

О. А. Городников, Е. В. Киселёва, П. А. Кузнецов

ОБОСНОВАНИЕ ТИПА
И ХАРАКТЕРИСТИК
ТРАНСПОРТНОГО СУДНА
ДЛЯ ПЕРЕВОЗОК ГРУЗОВ
ПО СЕВЕРНОМУ МОРСКОМУ ПУТИ



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное образовательное учреждение
высшего образования
«Владивостокский государственный университет»

**О. А. Городников
Е. В. Киселёва
П. А. Кузнецов**

ОБОСНОВАНИЕ ТИПА И ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНСПОРТНОГО СУДНА ДЛЯ ПЕРЕВОЗОК ГРУЗОВ ПО СЕВЕРНОМУ МОРСКОМУ ПУТИ

Монография

*Рекомендовано решением
учебно-методической комиссии
ФГБОУ ВО «Владивостокский
государственный университет»*

Владивосток
Издательство ВВГУ
2026

УДК 656.12
ББК 39.48
Г70

Рецензенты: *Е. Н. Гаврюшков*, канд. техн. наук, генеральный директор ООО «АТФ»;
В. Е. Страшко, канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой «Управление транспортными средствами», Инженерно-технический факультет, ЧОУ ВО «Дальневосточный институт коммуникаций»

Городников, Олег Александрович
Г70 **Обоснование типа и характеристик транспортного судна для перевозок грузов по Северному морскому пути : монография / О. А. Городников, Е. В. Киселёва, П. А. Кузнецов; Владивостокский государственный университет. – Владивосток: Изд-во ВВГУ, 2026. – 108 с.**

ISBN 978-5-9736-0771-5

В монографии рассмотрен и обоснован потенциал контейнерных перевозок по Северному морскому пути (СМП); отмечена актуальность развития проекта по созданию Арктической контейнерной линии; проведен анализ условий перевозки грузов по СМП, на основании которого выявлены особенности конструкций судов ледового плавания. В процессе исследования были обоснованы характеристики судов и пределы их варьирования, удовлетворяющие условиям навигации по СМП, на основании которых была создана матрица вариантов судов. Приведены расчеты основных параметров и показателей работы судна, посредством сравнения которых был определен набор характеристик для оптимального типа судна для перевозки грузов по СМП. Разработан широкий ряд вариантов судов, позволяющий более точно выявить зависимости характеристик от условий эксплуатации СМП для определения оптимального типа судна, с учетом конструктивных особенностей контейнеровоза.

Для специалистов, занимающихся вопросами организации и планирования морских перевозок по Северному морскому пути.

УДК 656.12
ББК 39.48

ISBN 978-5-9736-0771-5

© ФГБОУ ВО «Владивостокский государственный университет», издание, 2026
© О. А. Городников, Е. В. Киселева, П. А. Кузнецов, текст, 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	6
ВВЕДЕНИЕ	8
1. АНАЛИЗ УСЛОВИЙ НАВИГАЦИИ СУДОВ И ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ ПЕРЕВОЗОК ГРУЗОВ ПО СЕВЕРНОМУ МОРСКОМУ ПУТИ.....	10
1.1. Характеристика условий перевозки грузов по Северному морскому пути	10
1.1.1. Основные сведения о Северном морском пути как судоходной трассе	10
1.1.2. Внешние условия навигации судов по Северному морскому пути.....	14
1.1.3. Характеристика грузопотоков Северного морского пути	17
1.2. Оценка современного состояния и перспективы развития судоходства по Северному морскому пути	22
1.2.1. Актуальное положение судоходства по Северному морскому пути.....	22
1.2.2. Перспективы развития грузоперевозок по Северному морскому пути	26
2. ОБОСНОВАНИЕ ВАРИАТИВНОГО РЯДА ХАРАКТЕРИСТИК ОПТИМАЛЬНОГО ТИПА СУДНА ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ ГРУЗОВ ПО СЕВЕРНОМУ МОРСКОМУ ПУТИ.....	32
2.1. Обоснование технико-эксплуатационных характеристик транспортного судна для перевозки грузов по Северному морскому пути.....	32
2.1.1. Обоснование грузоподъемности судна.....	33
2.1.2. Обоснование грузоместимости судна.....	35
2.1.3. Обоснование скорости судна	37
2.1.4. Обоснование специализации, типа судовой энергетической установки и архитектурно-конструктивного типа судна	41
2.2. Основные особенности проектирования судов ледового плавания	44
2.2.1. Конструктивные особенности судов ледового плавания	44
2.2.2. Архитектурно-конструктивный тип судна-контейнеровоза	47
3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ ТЕХНИКО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СУДОВ ВАРИАТИВНОГО РЯДА	49
3.1. Определение структуры потенциального контейнеропотока	49
3.2. Расчет основных параметров линии	50
3.3. Определение значений вариативного ряда характеристик	53
3.4. Расчет весовых характеристик судна	57
3.5. Расчет провозной способности судна и потребности в судах.....	60

3.6. Расчет строительной стоимости судна.....	62
3.7. Расчет сметы эксплуатационных расходов судна.....	63
3.8. Расчет экономических показателей работы судна.....	68
3.9. Выбор оптимального типа судна.....	70
3.10. Расчет главных размерений судна	72
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	76
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	78
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	82
Приложение А. Основные характеристики главных портов Северного морского пути	82
Приложение Б. Актуальное положение судоходства по Северному морскому пути	84
Приложение В. Характеристики судна-прототипа.....	87
Приложение Г. Результаты расчета весовых характеристик судна. Графики зависимости дедвейта судна от скорости, мощности и чистой грузоподъемности.....	89
Приложение Д. Результаты расчета провозной способности судна и потребности в судах для освоения грузопотока.....	94
Приложение Е. Результаты расчета строительной стоимости судна.....	97
Приложение Ж. Результаты расчета сметы эксплуатационных расходов судна	98
Приложение З. Результаты расчета экономических показателей работы судна.....	101

ПРЕДИСЛОВИЕ

Проблема развития Северного морского пути (СМП) как судоходной магистрали становится актуальной темой современных научных работ и дискуссий, а формирование эффективно функционирующей арктической транспортной системы выделяется в качестве приоритетной задачи социально-экономического развития Российской Федерации.

В работе исследуется транспортное обеспечение грузоперевозок по Северному морскому пути, в частности транспортные грузовые суда ледового плавания и их характеристики. Цель исследования состоит в определении такого типа и таких характеристик транспортного судна для перевозок грузов по Северному морскому пути, при которых достигаются наилучшие результаты в эксплуатации.

В соответствии с целью исследования в процессе работы необходимо выполнить следующие задачи:

- 1) проанализировать внешние условия эксплуатации, влияющие на организацию судоходства;
- 2) определить требования к конструкции судов, обусловленные условиями навигации;
- 3) определить и обосновать вариативные ряды характеристик по чистой грузоподъемности, скорости и типу судовой энергетической установки;
- 4) рассчитать технико-эксплуатационные и весовые характеристики ряда вариантов судов для перевозки грузов по СМП;
- 5) рассчитать строительно-стоимостные и финансовые показатели эксплуатации судна;
- 6) выбрать оптимальный набор характеристик судна для навигации по СМП из ряда исследуемых вариантов по критерию оптимальности;
- 7) рассчитать главные размерения оптимального типа судна.

В качестве теоретической и методологической базы исследования использовалась отечественная литература, посвященная вопросам проектирования судов для определенных условий эксплуатации, основанная на ключе-

вых положениях теории проектирования и оптимизации судов, теории мореходных качеств. В области изучения методов экономико-эксплуатационного обоснования типов морских судов использовались труды В.Г. Бакаева, А.А. Союзова, В.В. Ашика, А.В. Бронникова. В части проектирования контейнерных судов применялись работы А.И. Гайковича. Вопросы, касающиеся развития СМП и его транзитного потенциала, рассматривались в монографическом исследовании Е.П. Башмаковой.

В ходе исследования применялись как общенаучные, так и специальные методы исследования. К первой группе относятся методы анализа, сравнения, математического моделирования; ко второй группе – методы проектирования и теории устройства судна: метод последовательных приближений, метод вариаций, метод судна-прототипа, методы эксплуатационно-экономического обоснования типа судна.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время Северный морской путь (Севморпуть, СМП) является одним из важнейших стратегических объектов для Российской Федерации, национальной транспортной коммуникацией в арктическом регионе, способствующей дальнейшему развитию экономики северных районов и государства в целом. В соответствии с Государственной программой Российской Федерации «Развитие судостроения на 2013–2030 годы» одним из общегосударственных приоритетных направлений является обеспечение эффективной эксплуатации Северного морского пути и превращение его в национальную транзитную магистраль [15, 29]. Севморпуть дает доступ к богатейшим ресурсам арктического шельфа и месторождениям Сибири, существенно сокращает ресурсные и временные затраты на транзитные грузоперевозки из европейских в азиатские страны. В настоящее время существует тенденция к увеличению объемов морских перевозок грузов по СМП, чему способствует транспортное освоение нефтегазовых месторождений Арктики и потребность в транспортном обслуживании предприятий промышленных комплексов северных районов. Таким образом, необходимость в организации регулярного судоходства по СМП обеспечивается реальными экономическими потребностями: объемами энергоресурсов, транспортировкой углеводородов российскими нефтегазовыми компаниями, транспортировкой продукции горно-металлургической промышленности, а также транспортировкой грузов проекта «Северный завоз» в северные российские регионы.

Распоряжением Правительства Российской Федерации от 30 сентября 2018 г. № 2101-р «Комплексный план модернизации и расширения магистральной инфраструктуры» предусмотрены следующие плановые объемы грузопотоков по СМП: в 2018 г. – 9,9; в 2019 г. – 26; в 2020 г. – 41; в 2021 г. – 51; в 2022 г. – 61; в 2023 г. – 71; в 2024 г. – 80 млн т [22]. Перед Российской Федерацией стоит задача использо-

вать географическое преимущество СМП, превратив его в конкурентоспособную транспортную систему на новой технической и технологической базе, отвечающей требованиям современного судоходства. Решение этой задачи сопряжено с реализацией масштабных и долгосрочных проектов, в первую очередь, в сфере судостроения и развития портовой инфраструктуры.

Решение комплексной задачи освоения СМП требует строительства ледокольного флота, флота транспортных судов ледового плавания, новых технических решений, позволяющих рентабельно перевозить транзитные грузы. При этом условия навигации по Севморпути диктуют жесткие требования к конструкции судов, которые призваны обеспечить наиболее эффективное и безопасное мореплавание во льдах. Развитие Северного морского пути как транспортной магистрали сопряжено с решением задач проектирования судна как внешних, так и внутренних, в совокупности с комплексным исследованием всех составляющих транспортной системы СМП.

Таким образом, действительно существуют устойчивые предпосылки для совершенствования транспортной инфраструктуры СМП, а следовательно, актуальным становится вопрос о нахождении таких технических и технологических условий, при которых обеспечивается наиболее производительная судовая навигация, т. е. остро встает вопрос о подборе оптимального типа судна для осуществления грузоперевозок по СМП.

1. АНАЛИЗ УСЛОВИЙ НАВИГАЦИИ СУДОВ И ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ ПЕРЕВОЗОК ГРУЗОВ ПО СЕВЕРНОМУ МОРСКОМУ ПУТИ

1.1. Характеристика условий перевозки грузов по Северному морскому пути

1.1.1. Основные сведения о Северном морском пути как судоходной трассе

Северный морской путь – элемент арктической коммуникационной сети, являющийся основной судоходной магистралью и важнейшей составляющей экономики Российской Арктики. СМП представляет собой кратчайший судоходный маршрут между Европой и Восточной Азией в арктическом регионе. Отраслью российского судоходства Северный морской путь определяется как «навигационно-рекомендованная трасса от Новой Земли до Берингова пролива» [33], а законодательством Российской Федерации – как «исторически сложившаяся национальная единая транспортная коммуникация России в Арктике» [17]. СМП является главной судоходной магистралью Российской Арктики и одним из важнейших элементов экономики как северного региона, так и страны в целом.

Северный морской путь не имеет общепринятого единого маршрута плавания судов. В зависимости от конкретных ледовых и климатических условий, а также мощности транспортного и вспомогательного флота протяженность маршрута варьируется от 2,2 до 3 тыс. морских миль. Административно Северный морской путь ограничен входами в Новоземельские проливы на западе и меридианом, проходящим на север от мыса Желания, на востоке [33].

Отправная точка Севморпути располагается в Баренцевом море; далее трасса пролегает через моря: Карское, Лаптевых, Восточно-Сибирское и Чукотское. Ключевыми портами СМП являются порты Мурманск,

Архангельск, Сабетта, Игарка, Дудинка, Диксон, Нордвик, Тикси, Певек, Провидения. На рисунке 1.1 представлена схема маршрута Северного морского пути.

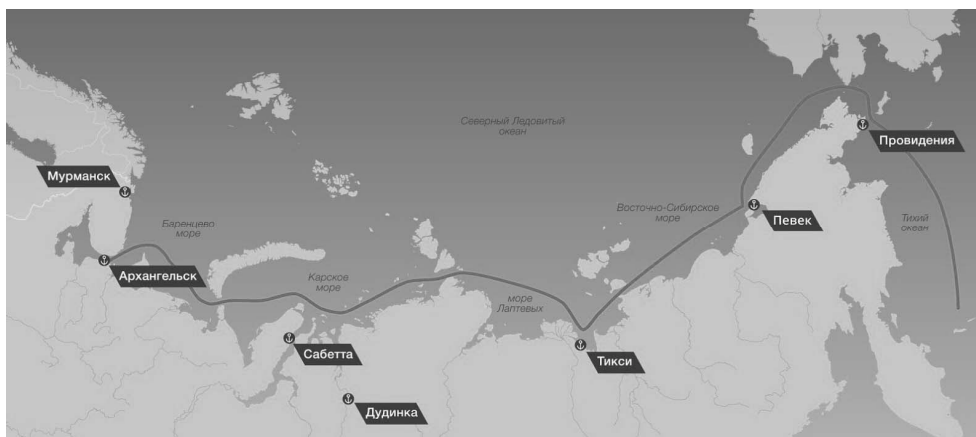


Рис. 1.1 Схема маршрута Северного морского пути

Длина судоходного маршрута СМП от Карских Ворот до бухты Провидения составляет около 5,6 тыс. км (около 3 тыс. морских миль), а расстояние от Санкт-Петербурга до Владивостока – свыше 14 тыс. км (около 7,6 тыс. морских миль), при этом длина альтернативного маршрута через Суэцкий канал насчитывает более 23 тыс. км (12,4 тыс. морских миль). При проходе судна по Северному морскому пути рейс продлится примерно 23 дня, через Суэцкий канал – от 35 до 50 дней.

Северный морской путь обладает рядом существенных преимуществ в сравнении с существующим общепринятым судоходным маршрутом, пролегающим через Суэцкий канал, как для Российской Федерации, так и для мирового судоходства:

- укороченный маршрут, способствующий значительному снижению затрат на содержание судна и экипажа, оплату фрахта, а также сокращению срока доставки груза;
- отсутствие очередей и плат за проход, в отличие от Суэцкого канала;
- исключение риска захвата судов пиратами;
- сокращение рисков физической потери груза, связанной с климатическими особенностями;
- возможность организации судоходства по варианту «река-море»;

- основание для заключения новых торговых соглашений с целью рационального использования возможностей СМП представителями мирового судоходства;

- развитие портовой инфраструктуры прибрежных районов севера.

Однако СМП обладает и рядом недостатков:

- короткий период навигации (круглогодичная самостоятельная навигация возможна только для судов с повышенным ледовым классом);

- необходимость ледовой проводки при недостаточных ледовых качествах грузового судна, ведущая к дополнительным расходам;

- непредсказуемость сроков доставки в связи со сложными климатическими условиями;

- суровая ледовая обстановка, наличие шельфовых зон и мелководья, сложный рельеф дна;

- высокие риски получения повреждений судами;

- необходимость в специальной подготовке персонала и оснастке судна для работы в суровых климатических условиях.

Анализируя преимущества и недостатки СМП по отношению к южному проходу через Суэцкий канал, стоит отметить, что с финансовой точки зрения проблемы судоходства нивелируются выгодами, которые предлагает Севморпуть.

Потребность в освоении СМП обусловлена рядом факторов:

- слабая разветвленность либо отсутствие наземных круглогодично эксплуатируемых коммуникаций в северных регионах, что непосредственно влияет на нормальную жизнедеятельность населения;

- возможность организации судоходства по типу «река-море», способствующего преобразованию морского, внутреннего водного и железнодорожного транспорта в единый интермодальный комплекс;

- контроль над морскими акваториями, потенциально богатыми природными ресурсами;

- выгодное положение СМП с точки зрения каботажного судоходства между северо-западными и дальневосточными регионами России, а также организации международных транзитных перевозок между европейскими портами и портами Тихоокеанского региона по отношению к южным морским транспортным коридорам, пролегающим через Суэцкий и Панамский каналы;

– важная роль СМП в снабжении товарами, обеспечивающими нормальную жизнедеятельность населения северного побережья, а также сырьем и оборудованием, способствующими четкому функционированию промышленных комплексов региона.

С целью рационального использования СМП как судоходной магистрали в первую очередь решаются задачи транспортного и инфраструктурного развития региона [28]. Транспортная система СМП является сложнейшей структурой с точки зрения ее технического и технологического обеспечения, а также организационно-экономического порядка [1].

Для достижения наибольшей результативности эксплуатации судна в условиях СМП необходим комплексный подход в исследовании возможностей и рисков при организации морских грузоперевозок, для чего в совокупности исследуются факторы, представленные в табл. 1.1, являющиеся составляющими транспортной системы СМП.

Таблица 1.1

Факторы транспортной системы СМП

Фактор	Исследуемые показатели
Природно-климатические условия	Состояние ледового покрова (распространение, толщина, сплоченность, стадия таяния льдов и т. д.), температурный режим и количество осадков, сила и направление ветров и другие климатические особенности
Состояние отечественной добывающей и обрабатывающей промышленности	География и объемы запасов полезных ископаемых арктического шельфа, зоны формирования и поглощения грузопотоков, состояние глобальных сырьевых рынков, структура грузопотоков и т. п.
Состояние портовой и транспортной инфраструктуры	География северных портов России, их возможности по классу обслуживаемых судов, метеорологическое и гидрографическое обеспечение и т. п.
Состояние торгового и ледокольного флота	Наличие отечественных судов ледового класса, их мощности, состояние и структура ледокольного флота
Организационно-экономическая инфраструктура	Тарифная политика в области ледовой проводки и лоцманского сопровождения
Государственное регулирование	Правовой статус Северного морского пути, организация и режим судоходства по акватории Арктических морей

Транспортная система СМП является сложнейшим технико-технологическим и организационно-экономическим образованием [4]. Как у морской транспортной коммуникации ее функционирование определяется комплексом природно-климатических, материальных, экономических, правовых и других факторов, влияющих на доставку грузов от поставщика к потребителю. Совершенствование транспортной системы – одно из приоритетных направлений развития всего СМП.

1.1.2. Внешние условия навигации судов по Северному морскому пути

Внешние условия навигации исследуются при решении внешней задачи проектирования судна; включают такие параметры, как:

- общая характеристика трассы морского пути, включая моря, по которым он проходит (протяженность трассы, наличие каналов и узкостей, участков, где ограничена скорость движения судов, участков с ограниченными глубинами);
- важнейшие навигационные условия на трассе, определяемые господствующими ветрами и течениями, ледовой обстановкой, продолжительностью навигационного периода, а также температурный режим, обуславливающий требования к системам кондиционирования, отопления и воздухоосушения на судне;
- характеристика портов захода, их специализация, глубина на акватории и у причалов, возможность обработки судов в порту, наличие и возможность получения снабжения, нормы грузовых работ, портовые сборы.

