1105 при движении с караваном судов из АМР в Астрахань в условиях средней по ледовым условиям навигации при прокладке канала и разрушенности льда в 2 балла: $t_{\text{рейса}} = 32 \cdot 0,95 \cdot 1,44 \cdot 1,02 = 44,7$ час.

То же, но при измельчении льда и его разрушенности в канале на уровне 4 баллов: $t_{\text{рейса}} = 32 \cdot 0,95 \cdot 0,84 \cdot 0,95 = 24,3$ час.

– прямой: за счет сокращения времени простоев грузового флота в ожидании и в процессе ледокольных проводок в размере около 12,5 млн. руб. эксплуатационных расходов;

– мультипликативный: за счет сокращения простоев причалов в портах Астрахань и Оля и повышения привлекательности судозаходов для судовладельцев вследствие ускорения оборачиваемости флота при работе с морскими портами Каспийского бассейна.

Основные выводы и результаты работы

Поставленные в диссертации задачи исследования были решены теоретически и реализованы практически. Основными результатами выполненных исследований автор считает следующие:

- Проведен анализ современного состояния теории и практики планирования работы ледокольного флота, который показал, что в настоящее время данному вопросу в научных трудах как отечественных, так и зарубежных ученых уделено мало внимания и нет соответствующих действующих систем поддержки принятия решений, включающих среднесрочное и непрерывное планирование эксплуатации ледоколов.

- Разработаны методические рекомендации в части формирования размеров каравана судов для организации ледокольной проводки в морских бассейнах на основе минимизации расходов по ледокольному и грузовому флоту за время их совместного нахождения в составе каравана.

- Определены базовые нормы следования ледоколов с караванами судов в Каспийском бассейне для трех типов навигаций: легкой, средней и тяжелой.

- Разработана экономико-математическая модель планирования работы ледокольного флота в условиях зимней навигации с целью минимизации времени ожидания ледоколов и грузовых судов и соответствующих расходов.

- Для целей оперативного регулирования предложена формула расчета времени следования ледоколов с караванами судов в конкретных условиях навигации на основе базовых норм и системы корректирующих коэффициентов.

- Выполнена проверка работоспособности предложенных автором методических положений на конкретных примерах.

Основное содержание диссертации и результаты научных исследований опубликованы в следующих работах автора:

Публикации в рецензируемых ВАК РФ изданиях.

1. Абдулатипов, М.А. Роль и проблемы зимней навигации в Волго-Каспийском бассейне / М.А.Абдулатипов, В.К. Калачев В.К., И.К.Кузьмичев //Морской вестник. 2015. № 3 (55). С. 107-108.

2. Абдулатипов, М.А.Оптимизация числа караванов судов за период ледовой проводки /М.А.Абдулатипов, В.К.Калачев// Вестник ВГАВТ. 2017. №51.-С. 93-98.

3. Абдулатипов, М.А. Современное состояние и тенденции организации перевозок водным транспортом России в ледовых условиях// Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока №3-4 2017. С.3-6.

4. Абдулатипов, М.А. Экономико-математическая модель текущего планирования ледокольных проводок в морском бассейне / М.А. Абдулатипов, В.М. Иванов//Вестник ВГАВТ. 2018. №54.-С. 79-85.

Статьи и тезисы докладов.

5. Абдулатипов, М.А. Методический подход к нормированию продолжительности ходового времени ледоколов при организации ледокольных проводок (на примере Каспийского бассейна) / М.А.Абдулатипов, В.И.Жмачинский// Проблемы использования и инновационного развития внутренних водных путей в бассейнах - труды конгресса «Великие реки» 2018, Выпуск 7, 2018г. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://vf-река-море.рф/2018/PDF/102.pdf>. Дата обращения: 05.03.2019.

6. Абдулатипов М.А. В зоне ответственности АМП Астрахань // Морские порты, № 10 (91), 2010. - С. 18-19.

7. Абдулатипов М.А. Организация ледокольных проводок в портах Каспия/ Морские порты России. 2015. № 7. С. 14.

8. Абдулатипов М.А. Современные аспекты непрерывного подхода к планированию работы порта / В.М.Иванов, М.А.Абдулатипов //в сборнике «Современные тенденции развития науки и технологий». 2015. № 2-2. С. 83-86.

9. Абдулатипов М.А. Показатели оценки ледокольных проводок в условиях зимних навигаций в Волго-Каспийском бассейне/ М.А. Абдулатипов, В.К.Калачёв// XIII Прохоровские чтения «Водный транспорт: проблемы возрождения»: сборник статей участников Тринадцатых Прохоровских чтений, Н.Новгород, 1 декабря 2017 г. – Н.Новгород: Издательство «Автор», 2018. С.97-102.