Анализ внешних условий эксплуатации является одним из первоочередных этапов обоснования типа судна для нового направления перевозки грузов, в частности для СМП; позволяет определить такие требования к судну, как доступный район плавания, ограничения по осадке судна, конструктивные особенности судна: архитектурно-конструктивный тип, расположение надстроек, грузоподъемность судна, тип силовой энергетической установки [3].

Северный морской путь – морская транспортная трасса, пролегающая через арктические моря, такие как: Карское, Лаптевых, Восточно-Сибирское, Чукотское и Берингово море вдоль Северного Евразийского побережья, которые отличаются низкими температурами, частыми штормами и сильными ветрами, сложной ледовой обстановкой, а также нерав-

номерностью глубин и рельефов. В таблице 1.2 представлена навигационная характеристика морей, по которым пролегает трасса СМП [27].

Таблица 1.2

Характеристика условий навигации судов по морям СМП

Море	Климат	Рельеф дна	Ледовая обстановка
Карское море	Холодный полярный климат. Для осенне-зимнего периода характерны резкие изменения температур, сильные ветры, частые штормы. Средняя температура воздуха – от –20 до –28 °С (осень – зима). Для весенне-летнего периода характерны частые дожди и туманы, возможны снегопады. Температура воздуха – от +1 до +6 °С (весна – лето)	Большая часть занята материковой отмелью с глубинами менее 100 м, около 40 % – глубины менее 50 м, по площади дна распределены впадины с глубинами 80–100 м и банки, где глубина составляет 8–15 м	В северной части льдообразование начинается в сентябре, лед стоит круглогодично, толщиной до 0,5–1,5 м. В южной части льдообразование начинается в октябре, лед стоит 7–8 месяцев, таяние льда начинается в мае – июне
Море Лаптевых	Арктический континентальный климат. Сильные метели, частые штормовые ветры. Средняя температура воздуха – от –31 до –34 °С (осень – зима). Пасмурная, дождливая погода с плотными туманами. Средняя температура воздуха – от 0 до +4 °С (весна – лето)	Более половины (53 %) занимает пологая мелководная материковая отмель с глубинами до 50 м, севернее дно резко углубляется до ложа океана глубиной до 1 км, в южной части глубины не превышают 25 м	С октября по май море покрыто льдом. Льдообразование происходит по всей площади моря одновременно. Начало нарастания льда – сентябрь – октябрь. Таяние льда начинается в июне – июле
Восточно-Сибирское море	Полярный морской климат. Спокойная, ясная погода, редко возникают ветры. Средняя температура воздуха – от –28 до –30 °С (осень – зима). Пасмурная погода с мелким морозящим дождем (снегом), сильные ветры. Средняя температура – от 0 до +2 °С (весна – лето)	Равнинное дно, без впадин и возвышенностей, преобладают глубины, не превышающие 20–25 м, восточная часть моря – более глубоководная, но ее глубины не превышают 50 м	Море полностью покрыто льдом с октября – ноября до июня – июля. Особенности льдов – хорошо развитый припай (толщиной до 2–3 м). Обширную часть на востоке занимает ледяной массив, состоящий из тяжелых многолетних льдов

Море	Климат	Рельеф дна	Ледовая обстановка
Чукотское море	Полярный климат. Пасмурная погода с порывистыми ветрами. Средняя температура воздуха – от –25 до –27 °С (осень – зима). Холодная, пасмурная погода с дождем. Средняя температура – от +2 до +4 °С (весна – лето)	Ровное дно, поднимающееся по краям. Глубины колеблются от 40 до 60 м. В южной части расположены большие мелководные заливы с глубинами менее 20 м	Море полностью покрыто льдом с ноября по июнь. По всей территории встречаются дрейфующие льды. В северной части наблюдаются тяжелые многолетние льды
Берингово море	Арктический климат. Пасмурная, снежная погода с частыми штормами. Средняя температура воздуха – от –15 до –20 °С (осень – зима). Пасмурная погода с частыми туманами. Средняя температура – от +3 до +14 °С (весна – лето)	Шельфовая зона с глубинами до 200 м занимает более 40 % площади. Около 50 % занимает обширная пологая равнина с глубинами 600–1000 м. В северо-восточной части располагается крупная материковая отмель шириной свыше 400 миль	Льдом покрыто 80–90 % поверхности. Ледообразование начинается в октябре. Таяние льдов наблюдается с апреля. К концу июня море освобождается ото льда

На арктическом бассейне России расположены порты, занятые в основном перевалкой внешнеторговых и каботажных грузов. Наиболее значимые с точки зрения обеспечения транспортных связей порты бассейна условно подразделяются на две группы:

а) порты, имеющие железнодорожные подходы и, как следствие, связанные с российской транспортной системой (Мурманск, Архангельск). Порты данной группы переваливают большую часть грузов, проходящих через бассейн (более 7 %);

б) порты, расположенные в местностях, где отсутствуют сухопутные коммуникации, и в настоящее время обеспечивающие перевалку грузов для обеспечения жизнедеятельности рядом расположенных населенных пунктов, а также обслуживающие потребности промышленных предприятий (Сабетта, Тикси, Певек, Провидения).

Порты арктического бассейна, за исключением Мурманска с незамерзающей акваторией, расположены в климатической зоне с экстремально низкими температурами, вследствие чего для обеспечения нормальной

работы им необходимы портовые ледоколы. Доставка грузов в порты большую часть года осуществляется под ледовой проводкой ледоколов.

Через арктические порты РФ проходят грузы государственной программы «Северный завоз», осуществляемой для обеспечения жизнедеятельности народов, населяющих северное побережье, и освоения природных богатств обширных территорий. Российские арктические порты также характеризуются особенной функцией, заключающейся в обслуживании Северного морского пути, рост грузопотоков которого создает основания для поиска путей модернизации инфраструктуры по обслуживанию судов (бункеровке, снабжению, аварийному ремонту и т. д.).

В таблице П.А.1 представлены основные характеристики важнейших морских портов СМП.

1.1.3. Характеристика грузопотоков Северного морского пути

Необходимость развития судоходства по Северному морскому пути обуславливается наличием и устойчивым ростом объемов грузовых потоков, которые, в свою очередь, также являются основополагающим критерием при обосновании типа судна для перевозки грузов на конкретном направлении. Грузовым потоком (грузопотоком) называют направленное движение товаров определенного объема и номенклатуры, имеющее точки возникновения и погашения.

Такая сложная система, как Северный морской путь и его грузопотоки, зависит от множества различных факторов, большинство из которых достаточно динамичны и сложно прогнозируемы. Грузовые потоки характеризуются направлением, объемами и структурой и оказывают существенное влияние на форму организации работы флота и его эффективность.

Динамика грузоперевозок по Северному морскому пути в большей степени зависит от потребностей и промышленного освоения, а также деятельности предприятий, находящихся в зонах формирования грузовой базы. В состав основных предприятий, использующих трассы Севморпути для доставки сырья и вывоза продукции, входят горно-металлургический и горно-химический комплекс Кольского полуострова, нефтегазовый комплекс Арктики (программа «Ямал-СПГ», «НОВАТЭК», «Газпром-нефть», «Лукойл», «Роснефть»), Норильский промышленный район («Норильский никель»), добывающая промышленность Якутии, Красноярского края, Чукотки [1]. На рисунке 1.2 представлена география распределения объектов, формирующих грузовую базу СМП.

Рис. 1.2. Территориальное распределение зон формирования грузовой базы СМП

В последние годы отмечается стабильный ежегодный прирост в объемах перевозимых по Севморпути грузов. Повышению данного показателя способствуют такие факторы, как растущая потребность добывающей и обрабатывающей промышленности в вывозе массовой продукции, расположенных в северных регионах России, повышение мощностей новых как транспортных, так и вспомогательных ледокольных судов, облегченная ледовая обстановка ввиду глобальных климатических изменений и другие немаловажные явления.

О повышении количества перевезенного по СМП груза свидетельствует официальная статистика. В таблице 1.3 представлены годовые объемы перевозок грузов по Северному морскому пути, в том числе транзит, за период 2014–2019 гг.

Таблица 1.3

Объемы грузоперевозок по СМП за 2014–2019 гг.

Год	Количество перевезенного по СМП груза			
	Всего, тыс. т	Δ, %	Транзитом, тыс. т	Δ, %
2014	3982,1	–	274,3	–
2015	5431,7	+66,67	39,6	–85,7
2016	7480,2	+40,00	214,5	+448,72
2017	9932,0	+28,57	194,4	–9,35
2018	20 180,2	+122,22	491,3	+153,09
2019	31 531,2	+55,00	697,3	+41,96

Данные таблицы 1.3 свидетельствуют о росте грузооборота СМП. Повышению объемов грузоперевозок способствовало транспортное освоение нефтегазовых месторождений Арктики, транспортное обслуживание предприятий Норильского промышленного узла, введение в эксплуатацию в конце 2017 г. объектов проекта «Ямал СПГ». Импульсом также послужило внесение поправок в Федеральный закон № 155 «О внутренних морских водах, территориальном море и прилегающей зоне Российской Федерации», что определило законодательное закрепление границ СМП и создание ФГКУ «Администрация СМП», обеспе-

чивающего безопасность мореплавания в акватории СМП, в том числе мониторинг и информационное сопровождение ледокольных и ледовых лоцманских проводок [16].

Подавляющая часть перевозимых по СМП грузов являются экспортными или каботажными. Грузопотоки в основном характеризуются сырьевой направленностью. В структуре грузов, транспортируемых по Северному морскому пути, в 2019 г. преобладали следующие виды:

- нефтепродукты (49,12 %);
- уголь, кокс (17,60 %);
- сжиженный природный газ (16,38 %);
- генеральные грузы (5,21 %);
- руды (4,05 %);
- химические и минеральные удобрения (4,41 %);
- прочие грузы (3,23 %).

На рисунке 1.3 представлена диаграмма, отображающая распределение грузов по видам в структуре грузооборота арктических портов.

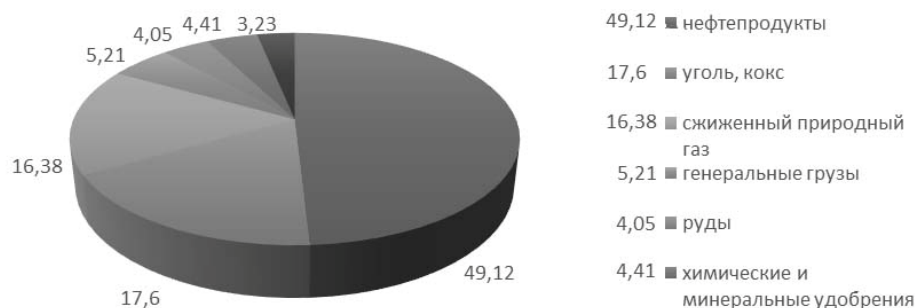


Рис. 1.3. Номенклатурная структуризация грузоперевозок по СМП за 2019 г., %

Доля транзита в структуре объема всех перевозок по Северному морскому пути показывает значительную изменчивость и нестабильность. Перевозки транзитных грузов сильно уступают в объемах экспортным и каботажным, что объясняется в основном политическими факторами, а также достаточно сложным разрешительным порядком навигации иностранных судов в акватории СМП со стороны России ввиду правового статуса пути. Динамика изменения транзитных перевозок по отношению к общему объему транспортируемых грузов отражена на рис. 1.4.



Рис. 1.4. Динамика объемов грузопотоков СМП за 2014–2019 гг.

Анализируя диаграмму, можно прийти к выводу о том, что, несмотря на прирост объемов за последние несколько лет, транзитные перевозки имеют крайне малую долю в общей структуре грузопотоков. Нестабильность объема транзитных перевозок обусловлена такими факторами, как экономический кризис, строительство второго русла Суэцкого канала, а также экономические санкции и ухудшение политических отношений с западными странами, в связи с чем произошло сокращение торговли России с Западом, что привело к падению транзитных перевозок по СМП.

Использование СМП в качестве морской транспортной магистрали имеет важное значение для функционирования хозяйственных комплексов и обеспечения жизнедеятельности населения северных регионов в виде «северного завоза», который определяется как завоз продукции в районы Крайнего Севера и приравненных к ним местностей. Северный завоз практически полностью осуществляется водным транспортом (около 15 % объема грузов, относящихся к северному завозу, доставляются морским транспортом и более 85 % по рекам) [18].

Таким образом, на основании вышесказанного можно сделать вывод о том, что в структуре грузопотоков по Северному морскому пути преобладают в первую очередь как экспортные перевозки сырья и готовой продукции отечественной добывающей и перерабатывающей промышленно-

сти, так и перевозки, связанные с нуждами государства в сфере обеспечения благосостояния населения северных регионов.

Транзитные грузоперевозки иностранными перевозчиками составляют малую долю грузооборота СМП, что свидетельствует о том, что расширение судоходства за счет транзита представляется крайне незначительным и маловероятным.

Согласно прогнозу Министерства транспорта РФ, сформированному на начало 2019 г., грузооборот Северного морского пути в течение четырех лет вырос незначительно (до 26 млн т в 2019 г. и до 32 млн т – в 2022 г.); в 2023 г. увеличился сразу на 13 млн т, до 45 млн т, а в 2024 г. скачок произошел почти в два раза до 80 млн т [22].

Увеличение грузооборота Севморпути до 80 млн т в 2024 г. предусмотрено майским указом Президента РФ, но ранее специалисты прогнозировали более плавный рост. Так, Минприроды утверждало, что по итогам 2019 г. по СМП будет поставлено 30 млн т, в 2021 г. – 37 млн т, в 2023 г. – 58 млн т, в 2024 г. – 82 млн т. Министерство по развитию Дальнего Востока и Арктики ожидало постепенный рост в 2019–2022 гг. до 46 млн т, а затем его ускорение до 66 млн т в 2023 г. и до 95 млн т в 2024 г. [32].

Такие позитивные прогнозы специалисты связывали с активизацией добывающей промышленности в арктических регионах России, модернизацией способов разработки шельфовых месторождений, упрощающих добычу ресурсов и увеличивающих производительность отрасли, развитием международных программ сотрудничества в топливно-энергетической сфере по снабжению российскими полезными ископаемыми стран-партнеров, усилением мощностей ледокольного флота, обеспечивающего возможность круглогодичной навигации судов с большим водоизмещением.

1.2. Оценка современного состояния и перспективы развития судоходства по Северному морскому пути

1.2.1. Актуальное положение судоходства по Северному морскому пути

Объем грузоперевозок по Северному морскому пути в 2019 г. значительно увеличился и составил 31,5 млн т, превысив таким образом аналогичный показатель 2018 г. на 55%. Увеличение объемов грузоперевозок по

СМП является прямым следствием роста совершенных рейсов судов благодаря техническому расширению инфраструктуры, а также усилению прочностных характеристик флота транспортных и обслуживающих судов.

По данным сервиса «Информационное бюро Северного морского пути», всего за 2019 г. по акватории СМП было совершено 2457 рейсов судами различной специализации. В таблице П.Б.1 указано количество рейсов с распределением по типам судов и ледовым классам за 2019 г. Анализируя данные таблицы, можно сделать вывод о том, что подавляющее число рейсов было совершено судами усиленного ледового класса Arc7 (1030 рейсов или 41,92 % от общего числа), характеризующего возможность самостоятельного плавания при осложненной ледовой обстановке. Ввиду особенностей структурного распределения номенклатуры перевозимых по СМП грузов наибольшее число рейсов (719) было совершено наливными судами (танкерами), предназначенными для перевозки нефти и нефтепродуктов. За танкерами следуют суда для перевозки генеральных грузов, осуществившие 546 рейсов за 2019 г. Судами-газовозами было проделано в совокупности 509 рейсов [12].

За 2018 г. по акватории СМП было совершено в совокупности 573 рейса. В таблице П.Б.2 представлено число рейсов, совершенных судами различных типов и ледовых классов за 2018 г.

За 2018 г. подавляющее число рейсов было совершено танкерами (244 рейса или 42,58 % от общего количества), при этом среди них, как и в общем, преобладают суда усиленного ледового класса Arc7 (92 рейса наливных судов и 197 рейсов в общей сложности). За 2018 г. не было совершено ни одного промыслового рейса.

В целом видно, что за год количество рейсов, совершенных судами по СМП, значительно возросло – показатель увеличился более чем втрое (на 328,8%), или на 1884 пункта, с 573 рейсов в 2018 г. до 2457 в 2019 г. Такой стремительный рост свидетельствует о высоком спросе на транспортные услуги в северном регионе. На рисунке 1.5 представлена диаграмма, позволяющая наглядно сравнить количество рейсов, совершенных судами различных типов по СМП, за 2018 и 2019 гг.

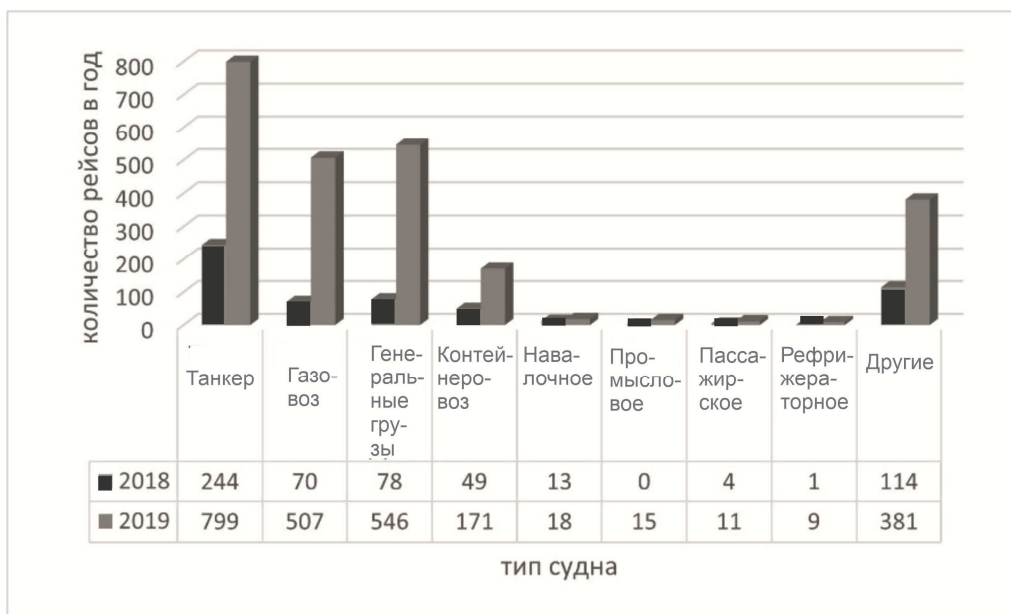


Рис. 1.5. Количество рейсов, совершенных судами различных типов по СМП

По данным диаграммы видно, что рост числа проделанных рейсов в 2019 г. оказался крайне резким и большим. Наибольшие изменения наблюдаются в перевозках посредством следующих типов судов:

- танкеры: общее количество рейсов возросло больше чем вдвое, на 555 пунктов (на 227,5%);
- газовозы: общее количество рейсов возросло более чем в 6 раз, на 437 пунктов (на 624,3%);
- суда, перевозящие генеральные грузы: общее количество рейсов возросло в 6 раз, на 468 пунктов (на 624,3 %).

На рисунке 1.6 представлена диаграмма, позволяющая наглядно сравнить количество рейсов, совершенных судами различных ледовых классов по СМП, за 2018 и 2019 гг.

По данным диаграммы видно, что наиболее крупный рост числа совершенных рейсов по СМП в 2019 г. наблюдался среди судов усиленного ледового класса Arc7, суммарное количество рейсов которых увеличилось более чем в 4 раза, на 833 пункта. Достаточно сильный рост виден также при навигации по СМП судов арктических классов Arc4 (на 370 рейсов) и Arc5 (на 226 рейсов). Повышение данного показателя связано с реализацией государственных программ по расширению техни-

ческих возможностей флота судов, предназначенных для полярного плавания, а также целей стратегий развития арктического региона, в том числе судоходства по нему [18, 19].



Рис. 1.6. Количество рейсов, совершенных судами различных ледовых классов по СМП

С точки зрения транзитного потенциала Северного морского пути стоит отметить, что в 2019 г. через СМП прошло 29 транзитных судов, совершивших в общей сложности 37 рейсов, большинство из которых было выполнено судами ледового класса Arc4 (17 рейсов), за ними следуют суда ледового класса Ice1 (6 рейсов), далее – Ice3 и Arc5 (по 5 рейсов каждый). При этом за 2018 г. СМП пересекли 24 судна, выполнивших в совокупности 27 рейсов. На рисунке П.Б.1 представлены основные направления транзитных рейсов по СМП.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что основными направлениями транзитных перевозок по СМП являются:

- 1) каботажные перевозки из северных портов (Санкт-Петербург, Архангельск, Мурманск) в восточные порты (Петропавловск-Камчатский, Анадырь, Ванино, Владивосток);
- 2) транзитные перевозки из портов Европы в порты восточного побережья России, а также порты Китая, Кореи и Японии;

3) транзитные перевозки из портов Китая и Японии в европейские и северные порты России.

Мировой рынок транспортных услуг на сегодняшний день характеризуется четко отслеживаемой тенденцией контейнеризации все большей номенклатуры грузов. Морские перевозки контейнеров – это один из наиболее эффективных способов доставки как генеральных, так и насыпных и наливных грузов на значительные расстояния. Контейнерные перевозки обеспечивают бесперевалочный транспортный цикл, что, в свою очередь, способствует более сохранной и быстрой доставке. Современное информационное, техническое и технологическое обеспечение контейнерных перевозок создает комплексную систему доставки, в значительной степени облегчающей весь процесс транспортировки. Сегодня более 60 % всего объема перевозимого по мировым путям сообщения груза затарено в контейнеры.

1.2.2. Перспективы развития грузоперевозок по Северному морскому пути

В условиях критической загруженности внутренних железнодорожных сетей Российской Федерации, а также их слабой разветвленности или полного отсутствия в некоторых регионах страны отмечается тенденция к перераспределению грузопотоков с сухопутного транспорта на водный. Пропускная способность российских железных дорог в нынешнем их положении не удовлетворяет потребности рынка транспортных услуг в эффективной перевозке существующего и потенциального объема грузопотоков.

Внутренняя транспортная система России характеризуется следующими особенностями:

- большая часть территории центральных и северо-восточных регионов России, где расположены крупные добывающие и обрабатывающие промышленные предприятия, не обеспечена транспортными связями для вывоза крупных объемов продукции;
- железнодорожная сеть крайне слабо развита для удовлетворения потребностей высокого спроса на транспортные услуги;
- пропускная способность, техническое состояние и протяженность автомобильных дорог не способны обеспечить перевозку большого объема грузов.

При рассмотрении транспортного потенциала Северного морского пути особое внимание уделяется контейнерным перевозкам. Специалистами разрабатываются проекты по созданию крупных транспортных узлов на базе отечественных морских портов северного побережья, соединяющих в единый логистический комплекс железнодорожные, автомобильные, речные и морские пути сообщения с целью организации наиболее эффективной логистической цепи. Одним из таких проектов является исследовательская работа Центрального научно-исследовательского и проектно-конструкторского института морского флота по созданию Арктической контейнерной линии (АКЛ) [10]. Данная работа посвящена исследованию путей формирования оптимального для экономики РФ транспортного коридора по направлению из европейской части России на Дальний Восток в прямом смешанном железнодорожно-морском (мультимодальном) сообщении за счет переключения на СМП преобладающей части маршрута.

В период с 2015 по 2019 г. в дальневосточные российские порты, расположенные на Камчатке, Курильских островах, в Магаданской области и Хабаровском крае, из европейской части России было завезено около 2 млн т потенциально контейнеризируемых грузов, в том числе в контейнерах – на уровне 1,2 млн т [10].

Используемый на сегодняшний день маршрут Москва – Владивосток – Петропавловск, соединенный Транссибирской магистралью, протяженностью 6340 миль (11 740 км), из которых морская часть составляет 21 %, занимает 30–40 суток ввиду загруженности российских железных дорог. Проект АКЛ подразумевает замену существующего маршрута на маршрут Москва – Мурманск – Петропавловск протяженностью 5240 миль (9700 км), из которых морская составляющая достигает 80 %, что позволит на основном отрезке пути использовать более дешевые по себестоимости перевозки крупнотоннажные грузовые транспортные средства – суда-контейнеровозы.

Переключение грузопотока на СМП сократит общее расстояние до 5240 миль, а транзитное время до 20–25 суток, а также снизит ставку на перевозку контейнера благодаря эффекту масштабности. На рисунке 1.7 представлен маршрут АКЛ.



Рис. 1.7. Маршрут АКЛ

Осуществление проекта АКЛ значительно снизит критическую загруженность Байкало-Амурской и Транссибирской магистралей, что позволит расширить ресурсы транспортного обслуживания железнодорожным транспортом для внешней торговли Российской Федерации и транзитных грузов иностранных фрахтователей.

Формирование АКЛ основывается на государственных проектах. Стратегии Министерства транспорта РФ предусматривают строительство глубоководных контейнерных терминалов в портах Мурманск и Петропавловск. В 2015 г. также была достигнута договоренность с КНР о реализации транспортного проекта «Белкомур», в котором предусмотрено строительство глубоководных грузовых терминалов в порту Архангельск.

Сложившаяся потенциальная грузовая база, насчитывающая не менее 2 млн т контейнеропригодных грузов, определяет достаточное основание для организации постоянно действующего арктического линейного сервиса с использованием маршрутов СМП. Основу грузовой базы Арктической контейнерной линии в акватории Северного морского пути составляют следующие направления морских перевозок:

- каботажные перевозки между российскими портами (Мурманск, Петропавловск-Камчатский, Владивосток, Восточный, Магадан);
- импортные перевозки между российскими и азиатскими портами (Мурманск, Петропавловск-Камчатский);
- транзитные перевозки между российскими портами-хабами (Мурманск, Петропавловск-Камчатский);
- транзитные перевозки между портами Северной Европы и Азией.

Номенклатура потенциального грузопотока на направлении Мурманск – Петропавловск-Камчатский, исходя из структуры настоящего грузооборота портов за 2019 г., представлена на рис. 1.8.

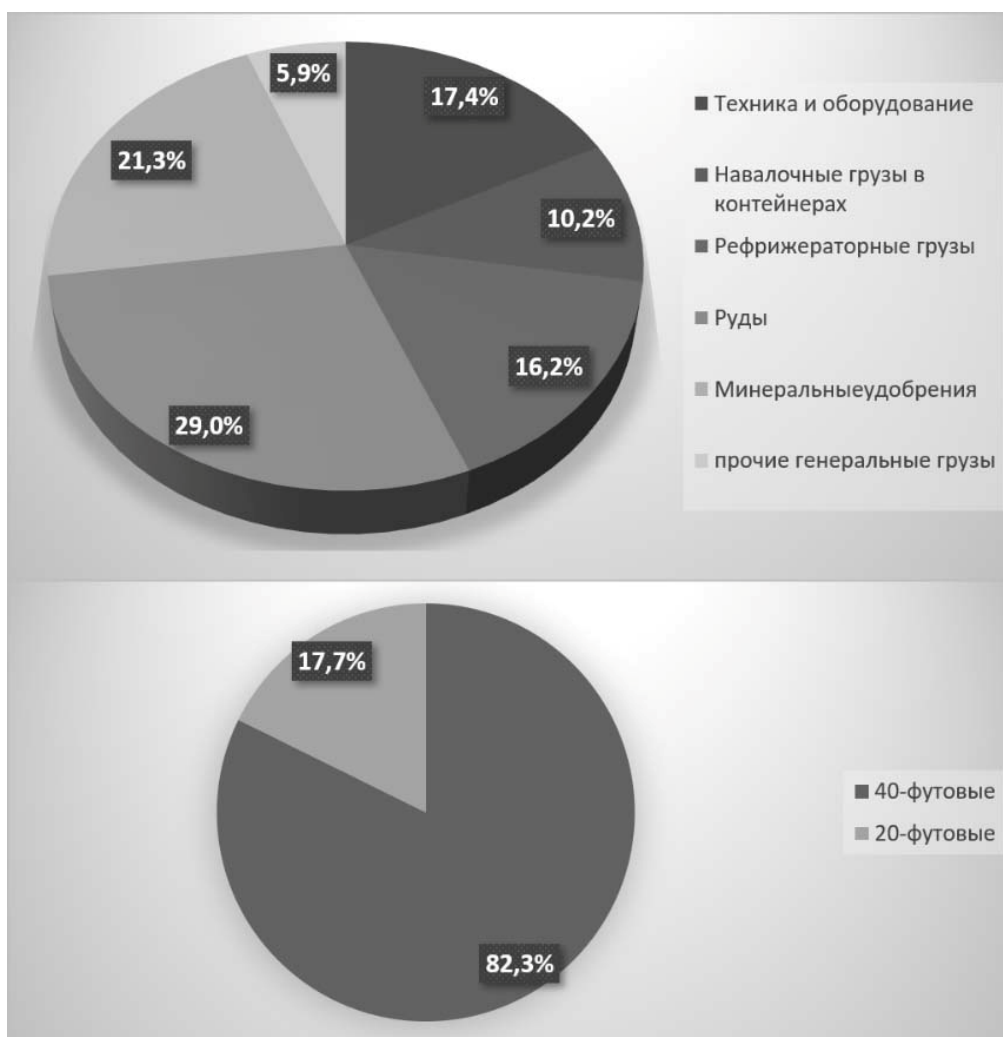


Рис. 1.8. Структура потенциального грузооборота АКЛ

Однако российские каботажные грузы не смогут обеспечить необходимую загрузку контейнерной линии в полной мере для ее экономически обоснованной работы. Решением данной задачи становится проект по созданию двух крупных портов-хабов на севере (Мурманск) и Дальнем Востоке (Петропавловск-Камчатский), которые будут выполнять роль перевалочных центров, связывающих европейскую часть России и Дальний Восток, Европу и Азию, и смогут обеспечить сбалансированную работу контейнерной линии с использованием челночного контейнеровоза ледового плавания, курсирующего между ними. Предпосылками для создания таких портов-хабов на сегодняшний день выступают проекты по строи-

тельстве контейнерного терминала мощностью 1 млн TEU в рамках стратегии комплексного развития Мурманского транспортного узла (МТУ) и планы по реконструкции порта Петропавловск-Камчатский, связанные с созданием территории опережающего социально-экономического развития «Камчатка» (ТОСЭР «Камчатка») [22].

Все маршруты контейнерных линий, связывающих Европу и Азию, проходят по Южному морскому пути через Суэцкий канал. Таким образом, создание альтернативного транспортного коридора с использованием Северного морского пути для перевозки контейнерных грузов может привлечь часть транзитной грузовой базы, идущей в настоящее время через Суэц.

2. ОБОСНОВАНИЕ ВАРИАТИВНОГО РЯДА ХАРАКТЕРИСТИК ОПТИМАЛЬНОГО ТИПА СУДНА ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ ГРУЗОВ ПО СЕВЕРНОМУ МОРСКОМУ ПУТИ

2.1. Обоснование технико-эксплуатационных характеристик транспортного судна для перевозки грузов по Северному морскому пути

Решение задач обоснования технико-эксплуатационных характеристик (ТЭХ) и типа судна осуществляется в составе комплексных исследований по проектированию при организации новых линий, перевозок новых грузов, а также исследований, имеющих целью подготовить предложения к судостроительной программе по морскому транспортному флоту на перспективу [3].

Решение каждой задачи обоснования ТЭХ и типа нового судна производится с учетом основного назначения, которое устанавливается в зависимости от параметров линий, транспортных характеристик грузов, потребностей промышленности и населения прибрежных районов [20].

Задача обоснования ТЭХ характеризуется комплексностью, что выражается в вариативном подходе к ее решению, т. е. разделении по отдельным признакам понятия «тип судна» на функциональные, варьирующиеся по таким показателям, как грузоподъемность, грузовместимость и скорость, а также на варианты, определяющие самостоятельные технические решения: специализация, тип судовой энергетической установки (СЭУ) и архитектурно-конструктивный тип судна [2]. Разработка вариантов является наиболее сложным и ответственным этапом решения задачи обоснования ТЭХ, так как существует достаточно крупный ряд признаков, характеризующих тип судна, на основе которого и подбираются варианты [7, 8].

Процесс разработки вариантов осложняется достаточно сильной связью критериальных показателей и ТЭХ судна. С одной стороны, в случае,

когда варьирование строится на отдельных самостоятельных технических решениях, число вариаций ограничивается уровнем развития техники и возможностями применения их в конкретных исследуемых условиях. С другой стороны, в случаях одновременного рассмотрения нескольких ТЭХ количество вариантов возрастает пропорционально числу примеров по каждой характеристике [13].

Сокращения числа вариантов можно добиться с помощью установления определенных ограничений – границ варьирования, которые определяются путем анализа технической возможности и эксплуатационной целесообразности включения того или иного варианта в расчеты, т.е. логически. Выбор границ варьирования основывается на предположении, что оптимальное значение по общему критерию лежит в близких пределах от оптимального значения по частному критерию.

В данном исследовании для обоснования типа транспортного судна, предназначенного для перевозки грузов по СМП, применяется варьирование по грузоподъемности судна, скорости и типу СЭУ [5].

2.1.1. Обоснование грузоподъемности судна

Грузоподъемность судна определяется величиной, характеризующей массу груза, которую оно способно принять на борт, и является переменным показателем в каждом рейсе, зависящим от количества запасов воды, топлива, продовольствия и других расходных материалов. Грузоподъемность судна как характеристика, определяющая его тип, является ведущей в отношении уровня экономических показателей, так как при исключении из анализа ограничений по условиям плавания, нормам грузовых работ и грузопотокам соблюдается условие, что чем больше грузоподъемность, тем выше экономические показатели эксплуатации судна [24]. Данный факт выражается в том, что строительная стоимость судна в зависимости от грузоподъемности с ростом дедвейта несколько увеличивается, однако в расчете на 1 т дедвейта снижается, т.е. с увеличением дедвейта снижаются удельные показатели затрат металла, материалов и мощности, что для крупнотоннажных судов является крайне значимым обстоятельством, оказывающим влияние на уровень экономических показателей.

Аналогичной зависимостью с дедвейтом характеризуются эксплуатационные расходы, что обусловлено более медленным ростом расходов

по статьям, определяющимся исходя из строительной стоимости, уровня расхода топлива, смазки и материалов, норм по содержанию экипажа.

Навигация судов большой грузоподъемности ограничивается глубинами в портах, на подходных каналах и маршрутах следования, дальностью перевозок, нормами грузовых работ в портах, размерами партий груза. Глубины в акваториях лимитируют осадку судна и, как следствие, весовые и объемные характеристики, в частности грузоподъемность.

При относительно небольших маршрутах перевозки и низких нормах обработки на грузовых терминалах предпочтительна эксплуатация маломерных судов с меньшей грузоподъемностью. При небольших объемах грузопотоков увеличивается время накопления груза для полной утилизации вместимости транспортного средства, что приводит к непроизводительным простоям и увеличению расходов на содержание судна и экипажа на стоянке. Экономические показатели для судов разной грузоподъемности находятся в разных соотношениях ввиду различного характера влияния ограничивающих факторов, в связи с чем оптимальная грузоподъемность является неоднозначной величиной и ее выбор основывается на базе расчетов, результаты которых служат обоснованием данной характеристики. Оптимальное значение грузоподъемности определяется способом сравнения вариантов, которые, в свою очередь, разрабатываются опытным путем и методом базисных опорных точек с ориентиром на судно-прототип. Сущность метода заключается в определении базисного значения грузоподъемности по ограничивающему фактору (глубина, величина грузопотока, себестоимость перевозок). Другие значения грузоподъемности берутся вокруг полученного базисного показателя.

Решение задачи определения оптимальной грузоподъемности судна, предназначенного для эксплуатации в водах СМП на Арктической контейнерной линии, находится в рамках ограничений по глубинам на трассе следования и неравномерности грузопотоков, т. е. нестабильности накопления партий груза определенного количества во времени. Поэтому для расчетов принимается несколько вариантов грузоподъемности судна, а решение задачи обоснования грузоподъемности сводится к нахождению оптимального соотношения главных размерений судна – длины к осадке и ширины к осадке, отличающихся от судна-прототипа [2].

Анализ практики использования флота, учет особенностей торговли и перевозок различных грузов позволяют ориентировочно определить границы изменения грузоподъемности в различных условиях эксплуатации [6].

Так, контейнерные перевозки по СМП характеризуются относительно низкими нормами грузовых работ в портах, так как основная грузовая база состоит из грузов сырьевой направленности, транспортируемых навалом, сложностью комплектации больших партий груза ввиду неравномерности грузопотока, суровыми условиями района плавания, что сдерживает сильный рост грузоподъемности и вместимости судов. Значение грузоподъемности судов-контейнеровозов ледового плавания находится в пределах 5000–30 000 т, увеличиваясь с дальностью доставки. Интервалы варьирования судов по чистой грузоподъемности устанавливаются в пределах 1000 т, но для более точных вычислений интервал может снижаться вплоть до 100 т. За нижнюю границу варьирования принимается наименьшее значение чистой грузоподъемности судов аналогичного типа, эксплуатируемых на заданном направлении, за верхнюю – расчетное значение допустимой чистой грузоподъемности.

При определении оптимального варианта величины грузоподъемности судна следует помнить, что при прочих равных условиях с увеличением грузоподъемности судна себестоимость перевозки тонны груза будет уменьшаться.

2.1.2. Обоснование грузовместимости судна

Грузовместимость – это общий объем помещений судна (трюмов), предназначенных для размещения груза, в том числе палубное пространство. Задача обоснования грузовместимости также является актуальной для судна-контейнеровоза, так как контейнеровместимость – важнейший показатель, определяющий экономические показатели эксплуатации судна и его производительность на линии.

Увеличение грузовместимости достигается за счет изменения соотношения главных размерений – длины и высоты борта, при котором получается избыточный надводный борт и увеличиваются объемы грузовых помещений на судне.

Таким образом, решением задачи обоснования грузовместимости является такое ее значение, при котором лучше утилизируется грузоподъемность судна, что, в свою очередь, оправдывает рост строительной стоимости и эксплуатационных расходов при повышении экономических показателей перевозок. Однако в реальной практике значение показателя вместимости контейнеров в некоторой степени условно, так как представляет собой величину, которая обладает широкой вариативностью в зависимости от конкретных условий рейса. Эта переменная величина является отношением грузоподъемности в тоннах к средней массе одного контейнера. Масса брутто контейнера значительно разнится ввиду разнородности затаренного в него груза по весу и удельно-погрузочному объему (УПО) – показателю, характеризующему объем, занимаемый одной тонной груза. Существует ряд возможных вариантов загрузки контейнера, от чего зависит его масса:

а) «легкий» груз с большим УПО – контейнер вмещает малое количество груза, следовательно, обладает небольшой массой брутто и является условно легким;

б) «легкий» груз с маленьким УПО – контейнер вмещает большое количество груза, обладает достаточно большой массой брутто, является условно тяжелым;

в) «тяжелый» груз с большим УПО – контейнер вмещает малое количество груза, обладает относительно малой массой брутто, является условно легким;

г) «тяжелый» груз с маленьким УПО – контейнер вмещает большое количество груза, обладает достаточно большой массой брутто, является условно тяжелым и т. д.

Число контейнеров, которое может быть размещено на судне, ограничено размерениями, грузоподъемностью, остойчивостью и, отчасти, видимостью с ходового мостика (при размещении груза на палубе). Средняя масса контейнера имеет тенденцию к снижению. На сегодняшний день приняты значения максимальной загрузки контейнеров разных типоразмеров (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Параметры загрузки стандартного контейнера

Параметр загрузки	Типоразмер контейнера	
	20-футовый	40-футовый
Максимальная грузоподъемность, т	21,920	26,580
Максимальная грузовместимость, м ³	33,9	67,7
Средний вес тары, т	2200	3800

Таким образом, наиболее полное использование грузовой вместимости и грузоподъемности судна достигается путем правильного распределения сорока- и двадцатифутовых контейнеров на грузовом плане судна.

При неопределенности структуры грузопотока по массе и УПО и, как следствие, неравномерности загрузки судна «легкими» и «тяжелыми» контейнерами варианты грузовой вместимости назначаются на границах от минимальной до максимальной величины УПО грузов.

При проектировании судна-контейнеровоза грузовой вместимостью определяется показателем контейнеровместимости, выраженной в физических единицах (TEU – Twenty-foot equivalent unit, или стандартный двадцатифутовый контейнер; FEU – Forty-foot equivalent unit, или стандартный сорокафутовый контейнер).

2.1.3. Обоснование скорости судна

Скорость судна определяет его способность преодолевать определенное расстояние за конкретный промежуток времени. Скорость – величина непостоянная, зависящая от многих факторов, как внутренних (мощности и типа судовой энергетической установки, вида гребного винта, архитектурно-конструктивного типа судна, нормы расхода топлива и др.), так и внешних (глубины на трассе следования, ледовой обстановки, уровня волнения, скорости и направления ветра и т. д.).

На сегодняшний день в мировом судостроении и судоходстве наблюдается тенденция увеличения скорости судов, что обеспечивает ускорение оборота и сокращение сроков доставки. Скорость судна имеет прямое

влияние на экономические показатели – строительную стоимость и эксплуатационные затраты.

Повышение скорости на стадии проектирования и строительства требует большей мощности судна, а следовательно, и больших капиталовложений. При росте скорости хода судна увеличиваются затраты на себестоимость содержания судна на ходу ввиду возрастания количества расходуемого топлива. Составляющая оборотных средств, заключенных в стоимость доставки груза, в связи с сокращением скорости всегда ниже для быстроходного судна. Отсюда предполагается, что при некотором оптимальном значении скорости приведенные затраты достигают минимума [3].

Эксплуатационная задача обоснования скорости относится к многовариантным, в связи с чем при расчетах заведомо устанавливаются границы вариантов уже упомянутым выше способом базисных или опорных точек. Выбор границ и интервалов варьирования по скорости судна является достаточно сложной задачей ввиду противоречивости ряда показателей, так как с ростом скорости:

- провозоспособность суда возрастает;
- себестоимость содержания судна возрастает;
- сроки доставки грузов сокращаются;
- расход топлива возрастает и т. д.

Нижние границы скорости принимаются исходя из следующих соображений:

- по опыту эксплуатации действующего флота (за нижний предел скорости принимают среднюю скорость судов, работающих в аналогичных условиях в настоящее время);
- отечественный морской флот, работающий в сфере внешней торговли, не должен уступать по своей технической вооруженности судам иностранных судовладельцев;
- суда с большей технической вооруженностью меньше подвержены влиянию навигационных условий и имеют меньшие потери в скорости [3].

Верхние границы принимают исходя из возможностей вычислительной работы. При обосновании скорости судна для навигации по СМП во внимание в первую очередь должна приниматься безопасность морепла-

вания, что подразумевает под собой применение так называемых «ледовых» скоростей, обеспечивающих преодоление судном сопротивления льдов с наименьшим ущербом для корпуса. В отрасли исследований мореплавания применяется следующая классификация «ледовых» скоростей [23]:

- паспортная, или «мгновенная», скорость $V_{л.п.}$;
- ледовая техническая скорость $V_{л.т.}$;
- ледовая эксплуатационная чистая скорость $V_{л.э.ч.}$.

Ледовая паспортная скорость – это скорость, которую судно способно развивать на разных режимах энергетической установки в типовых ледовых условиях. Максимальные значения паспортных ледовых скоростей определяются обычно мощностью энергетической установки, т. е. максимальными скоростями, а также прочностью корпуса, т. е. допустимыми скоростями.

На практике ледовая обстановка характеризуется достаточно большой неравномерностью по площади, поэтому для установления технических возможностей судов в эксплуатационных условиях применяется ледовая техническая скорость, подразумевающая максимальную рабочую скорость, с которой судно способно преодолевать однородные льды на участках значительной протяженности в автономном плавании при мощности СЭУ на уровне около 90 %. Ледовая техническая скорость является объективным показателем ледопродоходимости судна [26, 27].

Как показывает опыт ледового мореплавания, зачастую судоводители проводят суда не на предельных по техническим возможностям скоростях, что обусловлено рисками получения судном повреждений, экономией топлива и ресурса СЭУ. Обычно при ледовой проводке развивается ледовая эксплуатационная чистая скорость, при которой исключено влияние мощности СЭУ и допустимых ледовых нагрузок на корпус судна. Данная скоростная характеристика является средне-статистической скоростью движения судна определенной ледовой категории. В таблице 2.2 представлены скоростные условия плавания судов во льдах.

Таблица 2.2

Скоростные условия самостоятельного плавания судов во льдах

Ледовый класс судна	Допустимая скорость, уз	Толщина льда, м		Сплоченность и тип льда
		ЗВН	ЛОН	
Агс4	6–7	0,6	0,8	Преодоление стыков ледяных полей непрерывным ходом
Агс5		0,8	1,0	
Агс6	6–7	1,1	1,3	Преодоление стыков ледяных полей непрерывным ходом
Агс7		1,4	1,7	Преодоление стыков ледяных полей при эпизодической работе набегам
Агс8	10	2,1	3,0	Преодоление стыков ледяных полей при регулярной работе набегам
Агс9	12	3,5	4,0	Преодоление стыков ледяных полей и эпизодически участков сплошных льдов при работе набегам

Примечание: ЗВН – зимне-весенняя навигация; ЛОН – летне-осенняя навигация.

На практике современные суда способны развивать гораздо большие скорости хода. При проектировании судна для эксплуатации в районах Крайнего Севера необходимо учитывать способность поддержания экономного хода при ледовых скоростях.

В любом случае, ледовая обстановка – сложно прогнозируемое явление, поэтому в данном исследовании целесообразно в качестве базисных принять ледовые скорости эксплуатируемых на СМП судов, которые принимаются нижней границей варьирования. Интервалы варьирования назначаются на уровне 1–2 уз. Верхняя граница соответствует максимальной скорости судна при условии благоприятной ледовой обстановки.

2.1.4. Обоснование специализации, типа судовой энергетической установки и архитектурно-конструктивного типа судна

Такие технико-эксплуатационные характеристики, как специализация судна, тип судовой энергетической установки и архитектурно-конструктивный тип (АКТ), являются важнейшими элементами, оказывающими существенное влияние на организацию перевозок, виды и порядок осуществления технологических процессов, результаты эксплуатации тоннажа.

Специализация судна характеризует его пригодность для перевозки определенного вида или нескольких видов груза. Специализацию можно рассматривать как собирательную характеристику, подразумевающую под собой также и определенный набор других параметров судна, в том числе и тип СЭУ, и АКТ. Под СЭУ в судостроении понимается комплекс машин, механизмов, сопутствующих устройств и источников энергии, предназначенных для движения судна, а также приведения в действие всех его систем.

Архитектурно-конструктивный тип судна определяется внешней формой корпуса (формой носовой и кормовой оконечностей, числом палуб, типом и количеством люковых закрытий, числом и расположением надстроек, местоположением главных механизмов, типом и расположением грузовых устройств и т. д.) и конструктивными особенностями. Архитектурно-конструктивный тип судна должен соответствовать его специализации и обеспечивать наиболее эффективное и безопасное плавание в определенных условиях навигации.

Определенная специализация, тип СЭУ и АКТ – это самостоятельные технические решения, число которых ограничено уровнем технического и технологического прогресса в судостроительной отрасли, и они не связаны функционально с критериями оптимальности, следовательно, задача обоснования этих ТЭХ является задачей с ограниченным числом вариантов возможных решений. Таким образом, суть такой задачи сводится к поиску таких условий применения конкретного технического решения, при которых достигается наибольшая эффективность эксплуатации, на основании чего решение принимается оптимальным.

При обосновании специализации судна при проектировании за основу берется существующая потребность в перевозке определенного или определенных видов грузов. Таким образом, в данном исследовании с целью

обоснования типа и характеристик судна для коммерческой эксплуатации по СМП в рамках осуществления проекта АКЛ специализацией судна является контейнеровоз.

На морских судах возможно применение различных типов СЭУ, таких как паровые машины, газотурбинные двигатели, двигатели внутреннего сгорания, дизель-электрические двигатели и т.д. В настоящее время основная часть морских транспортных судов оснащена дизельными установками. Однако в условиях повсеместной экологизации любых процессов деятельности для вновь проектируемых судов создаются определенные требования с целью снижения ущерба окружающей среде от отработанного топлива. Так, в соответствии с Международным полярным кодексом в водах СМП запрещается применение тяжелого жидкого топлива, а следовательно, и эксплуатация судов с СЭУ, работающими на таком виде топлива.

СЭУ различных типов обладают неодинаковой массой, работают на разных видах и расходуют разное количество топлива, а также требуют различную численность экипажа, что ведет к отличию в единовременных и текущих затратах, а также влияет на величины грузоподъемности, дедвейта и водоизмещения. По этим причинам приведенные затраты и их составляющие для различных типов СЭУ находятся в неопределенных соотношениях.

Современные суда ледового плавания оборудованы дизель-электрическими СЭУ (ДЭУ) различной мощности и конфигурации. От мощности СЭУ зависят скорость хода, расход топлива, ледопродоимость; тип СЭУ оказывает прямое влияние на эксплуатационные расходы судна. В дизель-электрической энергетической установке генераторы приводятся в действие ДВС. В корме судна устанавливаются электродвигатели, которые в большинстве случаев непосредственно соединены с судовыми движителями. Эти двигатели позволяют использовать неревверсивные судовые высоко- и среднеоборотные дизели и обеспечивают гибкую работу всего блока, так как дизели, генераторы и электродвигатели можно комбинировать любыми способами.

Таким образом, для линейного контейнеровоза ледового плавания целесообразно применять дизель-электрическую установку с мощностью, обеспечивающей достаточную ледопродоимость, а также соответст-

вующую весовым характеристикам судна (водоизмещению, контейнеровместимости). В таблице 2.3 представлены основные эксплуатационные характеристики дизель-электрических СЭУ для судов-контейнеровозов [31].

Таблица 2.3

Основные эксплуатационные характеристики ДЭУ

Модель двигателя	WinGD X82-2.0 IMO Tier II/Tier III (SCR)		
Тип двигателя	Дизель-электрический		
Допустимая контейнеровместимость судна, TEU	До 5000		
Количество цилиндров	7	8	9
Диаметр цилиндра, мм	820		
Ход поршня, мм	3375		
Мощность (кВт/л.с./при об/мин)	38 500/52 345/840	44 300/60 231/840	49 000/66 621/840
Габаритные размеры: – длина, L, мм – ширина, В, мм – высота, Н, мм	11 994 5020 12 450	13 434 5020 12 450	14 874 5020 12 450
Вес, т	910	1020	1160
Удельный расход топлива, г/кВтч (г/л.с.-ч)	155,9 (212,0)	157,4 (214,1)	162,5 (221,0)

Первостепенное значение для безопасной навигации во льдах имеет подбор правильного архитектурно-конструктивного типа судна. Суда арктического плавания имеют двойное дно и двойные борта по всей площади корпуса, а также отличаются значительно меньшей протяженностью носового заострения и ледокольной формой носовой оконечности. Корма судна ледового класса характеризуется специальной формой, обеспечивающей движение судна кормой вперед с целью обеспечения наиболее высоких показателей ледовой ходкости [27].

Таким образом, очевидно, что задача обоснования типа и ТЭХ судна имеет многовариантный характер, а поиск ее оптимального решения сопровождается большим количеством трудоемких вычислений, в связи с чем

вводится поэтапная система расчетов, основанная на методе приближений. В качестве судна-прототипа выбран арктический контейнеровоз неограниченного района плавания проекта ICV51, представляющий собой однопалубный, пятитрюмный дизель-электроход, с баком и ютом, утопленной швартовой палубой в корме, с кормовым расположением жилой рубки, машинного отделения и трех полноповоротных движительно-рулевых колнок типа Azipod, двойным дном и двойными бортами, ледакольной носовой и транцевой кормовой оконечностями, кормовым кринолином с вырезом для толкания судна, люковыми закрытиями понтонного (съёмного) типа, носовым подруливающим устройством. Основные технико-эксплуатационные характеристики судна-прототипа представлены в табл. П.В.1. Схема судна-прототипа представлена на рис. П.В.1.

2.2. Основные особенности проектирования судов ледового плавания

2.2.1. Конструктивные особенности судов ледового плавания

Полного освоения достаточно объемного грузопотока Севморпути можно достичь благодаря технической и технологической модернизации инфраструктурной составляющей арктической транспортной системы, в первую очередь посредством создания флота транспортных судов усиленного ледового класса [14].

Эффективность эксплуатации судна в определенных условиях, в особенности в условиях Северного морского пути, достигается путем обоснованного подбора его технико-эксплуатационных характеристик. Судноходство в арктической зоне обладает рядом особенностей ввиду сложности ледовой обстановки, низких рабочих температур, сильных ветров, частых штормов и других климатических барьеров. Ледовая навигация сопровождается высокими рисками получения повреждений судами, вывода из строя судовых устройств и оборудования, в связи с чем при проектировании и строительстве судна, предназначенного для эксплуатации в таких условиях, должны закладываться определенные характеристики, способствующие наиболее безопасному плаванию. В первую очередь безопасность мореплавания в условиях Северного морского пути обеспечивается ледовыми подкреплениями судна, прочность которых зависит

от ледового класса. Суда, эксплуатируемые в водах Арктики, должны обладать ледовыми качествами, в состав которых входят:

- повышенная местная ледовая прочность корпуса судна;
- достаточная прочность движительного рулевого комплекса судна;
- ледовая ходкость и маневренность судна;
- работоспособность судовых систем при низких рабочих температурах;
- достаточная остойчивость с учетом обледенения корпуса судна.

Состав и уровень ледовых качеств обуславливаются ледовым классом судна. Для самостоятельного плавания во льдах допускаются только суда, обладающие повышенным ледовым классом; для навигации остальных судов обязательно ледокольное сопровождение. В таблице 2.4 дана характеристика ледовых классов судов.

Таблица 2.4

Ледовые классы судов

Вид плавания	Ледовый класс					
	Arc4	Arc5	Arc6	Arc7	Arc8	Arc9
Самостоятельное плавание при толщине льда, м: – в зимне-весеннюю навигацию – в летне-осеннюю навигацию	Разреженные 1-летние льды			Сплошные 1- и 2-летние льды		Сплошные многолетние льды
	До 0,6 До 0,8	До 0,8 До 1,0	До 1,1 До 1,3	До 1,4 До 1,7	До 2,1 До 3,1	До 3,5 До 4,0
Плавание за ледоколом при толщине льда, м: – в зимне-весеннюю навигацию – в летне-осеннюю навигацию	1-летние арктические льды				2-летние арктические льды	Неограниченно
	До 0,7 До 1,0	До 0,9 До 1,2	До 1,2 До 1,7	До 2,0 До 3,2	До 3,4 Неограниченно	

Эксплуатация судов в Арктических морях осложняется значительными колебаниями глубин и рельефами морского дна. Для наиболее безопасной проводки судна по Севморпути необходимо прибегать к услугам лоцмана. Глубины на трассах обуславливают требования к максимальной осадке судна. Трасса СМП, пролегающая через пролив Санникова, допускает проход судов с осадкой не более 12,7 м. Осадка судов, эксплуатирующихся по маршруту, проходящему севернее от Новосибирских островов, не должна превышать 18 м.

Таким образом, суда, предназначенные для навигации по Северному морскому пути, должны обладать набором определенных технико-эксплуатационных характеристик, обеспечивающих наиболее безопасное и производительное плавание. Основные конструктивные особенности судов ледового класса представлены в табл. 2.5.

Таблица 2.5

Основные конструктивные особенности судов ледового плавания

Характеристика судна	Особенность конструкции
Ледовый класс	Повышенный (Arc7 и выше) для самостоятельной круглогодичной навигации судов в зависимости от конкретных погодных и ледовых условий; Arc4 – Arc6 для круглогодичной навигации в сопровождении ледокола, а также самостоятельного плавания в летне-осенний сезон при благоприятной ледовой обстановке
Архитектурно-конструктивный тип	Ледокольная форма носа; кормовая оконечность, обеспечивающая движение кормой вперед; ледовые усиления корпуса; небольшая протяженность носового заострения; вертикальные борта в средней части корпуса; двойной корпус и двойное дно для танкеров
Максимальная осадка судна, м	12,7 при проходе через пролив Санникова; 18 при проходе севернее Новосибирских островов
Допустимая скорость хода, уз	6–8 для судов ледового класса Arc4 – Arc6; 10–12 для судов повышенного ледового класса

Характеристика судна	Особенность конструкции
Остойчивость судна	Должна быть достаточной с учетом обледенения. Допустимое обледенение: – 30 кг/м ² – на открытых палубах и переходных мостиках; – 7,5 кг/м ² – для проекции боковой поверхности на каждый борт
Ледовые качества	Местная ледовая прочность корпуса и элементов движительного рулевого комплекса; достаточная ледовая ходкость и маневренность судна; работоспособность судовых систем, устройств и механизмов в ледовых условиях и при низких температурах воздуха; материалы корпуса, выдерживающие низкие рабочие температуры

Помимо конструктивных особенностей должна обеспечиваться надлежащая подготовка и экипировка экипажа судна, способствующая эффективной работе в суровых климатических условиях СМП.

2.2.2. Архитектурно-конструктивный тип судна-контейнеровоза

Под судном-контейнеровозом понимается морское грузовое транспортное средство, предназначенное для перевозки груза в унифицированной транспортной таре – контейнере стандартных типоразмеров. Архитектурно-конструктивный тип контейнеровоза – это сформировавшееся техническое решение, характеризующееся следующими особенностями:

- ячеистая конструкция трюмных отсеков, образованная специальными направляющими для более удобной и быстрой погрузки/выгрузки, а также сохранной перевозки контейнера;
- высокий коэффициент раскрытия палубы, обеспечивающий наибольшую утилизацию грузопместимости судна;
- люковые закрытия понтонного типа, обеспечивающие размещение устойчивых штабелей контейнеров на палубе;
- опорные стойки на палубе, обеспечивающие безопасное палубное размещение груза в несколько ярусов по высоте;
- отсутствие судовых грузовых устройств;

- сдвинутая надстройка и машинное отделение в кормовую часть судна для высвобождения большего пространства для размещения груза;
- плоские двойные борта судна и двойное дно, повышающие прочность корпуса;
- наличие специальных систем питания для подключения рефрижераторных контейнеров.

Специализированные контейнерные суда – это сложные и дорогостоящие инженерные решения. Эффективность их работы зависит от большого числа противоречивых факторов; к их качествам предъявляются разнообразные строгие требования. Проектирование контейнерного судна всегда сопровождается поиском оптимального варианта в конкретных условиях эксплуатации. Успешное решение задачи проектирования судна-контейнеровоза, в особенности для ледового плавания, состоит в оптимизации главных размерений и частных технических характеристик.

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ ТЕХНИКО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СУДОВ ВАРИАТИВНОГО РЯДА

3.1. Определение структуры потенциального контейнеропотока

В соответствии с проектом потенциальной Арктической контейнерной линии наиболее экономически обоснованным маршрутом становится направление Мурманск – Петропавловск-Камчатский. Расстояние между данными портами по морю составляет 4192 морских мили. Потенциальный прямой грузопоток АКЛ составляет 2 млн т грузов различной номенклатуры [9].

При структуре потенциального грузопотока по типоразмерам контейнеров (TEU = 17,7 %, FEU = 82,3 %) объем перевозок грузов прямого направления в 20-футовых контейнерах составит

$$Q_{20} = K_{20} \times Q_{\text{пр}}, \quad (3.1)$$

где K_{20} – коэффициент 20-футовых контейнеров, выражающий долю 20-футовых контейнеров в общем объеме, $K_{20} = 0,177$,

$$Q_{20} = 0,177 \times 2000000 = 354000 \text{ т.}$$

Объем перевозок 40-футовых контейнеров, в свою очередь, насчитывает

$$Q_{40} = (1 - K_{20}) \times Q_{\text{пр}}, \quad (3.2)$$

$$Q_{40} = (1 - 0,177) \times 2000000 = 1646000 \text{ т.}$$

В физическом измерении при максимальной загрузке объем перевозок 20-футовых контейнеров составляет 16 150 ед., 40-футовых – 62 927 ед.

При условии, что коэффициент неравномерности грузопотока $k_{\text{нер}} = 0,8$, то объем обратного грузопотока составит

$$Q_{\text{обр}} = k_{\text{нер}} \times Q_{\text{пр}}, \quad (3.3)$$

$$Q_{\text{обр}} = 0,8 \times 2000000 = 1600000 \text{ т.}$$

Объем перевозок грузов обратного направления в 20-футовых контейнерах равен

$$Q_{20} = 0,177 \times 1600000 = 283200 \text{ т.}$$

Объем перевозок 40-футовых контейнеров насчитывает

$$Q_{40} = (1 - 0,177) \times 1600000 = 1316800 \text{ т.}$$

В физическом измерении при максимальной загрузке объем перевозок 20-футовых контейнеров составляет 12 920 ед., 40-футовых – 49 541 ед. [21]. Результаты расчетов структурных составляющих потенциального контейнеропотока сведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Структура потенциального контейнеропотока

Структура грузопотока	Направление грузопотока	
	Прямой	Обратный
Величина грузопотока, т	2 000 000	1 600 000
Величина грузопотока 20-футовых контейнеров:		
– в тоннах, т	354 000	283 200
– в контейнерах, TEU	16 150	12 920
Величина грузопотока 40-футовых контейнеров:		
– в тоннах, т	1 646 000	1 316 800
– в контейнерах, FEU	62 927	49 541

3.2. Расчет основных параметров линии

На рисунке 3.1 представлена схема потенциального грузопотока АКЛ.

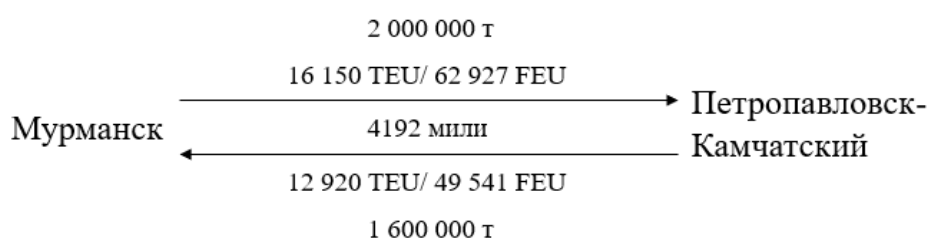


Рис. 3.1. Схема грузопотока АКЛ

По объему грузопотока рассчитывается потребная удельная грузовместимость судна для работы на АКЛ:

$$\overline{W} = \frac{W_{\max}}{Q_{\max}}, \quad (3.4)$$

где $W_{\max}$ – суммарный максимальный объем грузов прямого или обратного направления, м^3 ; $Q_{\max}$ – суммарный максимальный грузопоток прямого или обратного направления, т, рассчитываемый по формуле

$$Q_{\max} = \max\{Q_{\text{пр}}; Q_{\text{обр}}\}, \quad (3.5)$$

где $Q_{\text{пр}}$ – грузопоток прямого направления, т; $Q_{\text{обр}}$ – грузопоток обратного направления, т;

$$\begin{aligned} Q_{\max} &= \max\{2000000; 1600000\} = 2000000 \text{ т}, \\ W_{\max} &= \max\{Q_{\text{пр}} \times u; Q_{\text{обр}} \times u\}, \end{aligned} \quad (3.6)$$

где u – УПО, $\text{м}^3/\text{т}$.

УПО контейнера рассчитывается по формуле

$$u = \frac{V}{m}, \quad (3.7)$$

где V – грузовместимость (объем) контейнера, м^3 ; m – максимальная грузоподъемность контейнера, т.

УПО 20-футового контейнера составит

$$u = \frac{33,9}{21,92} = 1,55 \text{ м}^3/\text{т}.$$

УПО 40-футового контейнера равен

$$u = \frac{67,7}{26,56} = 2,55 \text{ м}^3/\text{т}.$$

Суммарный максимальный грузопоток прямого или обратного направления примет вид

$$W_{\max} = \max\left\{ \begin{aligned} &354000 \times 1,55 + 1646000 \times 2,55; \\ &283200 \times 1,55 + 1316800 \times 2,55 \end{aligned} \right\} = \{4747530; 3796800\} = 4747530 \text{ м}^3.$$

Таким образом, удельная грузовместимость судна составит

$$\overline{W} = \frac{4747530}{2000000} = 2,37 \text{ м}^3/\text{т}.$$

Полученное значение потребной удельной грузовместимости судна определяет выбор конструктивного типа судна – суда, удельная грузовместимость которых варьируется в пределах от 1,7 до 2,5 м³/т, проектируясь с избыточным надводным бортом.

Необходимый для освоения грузопотока тоннаж определяется по формуле

$$\sum D_{\text{ч}} = \max \left\{ \frac{W_{\text{max}}}{w}; Q_{\text{max}} \right\}, \quad (3.8)$$

$$\sum D_{\text{ч}} = \max \left\{ \frac{4747530}{2,37}; 2000000 \right\} = \{2003177,22; 2000000\} = 2003177,22 \text{ т}.$$

Стоит отметить, что показатель объема перевозок сам по себе не отражает запланированной или выполненной транспортной работы. Для более полной оценки данного показателя учитывается длина пути, по которому транспортировались грузы [11]. Такой единицей являются выполненные тонно-мили или грузооборот в тонно-милях, которые рассчитываются по формуле

$$\sum Ql = Q \times l, \quad (3.9)$$

где l – длина маршрута АКЛ, мили,

$$\sum Ql = 2000000 \times 4192 = 8384000000 \text{ тонно-миль}.$$

Производственные возможности судна определяются не только пробегом, но и его грузоподъемностью (тоннажем), поэтому пробег тоннажа определяется не только в милях, но и в тоннаже-милях:

$$\sum D_{\text{ч}} l = \sum D_{\text{ч}} \div 1, \quad (3.10)$$

$$\sum D_{\text{ч}} l = \sum 2003177,22 \times 4192 = 8397318906,24 \text{ тоннаже-мили}.$$

Коэффициент использования грузоподъемности (тоннажа) определяет степень использования чистой грузоподъемности судна за рейс или ряд рейсов; рассчитывается по формуле

$$\sigma_q = \frac{\sum Q_1}{\sum D_{q1}}, \quad (3.11)$$

$$\sigma_q = \frac{8384000000}{8397318906,24} = 0,99.$$

Коэффициент интенсивности линии (загрузки тоннажа) характеризует количество груза, которое перемещается одной тонной грузоподъемности судна; определяется по формуле

$$J = \sigma_q \times \beta, \quad (3.12)$$

где β – коэффициент сменности груза, равный 1 при рейсе, состоящем из одного перехода,

$$J = 0,99 \times 1 = 0,99.$$

Результаты расчетов параметров линии сведены в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Параметры линии

Параметр линии	Результат расчета
Максимальный суммарный грузопоток линии, $Q_{\max}$, т	3 600 000
Максимальный суммарный объем грузов, $W_{\max}$, м ³	4 747 530
Расстояние маршрута, L, мили	4192
Потребная удельная грузовместимость судна, $\overline{W}$, м ³	2,37
Суммарный тоннаж, $\sum D_q$, т	2 003 177,22
Грузооборот, $\sum Q_1$, тонно-мили	8 384 000 000
Пробег тоннажа, $\sum D_{q1}$, тоннаже-мили	8 397 318 906,24
Коэффициент использования грузоподъемности, α_q	0,99
Коэффициент интенсивности линии	0,99

3.3. Определение значений вариативного ряда характеристик

Варьирование характеристик судна представляет собой ряд значений, находящихся в определенных обоснованных пределах. В настоящей работе варьирование производится по трем характеристикам: чистой грузо-

подъемности, скорости и типу СЭУ. Чистая грузоподъемность как весовая характеристика судна ограничена дедвейтом, который, в свою очередь, лимитируется водоизмещением судна. Основным габаритным параметром судна является его осадка, которая лимитируется глубинами на трассе следования судна, в связи с чем допустимое водоизмещение в первом приближении определяется в зависимости от осадки:

$$D_{\max}^1 = \frac{T_{\max}^2}{T_{\text{отн}}^3}, \quad (3.13)$$

где $T_{\max}$ – допустимая осадка судна, равная 12,7 м; $T_{\text{отн}}$ – относительная осадка, м.

Относительная осадка определяется по формуле

$$T_{\text{отн}}^3 = \frac{T^3}{D}, \quad (3.14)$$

где T – осадка судна-прототипа, м; D – водоизмещение судна-прототипа,

$$T_{\text{отн}}^3 = \frac{12,7^3}{51494} = 0,035 \text{ м.}$$

Таким образом, допустимое водоизмещение в первом приближении равно

$$D_{\max}^1 = \frac{12,7^3}{0,35} = 58525 \text{ т.}$$

Максимальное значение дедвейта судна определяется по формуле

$$D_w^I = \eta_D \times D_{\max}^1, \quad (3.15)$$

где η_D – коэффициент утилизации водоизмещения, равный

$$\eta_D = \min\{q_1; q_2\}, \quad (3.16)$$

где q_1 – расчетное значение коэффициента утилизации; q_2 – максимально возможное значение коэффициента утилизации для линейных контейнеровозов, равное 0,8,

$$q_1 = 2,17 \times 10^{-2} D_w^{1/3}, \quad (3.17)$$

$$q_1 = 2,17 \times 10^{-2} \times 40062^{1/3} = 0,74,$$

$$\eta_D = \min\{0,74; 0,8\} = 0,74.$$

Тогда максимальное значение дедвейта в первом приближении равно

$$D_w^I = 0,74 \times 58525 = 43309 \text{ т.}$$

Допустимое значение чистой грузоподъемности судна в первом приближении определяется по формуле

$$D_q^I = \eta_{D_w} \cdot D_w^I, \quad (3.18)$$

где η_{D_w} – коэффициент утилизации дедвейта, определяемый по прототипу по формуле

$$\eta_{D_w} = \frac{D_q}{D_w}, \quad (3.19)$$

где D_q – чистая грузоподъемность судна-прототипа, т,

$$\eta_{D_w} = \frac{34277}{40062} = 0,86.$$

Таким образом, допустимое значение чистой грузоподъемности в первом приближении равно

$$D_x^I = 0,86 \times 43309 = 37246 \text{ т.}$$

Нижней границей варьирования по грузоподъемности принимается значение показателя чистой грузоподъемности судна-прототипа, а за интервал варьирования судов по грузоподъемности – 1000 т. Верхней границей является рассчитанное по формуле (3.18) допустимое значение грузоподъемности в первом приближении.

На основании обоснования границ варьирования судов по скорости, приведенного в подразд. 2.1.3, разработаны варианты по скорости с интервалом в 2 уз. Варьирование по типу СЭУ основывается на значениях мощности.

Таким образом, составлен вариативный ряд по основным характеристикам, представленный в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Значения вариативного ряда судов

Вариант чистой грузоподъемности судна, т			
D_q^1	D_q^2	D_q^3	D_q^4
34 277	35 200	36 200	37 246

Варианты скорости судов, уз		
v_1	v_2	v_3
14,5	16,5	18,5
Варианты мощности СЭУ, л.с.		
N_1	N_2	N_3
52 345	60 231	66 621

На рис. 3.2 представлен полный вариативный ряд характеристик судов.

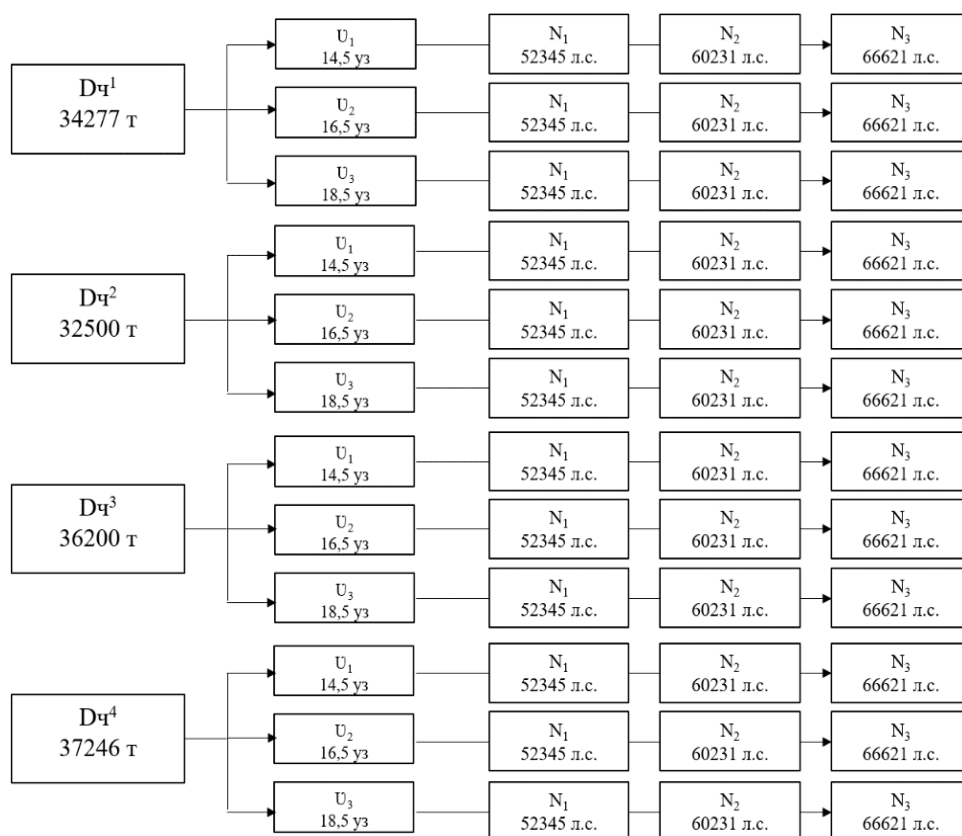


Рис. 3.2. Вариативный ряд характеристик судов

Таким образом, в общей сложности исследованию и сравнению подлежит 36 вариантов различных наборов характеристик в выбранных пределах варьирования.

3.4. Расчет весовых характеристик судна

Для определения основных технических параметров судна в первую очередь необходимо установить набор его весовых характеристик по исследуемым вариантам. Расчет таких характеристик выполняется методом последовательных приближений.

Дедвейт судна в первом приближении определяется по формуле

$$D_w^I = \frac{D_q}{\eta_{D_w}}. \quad (3.20)$$

Полное водоизмещение судна в первом приближении представится в виде

$$D^I = \frac{D_w^I}{\eta_{D_q}}. \quad (3.21)$$

Во втором приближении весовое водоизмещение равно

$$D^{II} = P_m + P_k + Q_3 + D_q, \quad (3.22)$$

где P_m – вес СЭУ, заданный в технических характеристиках т; P_k – вес корпуса с оборудованием, т; Q_3 – вес запасов.

Вес корпуса судна определяется по формуле

$$P_k = a_k \times D^I, \quad (3.23)$$

где a_k – относительный вес 1 т водоизмещения, который примет вид

$$a_k = \frac{72}{\frac{D^I}{1000} + 75} - 0,355. \quad (3.24)$$

Вес запасов топлива со смазочными материалами, котельной воды и прочих запасов рассчитывается по формуле

$$Q_3 = Q_T + Q_E + Q_{пр}, \quad (3.25)$$

где Q_T – вес запасов топлива, т; Q_E – вес запасов воды, т; $Q_{пр}$ – вес прочих запасов, т.

Вес запасов топлива и смазочных материалов на рейс равен

$$Q_T = 1,1 \times Q_{д.т}, \quad (3.26)$$

где $Q_{д.т}$ – запасы дизельного топлива на рейс, т; 1,1 – коэффициент, учитывающий вес смазочных материалов.

Запасы дизельного топлива на рейс определяются по формуле

$$Q_{д.т} = (q_{д.т}^{ст} \times t_{ст} + q_{д.т}^{ход} \times t_{ход}) \times K_{шт}, \quad (3.27)$$

где $q_{д.т}^{ст}$, $q_{д.т}^{ход}$ – суточный расход дизельного топлива на стоянке и на ходу соответственно, т/сут; $t_{ст}$, $t_{ход}$ – время стоянки судна в порту и время, затраченное на переход, соответственно, сут; $K_{шт}$ – коэффициент штормового запаса, в условиях СМП $K_{шт} = 1,3$.

Суточный расход топлива на ходу имеет вид

$$q_{д.т.}^{ход} = \frac{q \cdot N_c \cdot 24}{1000000}, \quad (3.28)$$

где q – удельный расход топлива судна-прототипа, г/э.л.с.-ч.

Суточный расход топлива на стоянке определяется по формуле

$$q_{д.т.}^{ст} = 0,13 \times q_{д.т.}^{ход}. \quad (3.29)$$

Запасы воды на рейс равны

$$Q_E = (q_{вод}^{ст} \times t_{ст} + q_{вод}^{ход} \times t_{ход}) \times K_{шт}, \quad (3.30)$$

где $q_{вод}^{ст}$, $q_{вод}^{ход}$ – суточный расход воды на стоянке в порту и на ходу в рейсе, т/сут.

Суточный расход воды в порту и на ходу усредненно равен и определяется по приближенной формуле

$$q_{вод}^{сут} \cong N_{эк} \times 0,1, \quad (3.31)$$

где $N_{эк}$ – численность экипажа по судну-прототипу, чел.,

$$q_{вод}^{сут} \cong 30 \times 0,1 = 3 \text{ т/сут.}$$

Вес прочих запасов на рейс рассчитывается по формуле

$$Q_{пр} = \left(\frac{0,04 \times N_{эк}}{10^3} + 0,5 \right) \times t_p. \quad (3.32)$$

Ходовое время судна в рейсе примет вид

$$t_{ход} = \frac{L}{v} \times 1,3, \quad (3.33)$$

где L – протяженность линии, миль; v – скорость судна, уз; 1,3 – поправочный коэффициент, учитывающий возможные задержки в пути следования судна по СМП ввиду неблагоприятных погодных условий и/или ледовой обстановки.

После определения водоизмещения во втором приближении производится корректировка дедвейта:

$$D_w^{\Pi} = D_{\text{ч}} + Q_3. \quad (3.34)$$

После определения дедвейта во втором приближении определяются показатели валовой и чистой регистровой вместимости. Регистровая вместимость судна – это характеристика, соединяющая весовые и объемные параметры судна; измеряется в регистровых тоннах (1 рег. т = 2,83 м³).

Валовая регистровая вместимость определяется по формуле

$$\text{BRT} \cong 0,85 \times D_w^{\Pi}. \quad (3.35)$$

Чистая регистровая вместимость равна

$$\text{NRT} \cong 0,65 \times D_w^{\Pi}. \quad (3.36)$$

На основании показателя чистой регистровой вместимости вычисляется максимальная контейнеровместимость по объему:

$$W_k \cong \frac{\text{NRT}}{V_k k_{p,x}}, \quad (3.37)$$

где V_k – объем, занимаемый одной единицей TEU, м³; $k_{p,t}$ – коэффициент перевода объема в регистровую тонну, $k_{p,t} = 0,353$.

Результаты расчетов весовых характеристик судна по вариантам представлены в табл. П.Г.1.

Таким образом, вес, количество запасов и чистая грузоподъемность складываются в показатель водоизмещения, от которого зависят основные весовые и объемные характеристики судна. С ростом водоизмещения увеличивается чистая грузоподъемность, дедвейт, грузовместимость, провозная способность, но также растет строительная стоимость и такие статьи эксплуатационных расходов, как себестоимость содержания судна; в то же время возрастают доходы судна, так как увеличиваются объемы груза, которое оно способно принять на борт за рейс.

На данном этапе расчетов критерием оптимальности выступает наибольший дедвейт судна, что обосновано предположением, что доходы судна возрастают пропорционально объему груза, которое оно способно принять. Наибольшим дедвейтом потенциально обладает судно с вариантом грузоподъемности Дч⁴, вариантом скорости v_3 и типом СЭУ – N₁.

Для оценки влияния значений вариативного ряда на весовые характеристики строятся графики зависимостей:

- график зависимости дедвейта от скорости судна, представленный на рис. П.Г.1;
- график зависимости дедвейта от мощности СЭУ, представленный на рис. П.Г.2;
- график зависимости дедвейта от чистой грузоподъемности, представленный на рис. П.Г.3.

Очевидно, что с ростом чистой грузоподъемности будет расти и дедвейт, так как первая является составной частью второго. С ростом скорости дедвейт также возрастает, так как увеличивается потребление топлива за рейс, что, в свою очередь, подразумевает повышение количества рейсовых запасов.

3.5. Расчет провозной способности судна и потребности в судах

Провозоспособность судна за эксплуатационный период определяется по формуле

$$П_{\text{т}} = \alpha_{\text{ч}} \times \beta \times D_{\text{ч}} \times r, \quad (3.38)$$

где $\alpha_{\text{ч}}$ – коэффициент использования чистой грузоподъемности; β – коэффициент сменности груза; r – количество рейсов за эксплуатационный период.

Для определения провозоспособности судна необходимо произвести уточняющий перерасчет коэффициента использования чистой грузоподъемности для каждого варианта судна, для чего определяется количество груза, которое может принять контейнеровоз исходя из рассчитанной контейнеровместимости. Для этого определяется средний вес контейнеров (табл. 3.4).

Таблица 3.4

Средняя загрузка контейнера

Весовая группа, т	Процент в структуре контейнеропотока	Количество контейнеров в весовой группе, TEU	Произведение веса на количество контейнеров, т	P_{cp} , т
21,92 (20-футовый)	17	16 150	354 008	14,16
26,58 (40-футовый)	83	125 854	1 656 652	
Итого	100 %	$W_k^{потр} = 142\,004$	$P_{гр} = 2\,010\,660$	

Для расчета среднего веса контейнера используется формула

$$P_{cp} = \frac{P_{гр}}{W_k^{потр}}, \quad (3.39)$$

где $W_k^{потр}$ – потребная контейнеровместимость флота на линии для освоения грузопотока, TEU.

Количество груза, принимаемого судном в соответствии с контейнеровместимостью, определяется по формуле

$$Q_{гр} = W_k \times P_{cp}. \quad (3.40)$$

Количество контейнеров, которое судно способно перевезти за эксплуатационный период (провозоспособность в TEU), равно

$$\Pi_{TEU} = W_k \times r. \quad (3.41)$$

Число рейсов, совершенных судном за эксплуатационный период, определяется по формуле

$$r = \frac{T_{экс}}{t_p}, \quad (3.42)$$

где $T_{экс}$ – эксплуатационный период работы судна для навигации в условиях СМП, принимаемый 330 сут., ввиду поправочных коэффициентов, отводимых на неблагоприятные условия для плавания, форс-мажорные обстоятельства и т. д.

Рассчитываются также следующие показатели:

– коэффициент ходового времени:

$$K_{\text{код}} = \frac{t_{\text{код}}}{t_p}, \quad (3.43)$$

– коэффициент стояночного времени:

$$K_{\text{ст}} = \frac{t_{\text{ст}}}{t_p}, \quad (3.44)$$

– валовая производительность 1 т грузоподъемности:

$$\mu_{\text{в}} = \frac{\sum q_l}{\sum D_{\text{л}} t_p}, \quad (3.45)$$

– чистая производительность 1 т грузоподъемности:

$$\mu_{\text{ч}} = \frac{\sum q_l}{\sum D_{\text{ч}} t_{\text{ч}}}, \quad (3.46)$$

– потребное количество судов для освоения грузопотока:

$$n_{\text{с}} = \frac{\sum Q}{\mu_{\text{ч}}}. \quad (3.47)$$

Результаты расчетов провозной способности и потребности в судах представлены в табл. П.Д.1. На данном этапе расчетов критерием оптимальности выступает наибольшая провозная способность судна, так как рост данного показателя обеспечивает более быстрое освоение грузопотока с меньшим флотом и, соответственно, меньшими издержками. Наибольшей провозной способностью потенциально обладает судно с вариантом грузоподъемности Дч⁴, вариантом скорости v_3 и типом СЭУ – Н₁.

Для наглядного представления зависимости провозной способности от чистой грузоподъемности, скорости и мощности СЭУ построены графики, представленные на рис. П.Д.1, П.Д.2, П.Д.3 соответственно.

Рост провозной способности и показателей скорости и чистой грузоподъемности находится в прямой зависимости. При этом с ростом мощности СЭУ провозная способность падает, так как увеличивается потребление ГСМ, следовательно, запасов на рейс, что снижает способности судна по принятию груза на борт.

3.6. Расчет строительной стоимости судна

Среднесерийная строительная стоимость судна определяется по формуле

$$K_{\text{с}} = K_{\text{к}} + K_{\text{м}}, \quad (3.48)$$

где $K_{\text{к}}$ – строительная стоимость корпуса, руб.; $K_{\text{м}}$ – строительная стоимость машины, руб.

Строительная стоимость корпуса имеет вид

$$K_K = S_{D_w} \times D_w^{\text{II}}, \quad (3.49)$$

где S_{D_w} – строительная стоимость 1 т дедвейта, USD/т; средняя рыночная стоимость строительства судов-контейнеровозов показывает, что стоимость постройки 1 т дедвейта в среднем составляет 800 USD.

Строительная стоимость машины рассчитывается по формуле

$$K_H = S \times N_c, \quad (3.50)$$

где S_N – строительная стоимость 1 эффективной лошадиной силы; средняя рыночная стоимость закупки СЭУ показывает, что стоимость 1 э.л.с. в среднем составляет 120 USD.

Результаты расчетов строительной стоимости корпуса судна представлены в табл. П.Е.1. Строительная стоимость судна находится в прямой зависимости от характеристик варьирования.

3.7. Расчет сметы эксплуатационных расходов судна

Для расчета эксплуатационных расходов за период навигации используются суточные нормативы эксплуатационных расходов судна на ходу и стоянке. Эксплуатационные расходы транспортных судов состоят из постоянных и переменных расходов. Постоянные эксплуатационные расходы распределяются в равных долях на сутки хода и сутки стоянки в порту. Поэтому суточный норматив по каждой статье постоянных эксплуатационных расходов судна определяют делением годового расхода по соответствующей статье на длительность эксплуатационного периода судна или на рейсооборот [25].

Себестоимость содержания судна в сутки на ходу определяется по формуле

$$S_X = a_{\text{пр.пост}} + a_{\text{пр.пер}}^{\text{ход}} + a_{\text{кос}}. \quad (3.51)$$

Суточная себестоимость содержания судна на стоянке имеет вид

$$S_{\text{ст}} = a_{\text{пр.пост}} + a_{\text{пр.пер}}^{\text{ст}} + a_{\text{кос}}, \quad (3.52)$$

где $a_{\text{пр.пост}}$ – прямые постоянные расходы, USD/сут; $a_{\text{пр.пер}}^{\text{ход}}$, $a_{\text{пр.пер}}^{\text{ст}}$ – прямые переменные расходы на ходу и на стоянке соответственно, USD/сут; $a_{\text{кос}}$ – косвенные расходы судна, USD/сут.

Суточные прямые постоянные эксплуатационные расходы состоят из нормативов на содержание судна; рассчитываются по формуле

$$a_{\text{пр.пост}} = a_{\text{ам}} + a_{\text{рен}} + a_{\text{эк}} + a_{\text{снаб}} + a_{\text{нав}} + a_{\text{сбор}} + a_{\text{стр}}, \quad (3.53)$$

где $a_{\text{ам}}$ – суточный норматив амортизационных расходов, USD/сут; $a_{\text{рен}}$ – суточный норматив расходов на текущий ремонт, USD/сут; $a_{\text{снаб}}$ – суточный норматив расходов на снабжение, USD/сут; $a_{\text{эк}}$ – суточный норматив расходов на содержание экипажа, USD/сут; $a_{\text{нав}}$ – суточный норматив навигационных расходов, USD/сут; $a_{\text{сбор}}$ – суточные расходы на портовые сборы и прочие услуги, USD/сут; $a_{\text{стр}}$ – суточные расходы на страхование, USD/сут.

Суточные прямые переменные эксплуатационные расходы на ходу равны

$$a_{\text{пр.пер}}^{\text{ход}} = (q_{\text{топ}}^{\text{ход}} \cdot S_{\text{т}} \cdot k_{\text{см}} + q_{\text{вод}}^{\text{ход}} \cdot S_{\text{е}}), \quad (3.54)$$

где $q_{\text{топ}}^{\text{ход}}$ – суточный расход топлива на ходу, т/сут; $S_{\text{т}}$ – стоимость 1 т топлива, включая услуги по бункеровке, 788 USD/т; $k_{\text{см}} = 1,1$ – коэффициент, учитывающий расходы судна на смазку; $q_{\text{вод}}^{\text{ход}}$ – суточный расход воды на ходу, т/сут; $S_{\text{е}}$ – стоимость 1 т воды, 273 USD/т.

Суточные прямые переменные эксплуатационные расходы на стоянке определяются по формуле

$$a_{\text{пр.пер}}^{\text{ст}} = (q_{\text{топ}}^{\text{ст}} \cdot S_{\text{т}} \cdot k_{\text{см}} + q_{\text{вод}}^{\text{ст}} \cdot S_{\text{е}}). \quad (3.55)$$

Суточные расходы на амортизацию, ремонт, снабжение, обеспечение навигации в общем случае представятся в виде

$$a_i = \frac{K_{\text{с}} \cdot b_i}{T_{\text{экс}}}, \quad (3.56)$$

где b_i – норма отчислений на i -ю статью расходов, обозначенная в таблице 3.5; $K_{\text{с}}$ – среднесерийная строительная стоимость судна, USD.

Нормы отчислений по статьям расходов представлены в табл. 3.5.

Таблица 3.5

Нормы отчислений по статьям расходов

Норматив	Обозначение норматива	Норма отчислений, b_i , %
Суточный норматив амортизационных расходов	$a_{ам}$	13,40
Суточный норматив расходов на текущий ремонт	$a_{рем}$	2,50
Суточный норматив расходов на снабжение	$a_{снаб}$	1,10
Суточный норматив навигационных расходов	$a_{нав}$	0,10
Суточные расходы на страхование	$a_{стр}$	4,00

Суточные затраты на содержание экипажа состоят из зарплаты экипажа судна, надбавок и дополнительных выплат в пересчете на сутки, затрат на пропитание экипажа и прочих расходов на содержание.

Расчет затрат на экипаж в сутки представлен в табл. 3.6; данные для расчетов получены из табл. 3.7, в которой отображено количество личного состава судна и их доходы.

Таблица 3.6

Месячный фонд заработной платы экипажа

Должность	Число членов экипажа	Оклад, USD/мес.	Суточная ставка, $C_{сут}$, USD/сут
Капитан	1	7485	241,45
Старший помощник капитана	1	5720	184,52
Второй помощник капитана	1	4430	142,90
Третий помощник капитана	1	3830	123,55
Старший механик	1	6935	223,71
2-й механик	1	5130	165,48
3-й механик	1	4650	150,00
Электромеханик	2	4830	155,81

Окончание табл. 3.6

Должность	Число членов экипажа	Оклад, USD/мес.	Суточная ставка, $C_{сут}$, USD/сут
Радист	1	2015	65,00
Боцман	1	1995	64,35
Матрос 1-го класса	5	1415	45,65
Матрос 2-го класса	5	1100	35,48
Моторист 1-го класса	5	1915	61,77
Повар	1	1215	39,19
Стюард	1	1000	32,26
Буфетчик	1	995	32,10
Судовой врач	1	1350	43,55
Сумма	30	56 010	1806,77

Таблица 3.7

Расчет суточных расходов на содержание экипажа

Наименование	Обозначение	Значение
Коэффициент дополнительных выплат: – в эксплуатации – в ремонте	$K_{доп}$	0,40 0,10
Коэффициент начислений на социальное страхование	$K_{стр}$	0,01
Надбавка за работу в ледовых условиях	$K_{л.у.}$	0,20
Заработная плата экипажа, USD/сут	$ЗП = (1 K_{доп}) (1 K_{л.у.}) \times (1 K_{стр}) \sum C_{сут}$	3284,71
Начисления на заработную плату, USD/сут	$НЧ = 0,38 ЗП$	1238,19
Расходы на столовое довольствие 1 члена экипажа в сутки, USD/чел.-сут	$S_{сд}$	8,5
Расходы на столовое довольствие экипажа, USD/сут	$СД = n_{эк} S_{сд}$	255
Общесудовые расходы на обслуживание экипажа, USD/сут	$ИР = 0,25 \sum C_{сут}$	451,69
Суточные расходы на содержание экипажа, USD/сут	$a_{эк} = ЗП + НЧ + СД + ИР$	5229,59

Суточные расходы на страхование определяются по формуле

$$a_{\text{стр}} = b_{\text{стр}} \cdot (a_{\text{ам}} + a_{\text{рем}} + a_{\text{эк}} + a_{\text{снаб}}). \quad (3.57)$$

Суточный размер портовых сборов равен

$$a_i^{\text{сбор}} = \frac{\text{BRT} \times a_i}{T_p}, \quad (3.58)$$

где s_i – ставка i -го сбора, руб./1 рег. т.

Размеры портовых сборов для каботажных судов-контейнеровозов в портах Мурманска и Петропавловск-Камчатского представлены в табл. 3.8.

Таблица 3.8

Ставки портовых сборов

Мурманск		Петропавловск-Камчатский	
Вид сбора	Ставка, руб./ 1 рег. т	Вид сбора	Ставка, руб./ 1 рег. т
Корабельный	1,52	Корабельный	3,60
Лоцманский	0,06	Лоцманский	0,22
Маячный	0,02	Маячный	0,44
Навигационный	0,72	Навигационный	0,39
Сбор транспортной безопасности	0,19	Сбор транспортной безопасности	0,19
Сумма сборов	2,51	Сумма сборов	4,84

Суточные косвенные расходы (административно-управленческие) составляют около 5 % от суммы постоянных эксплуатационных расходов; рассчитываются по формуле

$$a_{\text{кос}} = 0,05_{\text{пр.пост}}. \quad (3.59)$$

Результаты расчетов сметы эксплуатационных расходов судна представлены в табл. П.Ж.1. Критерием оптимальности на данном этапе является наименьшая себестоимость содержания судна в сутки на ходу. Оптимальным вариантом здесь становится судно с характеристиками $D_{\text{ч}}^1$, v_1 , N_1 .

3.8. Расчет экономических показателей работы судна

Для более полного экономического анализа показатели будут определены для перевозки всего объема грузопотока.

Доходы судна состоят из оплаты фрахта, рассчитываемого по формуле

$$F = \bar{f} \times \sum Q_i, \quad (3.60)$$

где $\bar{f}$ – ставка фрахта на перевозку контейнера i -го типоразмера, USD/TEU, USD/FEU; $\sum Q_i$ – количество контейнеров i -го типоразмера, потенциально перевозимых на линии, TEU, FEU.

Расчет финансовых показателей работы флота производится с учетом ставок на перевозку двадцати- и сорокафутового контейнера следующего уровня:

I вариант – 4500 USD/TEU, 8500 USD/FEU;

II вариант – 3500 USD/TEU, 6500 USD/FEU;

III вариант – 2500 USD/TEU, 4500 USD/FEU.

Расчет финансовых показателей работы флота:

– расходы за эксплуатационный период:

$$R = (S_x \times t_{\text{ход}} + S_{\text{ст}} \times t_{\text{ст}}) \times r \times n_c; \quad (3.61)$$

– финансовый результат:

$$\Delta F = F - R; \quad (3.62)$$

– себестоимость перевозки 1 т:

$$S_r = \frac{R}{\Pi_r \times n_c}; \quad (3.63)$$

– себестоимость перевозки 1 тонно-мили:

$$S_{T-M} = \frac{R}{\Pi_r \times n_c \times t}; \quad (3.64)$$

– себестоимость перевозки 1 ед. TEU:

$$S_{\text{TEU}} = \frac{R}{\Pi_{\text{TEU}} \times n_c}; \quad (3.65)$$

– уровень доходности:

$$K_{\text{дох}} = \frac{\Delta F}{R}; \quad (3.66)$$

– удельная доходность:

$$K_{\text{дох}}^{\text{уд}} = \frac{\Delta F}{T_{\text{экс}}}; \quad (3.67)$$

– приведенные затраты:

$$S_{\text{пр}} = R + E_{\text{н}} \times K_{\text{с}} \times n_{\text{с}}, \quad (3.68)$$

где $E_{\text{н}}$ – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений по флоту, $E_{\text{н}} = 0,15$;

– удельные приведенные затраты:

$$S_{\text{пр}}^{\text{уд}} = S_{\text{т}} + E_{\text{н}} \times K_{\text{уд}}^{\text{дох}}; \quad (3.69)$$

– удельные капиталовложения на 1 т перевезенного груза:

$$K_{\text{уд}}^{\text{т}} = \frac{K_{\text{с}} \times n_{\text{с}}}{\Pi_{\text{т}}}; \quad (3.70)$$

– удельные капиталовложения на 1 перевезенный контейнер в TEU т перевезенного груза:

$$K_{\text{уд}}^{\text{TEU}} = \frac{K_{\text{с}} \times n_{\text{с}}}{\Pi_{\text{TEU}}}; \quad (3.71)$$

– рентабельность (отношение прибыли к расходам), отражающая уровень прибыльности, %:

$$f = \frac{\Delta F}{R} \times 100; \quad (3.72)$$

– общая (абсолютная) экономическая эффективность капитальных вложений:

$$\Theta_{\text{o}} = \frac{\Delta F}{K_{\text{с}} \times n_{\text{с}}}; \quad (3.73)$$

– срок окупаемости капитальных вложений:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{с}} \times n_{\text{с}}}{\Delta F}. \quad (3.74)$$

Результаты расчетов валютно-финансовых показателей эксплуатации судна представлены в табл. П.3.1. На данном этапе определяется оптимальный тип судна для перевозки грузов по Северному морскому пути.

3.9. Выбор оптимального типа судна

Сравнительная оценка исследуемых вариантов производится по полученным в подразд. 3.8 экономическим показателям, а именно:

- приведенные затраты;
- эффективность капитальных вложений;
- срок окупаемости;
- финансовый результат;
- себестоимость перевозки 1 контейнера.

Приведенные затраты выражают величину всех затрат, приведенных к одной размерности с помощью нормативного коэффициента эффективности капитальных вложений. Оптимальность показателя приведенных затрат выражается в наименьшем его значении из исследуемых вариантов. Среди 36 сравниваемых вариантов судов наименьшими приведенными затратами, равными 279012668,91 USD, характеризуется судно варианта D_4^1 , v_3 , N_1 .

Экономическая эффективность капитальных вложений определяет целесообразность капитальных вложений в строительство судов расчетного типа и выражает величину дохода, приходящуюся на каждый затраченный на конструкцию доллар; зависит от величины финансового результата, который, в свою очередь, находится в зависимости от ставки фрахта. Таким образом, показатель экономической эффективности просчитывается для каждого варианта судна с варьированием по размеру тарифа за перевозку. Оптимальное значение данного показателя стремится к максимуму, увеличивается с ростом финансового результата и снижением строительной стоимости судна. Наибольшую эффективность капитальных вложений по результатам расчета демонстрирует судно типа D_4^1 , v_3 , N_1 ; при ставке фрахта 4500USD/TEU-8500/FEU показатель достигает 1,78, при ставке фрахта 3500USD/TEU-6500/FEU – 0,92, при ставке фрахта 2500USD/TEU-4500/FEU – 0,33.

Срок окупаемости характеризует время, за которое вернется затраченный на строительство флота капитал. Оптимальное значение показателя

теля срока окупаемости стремится к минимуму. Срок окупаемости возрастает с увеличением строительной стоимости судна и снижением финансового результата.

Минимальным сроком окупаемости из исследуемых вариантов судов характеризуется судно типа $D_ч^1, v_3, N_1$; при ставке фрахта 4500USD/TEU-8500/FEU показатель составляет 7 месяцев, при ставке фрахта 3500USD/TEU-6500/FEU – 1 год и 1 месяц, при ставке фрахта 2500USD/TEU-4500/FEU – 3 года.

Финансовый результат характеризует чистую прибыль от освоения заданного грузопотока флотом судов расчетного типа и определяется разницей между фрахтом и суммой расходов за эксплуатационный период. Наилучший финансовый результат среди анализируемых вариантов судов показывает судно варианта $D_ч^1, v_3, N_1$. При этом на рост финансового результата влияет размер ставки на перевозку контейнера: чем выше ставка, тем больше финансовый результат. При ставке фрахта 4500USD/TEU-8500/FEU финансовый результат от перевозок судном оптимального типа составляет 365014439,41 USD, при ставке фрахта 3500USD/TEU-6500/FEU – 223010439,41 USD, при ставке фрахта 2500USD/TEU-4500/FEU – 81006439,41 USD.

Себестоимость перевозки одного контейнера зависит от суммы всех эксплуатационных затрат судна и провозной способности флота. Данный показатель снижается с ростом чистой грузоподъемности и скорости судна. Оптимальное значение стремится к минимуму. Таким образом, среди исследуемых вариантов судов минимальной себестоимостью перевозки, равной 1489,28 USD/TEU, характеризуется судно варианта $D_ч^4, v_3, N_1$.

На основании анализа расчетов экономических показателей работы судов различных вариантов был определен оптимальный тип транспортного судна для перевозки грузов по Северному морскому пути – $D_ч^1, v_3, N_1$.

В таблице 3.9 представлены основные технико-эксплуатационные характеристики оптимального типа судна.

Таблица 3.9

Технико-эксплуатационные характеристики судна оптимального типа

Характеристика	Значение
Специализация	Контейнеровоз
Район плавания	Неограниченный
Водоизмещение, D, т	54 688,38
Дедвейт, D _w , т	42 804,65
Контейнеровместимость, W _к , TEU	2325
Чистая грузоподъемность, D _ч , т	34 277
Брутто-регистрационный тоннаж, BRT, рег. т	36 383,95
Скорость хода, уз	18,5
Тип СЭУ	Дизель-электрическая
Мощность СЭУ, л.с.	52345
Ледовый класс	Arc7
Численность экипажа, чел.	30

При данном наборе характеристик судно демонстрирует наименьшие приведенные затраты и срок окупаемости, при этом показатель эффективности капитальных затрат достигает наибольшего значения. Финансовый результат положителен даже при самом малом из приведенных уровней ставок [30].

3.10. Расчет главных размерений судна

Для определения главных размерений судна-контейнеровоза необходимо начать с распределения контейнеровместимости на трюмное и палубное хранение.

Число контейнеров в трюме определяется по формуле

$$W_{\text{тр}} = W_{\text{к}} \times (1 - K_{\text{пал}}), \quad (3.75)$$

где $K_{\text{пал}}$ – коэффициент палубных контейнеров, равный отношению количества контейнеров на палубе к общей контейнеровместимости судна.

Число контейнеров на палубе равно

$$W_{\text{пал}} = W_{\text{к}} - W_{\text{тр}}. \quad (3.76)$$

Количество контейнеров по ширине трюма определяется по судну-прототипу; составляет $n_b = 10$ контейнеров по ширине трюма, 12 контейнеров – по ширине палубы.

Количество контейнеров по высоте трюма также выбирается по судну-прототипу; составляет $n_h = 7$ контейнеров. На палубе размещается максимум 7 контейнеров в высоту.

По длине судна число контейнеров рассчитывается по формуле

$$n_l = \frac{w_{тр}}{n_b \times n_h} + (3 + 5), \quad (3.77)$$

где в скобках указано число контейнеров, которое учитывает сужение носовой и кормовой оконечностей судна.

Ширина судна представится в виде

$$B = b_x \times n_E + \sum B_{зaz} + 2 \times b_0, \quad (3.78)$$

где b_k – ширина контейнера, м; $\sum B_{зaz}$ – сумма зазоров между контейнерами по ширине судна в трюме (величина одного зазора составляет 0,235 м); $b_0 = 0,5 B (1 - K_b)$ – ширина двойного борта; K_b – коэффициент раскрытия палубы по ширине, $K_b = 0,92$.

Высота борта определяется по формуле

$$H = h_x \times n_h + h_{дд} + \alpha - h_{ком}, \quad (3.79)$$

где $h_{дд}$ – высота двойного дна, м; $h_{ком}$ – высота комингса грузового люка, м; α – расстояние от крыши верхнего контейнера до нижней плоскости крышки люкового закрытия, м; h_k – высота контейнера, м.

Длина судна равна

$$L = L_{ф} + L_{ax} + L_{мо} + L_{тр}, \quad (3.80)$$

где $L_{ф} = 0,05 L$ – длина форпика, м; L_{ax} – длина ахтерпика, м; $L_{мо}$ – длина машинного отделения, м; $L_{тр} = l_k n_l + 0,235 n_l + (n_l/2) 1,5$ – длина трюмной части, м, где l_k – длина 20-футового контейнера.

В таблице 3.10 представлены размеры контейнеров стандартных типоразмеров.

Таблица 3.10

Габаритные размеры контейнеров

Характеристика	Типоразмер контейнера	
	20-футовый	40-футовый
Длина, l_k , мм	6058	12 192
Ширина, b_k , мм	2438	2438
Высота, h_k , м	2591	2591

Осадка судна определяется по формуле

$$T = \frac{D}{\gamma \times \delta \times L \times B}, \quad (3.81)$$

где $\gamma = 1,025 \text{ м}^3/\text{т}$ – удельный вес морской воды; δ – коэффициент общей полноты судна, рассчитывающийся по формуле

$$\delta = 0,98 - \frac{0,97 \times V_{ed}}{10 \times B_w^{\frac{1}{6}}} + 0,003, \quad (3.82)$$

где V_{ed} – сдаточная скорость судна, уз, принимаемая на 7 % выше технической.

Проверка размерений производится с помощью вычисления отношений главных размерений, которые должны соответствовать среднестатистическим значениям:

$$- L / B = 6,62 \pm 0,4;$$

$$- B / T = 2,81 \pm 0,3;$$

$$- H / T = 1,56 \pm 0,4.$$

Результаты расчетов главных размерений судна представлены в табл. 3.11.

Таблица 3.11

Главные размерения судна оптимального типа

Характеристика	Значение
Коэффициент палубных контейнеров, $K_{\text{пал}}$	0,4
Число трюмных контейнеров, $W_{\text{к}}^{\text{тр}}$, TEU	1395
Число палубных контейнеров, $W_{\text{к}}^{\text{пал}}$, TEU	930
Количество контейнеров по ширине трюма, n_b , TEU	10

Окончание табл. 3.11

Характеристика	Значение
Количество контейнеров по высоте трюма, n_b , TEU	7
Количество контейнеров по длине трюма, n_l , TEU	22
Ширина судна, В, м	29,05
Высота борта, Н, м	18,84
Высота двойного дна, $h_{дд}$, м	1,4
Высота комингса грузового люка, $h_{ком}$, м	1,2
Расстояние от крыши верхнего контейнера до нижней плоскости крышки люкового закрытия, а, м	0,5
Длина судна, L, м	206,26
Длина ахтерпика, $L_{ах}$, м	8
Длина машинного отделения, $L_{мо}$, м	33
Длина трюмной части, $L_{тр}$, м	154,95
Осадка судна, Т, м	11,87
Коэффициент общей полноты судна, δ	0,749
Отношения главных размерений судна:	
L/B	7,01
H/T	1,59
B/T	2,45
L/H	10,95

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Цель исследования заключалась в определении оптимального типа и характеристик судна, предназначенного для перевозки грузов по СМП. Работа была разбита на три главы, две из которых посвящены теоретическому обоснованию темы, и одна – расчетам.

В первой главе исследовательской работы рассматривались вопросы, посвященные анализу условий навигации судов и оценке перспектив развития грузоперевозок по СМП. Таким образом, дана характеристика условий перевозок грузов по Северному морскому пути, в частности охарактеризована сама трасса, проанализированы внешние условия эксплуатации судов, определены номенклатура, объемы, направления, структура и тенденции развития грузопотоков СМП. Дана также оценка современного состояния и перспектив развития судоходства по Севморпути, в частности актуализирована тема развития арктических контейнерных перевозок на примере проекта Арктической контейнерной линии.

Во второй главе раскрыты вопросы обоснования вариативного ряда характеристик оптимального типа судна для перевозки грузов по СМП. Дано обоснование основных технико-эксплуатационных характеристик судна, в частности грузоподъемности, скорости, типа СЭУ и специализации судна (контейнеровоз). Определены пределы и интервалы варьирования, на основании которых в третьей главе сформирована матрица расчетных вариантов судов. Во втором подразделе второй главы определены требования к конструкции судов, обусловленные климатическими и географическими параметрами района навигации, а также конструктивные особенности судов ледового плавания и архитектурно-конструктивный тип судна-контейнеровоза.

Третья глава исследования посвящена расчетам технико-эксплуатационных характеристик судов вариативного ряда. Выявлены основные параметры потенциальной линии и характеристики судна, а именно:

- определена структура потенциального контейнеропотока;

- произведен расчет основных параметров линии;
- определены значения верхних пределов вариативного ряда;
- рассчитаны весовые характеристики судов по исследуемым вариантам;
- произведен расчет провозной способности судна и потребности линии в судах для освоения заданного контейнеропотока;
- определена расчетным путем строительная стоимость судна;
- произведен расчет сметы эксплуатационных расходов судна по каждому варианту;
- рассчитаны экономические показатели эксплуатации судна;
- по показателям приведенных затрат, срока окупаемости, эффективности капитальных вложений, финансового результата получен оптимальный тип судна для перевозки грузов по СМП;
- рассчитаны главные размерения судна оптимального типа.

Таким образом, по результатам исследования оптимальным судном для перевозки грузов по СМП является судно-контейнеровоз усиленного ледового класса Arc7 с контейнеровместимостью 2325 TEU, грузоподъемностью 34 277 т, дизель-электрической СЭУ мощностью 52 345 л.с., длиной 206,26 м, шириной 29,05 м, высотой борта 18,84 м и максимальной осадкой, равной 11,87 м.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алексашин, А.А. Современное состояние и перспективы развития ледового судостроения и судоходства: Кораблестроение для Арктики / А.А. Алексашин, В.Н. Половинкин. – Санкт-Петербург: ФГУП «Крыловский государственный научный центр», 2015. – URL: http://arctica-as.ru/docs/1%2817%29/018_030%20ARKTIKA.pdf (дата обращения: 15.01.2021).
2. Ашик, В.В. Проектирование судов / В.В. Ашик. – Ленинград: Судостроение, 1985. – 318 с.
3. Бакаев, В.Г. Эксплуатация морского флота / В.Г. Бакаев. – Москва: Транспорт, 1965. – 560 с.
4. Бородавин, Д.И. Проектное обоснование технических и экономических характеристик контейнерных и накатных судов: автореф. ... канд. техн. наук: 05.08.03 / Бородавин Денис Иванович. – Санкт-Петербург, 2012. – 20 с.
5. Бородавин, Д.И. Схема проектного анализа контейнерных судов / Д.И. Бородавин // Вестник АГТУ. Серия: Морская техника и технология. – 2011. – № 1. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/shema-proektnogo-analiza-konteynernih-sudov> (дата обращения: 16.12.2020).
6. Бронников, А.В. Морские транспортные суда: Основы проектирования: учеб. пособие для вузов по спец. «Судостроение и судоремонт» / А.В. Бронников. – 2-е изд., перераб. и доп. – Ленинград: Судостроение, 1984. – 351 с.
7. Бронников, А.В. Проектирование судов / А.В. Бронников. – Ленинград: Судостроение, 1991. – 320 с.
8. Бронников, А.В. Разработка основных технико-эксплуатационных требований на проектирование морского судна / А.В. Бронников. – Санкт-Петербург: СПбГМТУ, 1997. – 187 с.
9. Бронников, А.В. Суда ледового плавания. Особенности проектирования: учеб. пособие / А.В. Бронников. – Ленинград: ЛКИ, 1984. – 38 с.

10. Буянов, А.С. Условия реализации проекта создания Арктической контейнерной линии / А.С. Буянов, М.А. Лихачева, А.А. Штрек // Морские вести. – 2016. – № 9. – С. 24–31.
11. Винокур, Л.Б. Мультимодальные перевозки: учеб. пособие для выполнения курсовой работы / Л.Б. Винокур. – Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2018. – 36 с.
12. Воронина, Е.П. Современное состояние и перспективы развития грузопотоков по Северному морскому пути: актуальные проблемы и пути решения / Е.П. Воронина // Экономика и бизнес: теория и практика. – 2019. – № 57. – С. 185–191.
13. Гайкович, А.И. Проектирование контейнерных судов: учеб. пособие / А.И. Гайкович; Ленингр. кораблестроит. ин-т. – Ленинград: ЛКИ, 1985. – 91 с.
14. Глебко, Ю. Крупнотоннажные суда в Арктике: реальность и перспективы / Ю. Глебко, Л. Цой, А. Штрек // Морской флот. – 2017. – № 9. – С. 24–31.
15. Государственная программа Российской Федерации «Развитие судостроения на 2013–2030 годы». – Москва, 2012. – 189 с.
16. Государственная программа «Стратегия развития судостроительной промышленности до 2035 год», утвержденная Распоряжением от 28 октября 2019 г. № 2553-р. – Москва, 2019. – 35 с.
17. Груздева, Е.В. Потенциал грузоперевозок по Северному морскому пути / Е.В. Груздева // МИР (Модернизация. Инновации. Развитие). – 2015. – № 4-2 (24). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/potentsial-gruzoperevozok-po-severnomu-morskому-puti> (дата обращения: 18.07.2020).
18. Добродеев, А.А. Современные подходы к обеспечению навигации крупнотоннажных судов во льдах / А.А. Добродеев, Н.Ю. Клементьева, К.Е. Сазонов // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. – 2015. – № 4 (59). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennyye-podhody-k-obespecheniyu-navigatsii-krupnotonnazhnyh-sudov-vo-ldah> (дата обращения: 25.07.2020).
19. Ерохин, В.Л. Северный морской путь и арктические транспортные коридоры: проблемы использования и прогнозы коммерциализации

грузоперевозок / В.Л. Ерохин // Маркетинг и логистика. – 2017. – № 6 (14). – С. 22–44.

20. Загородников, М. А. Анализ внешних факторов, влияющих на эффективность функционирования Северного морского пути (СМП) / М. А. Загородников // Экономика и управление. – 2017. – № 2. – С. 60–69.

21. Качанов, И. В. Проектирование судов: пособие для студентов специальности 1-37 03 02 «Кораблестроение и техническая эксплуатация водного транспорта» / И. В. Качанов. – Минск: БНТУ, 2019. – 266 с.

22. Комплексный план модернизации и расширения магистральной инфраструктуры на период до 2024 года, утвержденный распоряжением Правительства РФ от 30 сентября 2018 г. № 2101-р.

23. Критерии безопасности: Севморпуть // Морские вести России. – 2017. – URL: <http://www.morvesti.ru/themes/1698/63482/> (дата обращения: 25.12.2020).

24. Кутейников, М. А. Суда двойного действия / А. В. Шкоков, В. Н. Трякин, В. В. Платонов // Труды Крыловского государственного научного центра. – 2020. – № 1. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/suda-dvoynogo-deystviya> (дата обращения: 25.07.2020).

25. Лазарев, А. Н. Особенности оценки стоимости строительства морских и речных судов на основе затратного подхода / А. Н. Лазарев, Л. Н. Буянова // Транспортное дело России. – 2011. – № 9. – С. 136–140. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-otsenki-stoimosti-stroitelstva-morskih-i-rechnyh-sudov-na-osnove-zatratnogo-podhoda> (дата обращения: 04.04.2021).

26. Лобанов, В. А. Ледовые качества и ледовая аварийность флота внутреннего и смешанного плавания / В. А. Лобанов // Вестник евразийской науки. – 2013. – № 4 (17). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ledovye-kachestva-i-ledovaya-avariynost-flota-vnutrennego-i-smeshannogo-plavaniya> (дата обращения: 22.10.2020).

27. Макоско, А. А. Гидрометеорологическое обеспечение плавания по трассам Северного морского пути / А. А. Макоско // Проблемы Северного морского пути. – 2017. – № 11 (12). – URL: [http://ibrae.ac.ru/docs/3\(11\)/040_049_ARKTIKA_3\(11\)_09_2013.pdf](http://ibrae.ac.ru/docs/3(11)/040_049_ARKTIKA_3(11)_09_2013.pdf) (дата обращения: 03.12.2020).

28. Международный кодекс для судов, эксплуатирующийся в полярных водах (Полярный кодекс): РЕЗОЛЮЦИЯ MSC.385 (94) от 21 ноября 2014 года // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – Москва: АО «Кодекс», 2020. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/420376046> (дата обращения: 20.10.2020).

29. Об утверждении государственной программы «Развитие судостроения на 2013–2030 годы»: Распоряжение Правительства РФ от 24 декабря 2012 г. № 2514-р.: электронный документ. – URL: <http://government.ru/docs/3349/> (дата обращения: 16.04.2020).

30. Огай, С.А. Методологические подходы для определения оптимальных проектных характеристик многоцелевого судна ледового плавания: автореф. ... канд. наук / Огай Сергей Алексеевич. – Владивосток, 2019. – 48 с.

31. Сахновский, Б.М. Разработка методологии обоснования проектных характеристик судов смешанного и внутреннего плавания с учетом доминирующих факторов эксплуатации: автореф.... д-ра техн. наук / Сахновский Борис Михайлович. – Санкт-Петербург, 2006 – 41 с.

32. Серова, Н. А. Основные тенденции развития транспортной инфраструктуры российской Арктики / Н. А. Серова, В. А. Серова // Арктика и Север. – 2019. – № 36. – С. 1–15. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osnovnye-tendentsii-razvitiya-transportnoy-infrastruktury-rossiyskoj-arktiki> (дата обращения: 04.07.2020).

33. Штрек, А. А. Современные тенденции и вызовы при проектировании арктических транспортных судов / А. А. Штрек // Российская Арктика. – 2019. – № 5. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-tendentsii-i-vyzovy-pri-proektirovanii-arkticheskikh-transportnyh-sudov> (дата обращения: 24.12.2020).

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

Основные характеристики главных портов Северного морского пути

Таблица П.А.1

Основные характеристики портов СМП

Характеристика порта	Порты захода СМП					
	Мурманск	Архангельск	Сабетта	Тикси	Певек	Провидения
Местонахождение	Баренцево море, южное колено Кольского залива	Белое море, Двинский залив	Карское море, западный берег Обской губы	Море Лаптевых, губа Буор-Хая	Восточно-Сибирское море, Чаунская губа	Берингово море, бухта Провидения
Специализация	Универсальный	Универсальный	СПГ, нефтепродукты	Сухие грузы	Сухие грузы	Универсальный
Площадь:						
– территории, га	645,895	215,26	179,5	7,29	19	12,7
– акватории, км ²	53,699	1120	1177	96,78	8,9	13,02
Количество причалов, ед.	97	74	11	10	3	4
Длина причального фронта, п.м.	11 525,81	8794,58	2365,8	1724	500	350,82

Характери- стика порта	Порты захода СМП					
	Мур- манск	Архан- гельск	Сабетта	Тикси	Певек	Прови- дения
Пропускная способ- ность всего, тыс. т/год	22 972,2	11 532,9	30 317,8	67	330	345,4
В том числе:						
– наливные грузы, тыс. т/год	2500	5200	27 851,19	–	–	25
– сухие гру- зы, тыс. т/год	18 985,4	5432,9	2466,61	67	150	300
– контейне- ры, тыс. ДФЭ	123,9	75	–	–	15	1,7
Максимальные габариты судов:						
– осадка, м	Без огра- ничений	9,2	12	3,9	9	10
– ширина, м		30	50	15,8	24,55	24
– длина, м		190	315	129,5	172,2	200
Площадь складов:						
– крытых, тыс. км ²	91,3	134,55	–	3,83	4,18	3
– открытых, тыс. км ²	187,84	502,74	–	32,35	77,8	–
Емкость резервуаров для нефте- продуктов, тыс. т	68,1	Отсутст- вует	200	–	–	25
Режим на- вигации	Кругло- годичный	Круглого- дичный	Кругло- годичный	Июнь – сентябрь	Июнь – октябрь	Май – январь

Приложение Б

Актуальное положение судоходства по Северному морскому пути

Таблица П.Б.1

Количество совершенных судами различных типов рейсов по СМП в 2019 г.

Тип судна	Ледовый класс судна										
	Нет	Ice1	Ice2	Ice3	Arc4	Arc5	Arc6	Arc7	Arc8	Σ	Процент от Σ
Танкер	46	61	17	8	150	90	–	427	–	799	32,52
Газовоз	4	–	12	–	52	–	–	439	–	507	20,63
Генеральные грузы	2	125	59	–	199	157	–	4	–	546	22,22
Контейнеровоз	–	–	–	–	10	22	–	139	–	171	6,96
Навалочный	–	–	1	–	16	1	–	–	–	18	0,73
Промысловый	1	–	7	7	–	–	–	–	–	15	0,61
Пассажирский	–	–	2	–	6	3	–	–	–	11	0,45
Рефрижераторный	–	1	4	–	4	–	–	–	–	9	0,37
Другие	99	110	31	17	43	45	1	21	14	381	15,51
Σ	152	297	133	32	480	318	1	1030	14	2457	100
Процент от Σ	6,19	12,09	5,41	1,30	19,54	12,94	0,04	41,92	0,57	100	

Примечание: к категории типов судов «Другие» относятся суда вспомогательного, обслуживающего и специализированного флота.

**Количество совершенных судами различных типов рейсов
по СМП в 2018 г.**

Тип судна	Ледовый класс судна										
	Нет	Ice1	Ice2	Ice3	Arc 4	Arc 5	Arc 6	Arc 7	Arc 8	Σ	Процент от Σ
Танкер	21	32	16	11	31	41	–	92	–	244	42,58
Газовоз	2	–	12	–	22	–	–	34	–	70	12,22
Генеральные грузы	17	11	–	7	6	21	–	16	–	78	13,61
Контейнеровоз	–	–	–	–	14	4	–	31	–	49	8,55
Навалочное	–	–	–	–	13	–	–	–	–	13	2,27
Промысловое	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0	0,00
Пассажирское	–	–	1	–	3	–	–	–	–	4	0,70
Рефрижераторное	–	–	1	–	–	–	–	–	–	1	0,17
Другие	11	14	3	–	21	26	3	24	12	114	19,90
Σ	51	57	33	18	110	92	3	197	12	573	100
Процент от Σ	8,90	9,95	5,76	3,14	19,20	16,06	0,52	34,38	2,09	100	

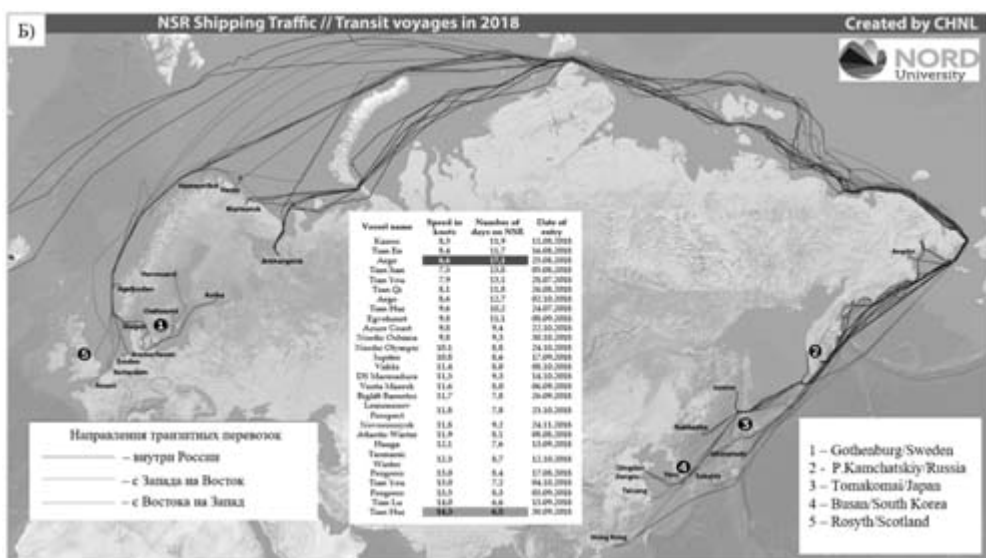
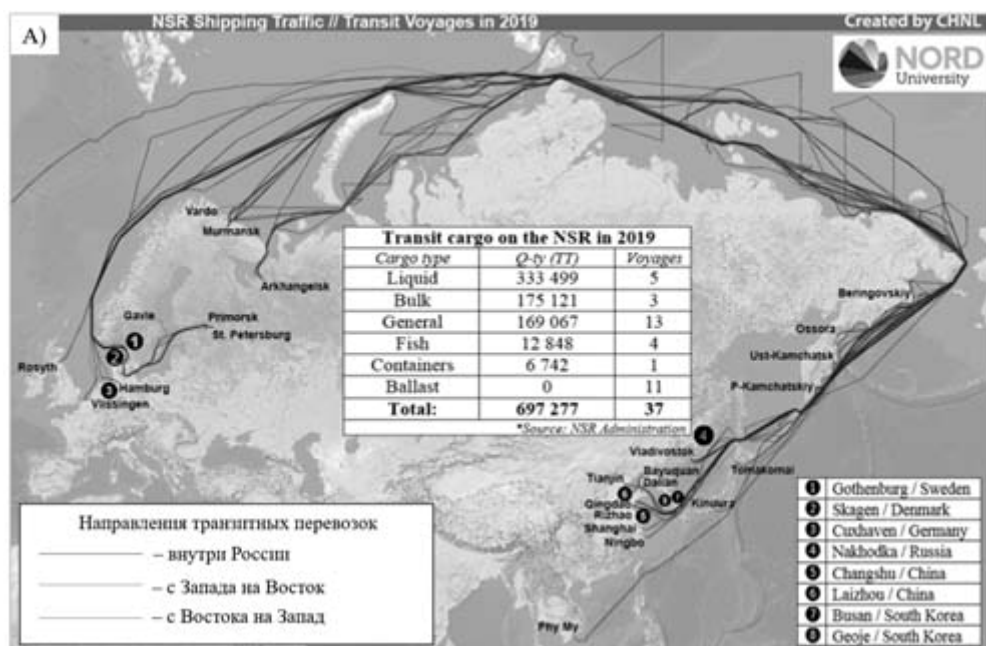


Рис. П.Б.1. Направления транзитных перевозок по СМП:
 А – в 2019 г.; Б – в 2018 г.

Характеристики судна-прототипа

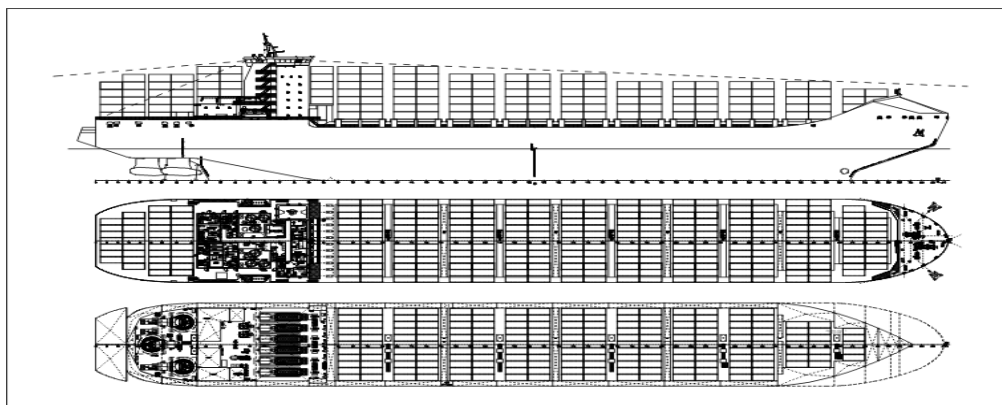


Рис. П.В.1. План контейнеровоза проекта ICV51

Таблица П.В.1

Технико-эксплуатационные характеристики судна-прототипа

Характеристика	Значение
Специализация	Контейнеровоз
Район плавания	Неограниченный
Водоизмещение, D , т	51 494
Грузовместимость, W , m^3	70 855
Чистая грузоподъемность, $D_{\text{ч}}$, т	34 277
Контейнеровместимость, TEU:	
– трюмная	1568
– палубная	522
– общая	2090
– рефрижераторные контейнеры	200
Дедвейт, D_w , т, при осадке:	
– по ЛГВЛ	40 062
– по КВЛ	35 358
– 11 м	32 021
Осадка, T , м:	
– по ЛГВЛ	12,2
– по КВЛ	11,5
– в балласте	9,5

Окончание табл. П.В.1

Характеристика	Значение
Длина, L, м	237
Ширина, В, м	32,2
Высота борта, Н, м	20,5
Количество грузовых трюмов, ед.	5
Скорость хода, уз	20,3±0,3
Тип СЭУ	Дизель-электрическая
Мощность СЭУ, кВт	45 000
Удельный расход топлива, г/кВт-ч (э.л.с./кВт-ч)	165,2 (221,45)
Ледовый класс	Arc7
Рабочие температуры судовых систем и устройств, С°: – наружного воздуха – забортной воды	От +35 до –40 От +30 до –2
Численность экипажа, чел.	30

Приложение Г

Результаты расчета весовых характеристик судна. Графики зависимости дедвейта судна от скорости, мощности и чистой грузоподъемности

Таблица П.Г.1

Результаты расчета весовых характеристик судна по исследуемым вариантам

Характеристика судна	Варианты по грузоподъемности, т											
	34 277			35 200			36 200			37 246		
	Варианты по скорости, уз											
	14,5	16,5	18,5	14,5	16,5	18,5	14,5	16,5	18,5	14,5	16,5	18,5
D_w^I , т	39 857			40 930			42 093			43 309		
D^I , т	53 861			55 311			56 882			58 526		
Тип СЭУ	N _I											
a _k	0,203743			0,197524			0,190941			0,18422		
P _k , т	10 973,73			10 925,26			10 861,18			10 781,7		
P _м , т	910											
t _{ход} , сут	15,66	13,76	12,27	15,66	13,76	12,27	15,66	13,76	12,27	15,66	13,76	12,27
t _{ст} , сут	8											
t _p , сут	23,66	21,76	20,27	23,66	21,76	20,27	23,66	21,76	20,27	23,66	21,76	20,27
q _{л.г.} ^{хол} , т/сут	266,33											
q _{л.г.} ^{ст} , т/сут	34,62											

Продолжение табл. П.Г.1

Характеристика судна	Варианты по грузоподъемности, т											
	34 277			35 200			36 200			37 246		
	Варианты по скорости, уз											
	14,5	16,5	18,5	14,5	16,5	18,5	14,5	16,5	18,5	14,5	16,5	18,5
Q _{д.т} , т	5781,97	6718,96	7671,29	5781,97	6718,96	7671,29	5781,97	6718,96	7671,29	5781,97	6718,96	7671,29
Q _{г.т} , т	6360,17	7390,85	8438,42	6360,17	7390,85	8438,42	6360,17	7390,85	8438,42	6360,17	7390,85	8438,42
Q _{вод.} ^{ход/ст} , т/сут	3											
Q _{вод.} , т	92,27	84,87	79,07	92,27	84,87	79,07	92,27	84,87	79,07	92,27	84,87	79,07
Q _{пр.} , т	11,86	10,91	10,16	11,86	10,91	10,16	11,86	10,91	10,16	11,86	10,91	10,16
Q _{з.} , т	6464,30	7486,63	8527,65	6464,30	7486,63	8527,65	6464,30	7486,63	8527,65	6464,30	7486,63	8527,65
D ^{II} , т	52 625,04	53 647,36	54 688,38	53 499,60	54 521,93	55 562,95	54 435,50	55 457,83	56 498,85	55 402,00	56 424,33	57 465,35
Dw ^{II} , т	40 741,30	41 763,63	42 804,65	41 664,30	42 686,63	43 727,65	42 664,30	43 686,63	44 727,65	43 710,30	44 732,63	45 773,65
BRT, рег. т	34 630,11	35 499,08	36 383,95	35 414,66	36 283,63	37 168,50	36 264,66	37 133,63	38 018,50	37 153,76	38 022,73	38 907,60
NRT, рег. т	26 481,85	27 146,36	27 823,02	27 081,80	27 746,31	28 422,97	27 731,80	28 396,31	29 072,97	28 411,70	29 076,21	29 752,87
W _к , TEU	2212,00	2268,00	2325,00	2263,00	2318,00	2375,00	2317,00	2372,00	2429,00	2374,00	2429,00	2486,00
Тип СЭУ	N ₂											
a _к	0,203743			0,197524			0,190941			0,18422		
P _к ,т	10 973,73			10925,26			10861,18			10 781,7		
P _м , т	1020											
t _{ход} , сут	15,66	13,76	12,27	15,66	13,76	12,27	15,66	13,76	12,27	15,66	13,76	12,27

Продолжение табл. П.Г.1

Характеристика судна	Варианты по грузоподъемности, т											
	34 277			35 200			36 200			37 246		
t _{ст} , сут	8											
t _р , сут	23,66	21,76	20,27	23,66	21,76	20,27	23,66	21,76	20,27	23,66	21,76	20,27
q _{д.т.} ^{ход} , т/сут	309,49											
q _{д.т.} ^{ст} , т/сут	40,23											
Q _{д.т.} т	5124,775	5955,257	6799,346	5124,775	5955,257	6799,346	5124,775	5955,257	6799,346	5124,775	5955,257	6799,346
Q _г , т	5637,25	6550,78	7479,28	5637,25	6550,78	7479,28	5637,25	6550,78	7479,28	5637,25	6550,78	7479,28
q _{вод.} ^{ход/ст} , т/сут	3											
Q _{вод.} т	92,27	84,87	79,07	92,27	84,87	79,07	92,27	84,87	79,07	92,27	84,87	79,07
Q _{пр} , т	11,86	10,91	10,16	11,86	10,91	10,16	11,86	10,91	10,16	11,86	10,91	10,16
Q _з , т	5741,38	6646,56	7568,51	5741,38	6646,56	7568,51	5741,38	6646,56	7568,51	5741,38	6646,56	7568,51
D ^{II} , т	52 012,12	52 917,29	53 839,24	52 886,68	53 791,86	54 713,81	53 822,58	54 727,76	55 649,71	54 789,08	55 694,26	56616,21
Dw ^{II} , т	40 018,38	40 923,56	41 845,51	40 941,38	41 846,56	42 768,51	41 941,38	42 846,56	43 768,51	42 987,38	43 892,56	44 814,51
BRT, рег. т	34 015,63	34 785,03	35 568,68	34 800,18	35 569,58	36 353,23	35 650,18	36 419,58	37 203,23	36 539,28	37 308,68	38 092,33
NRT, рег. т	26 011,95	26 600,31	27 199,58	26 611,90	27 200,26	27 799,53	27 261,90	27 850,26	28 449,53	27 941,80	28 530,16	29 129,43
NRT, рег. т	26 011,95	26 600,31	27 199,58	26 611,90	27 200,26	27 799,53	27 261,90	27 850,26	28 449,53	27 941,80	28 530,16	29 129,43
W _к , TEU	2173,00	2222,00	2272,00	2223,00	2272,00	2323,00	2278,00	2327,00	2377,00	2334,00	2384,00	2434,00
Тип СЭУ	N ₃											
a _к	0,203743			0,197524			0,190941			0,18422		
P _к ,т	10973,73			10925,26			10861,18			10781,7		

Окончание табл. П.Г.1

Характеристика судна	Варианты по грузоподъемности, т											
	34 277			35 200			36 200			37 246		
P _м , Т	1160											
t _{ход} , сут	15,66	13,76	12,27	15,66	13,76	12,27	15,66	13,76	12,27	15,66	13,76	12,27
t _{ст} , сут	8											
t _р , сут	23,66	21,76	20,27	23,66	21,76	20,27	23,66	21,76	20,27	23,66	21,76	20,27
q _{д.т.} ^{ход} , т/сут	353,36											
q _{д.т.} ^{ст} , т/сут	45,94											
Q _{д.т} , Т	4609,673	5356,681	6115,929	4609,673	5356,681	6115,929	4609,673	5356,681	6115,929	4609,673	5356,681	6115,929
Q _г , Т	5070,64	5892,35	6727,52	5070,64	5892,35	6727,52	5070,64	5892,35	6727,52	5070,64	5892,35	6727,52
q _{вод.} ^{ход/ст} , т/сут	3											
t _{ход} , сут	15,66	13,76	12,27	15,66	13,76	12,27	15,66	13,76	12,27	15,66	13,76	12,27
Q _{вод} , Т	92,27	84,87	79,07	92,27	84,87	79,07	92,27	84,87	79,07	92,27	84,87	79,07
Q _{пр} , Т	11,86	10,91	10,16	11,86	10,91	10,16	11,86	10,91	10,16	11,86	10,91	10,16
Q _з , Т	5174,77	5988,13	6816,75	5174,77	5988,13	6816,75	5174,77	5988,13	6816,75	5174,77	5988,13	6816,75
D ^{II} , Т	51 585,50	52398,86	53227,48	52460,07	53 273,43	54 102,05	53 395,97	54 209,33	55037,95	54 362,47	55 175,83	56 004,45
D _w ^{II} , Т	39 451,77	40 265,13	41 093,75	40 374,77	41 188,13	42 016,75	41 374,77	42 188,13	43 016,75	42 420,77	43 234,13	44 062,75
BRT, рег. Т	33 534,01	34 225,36	34 929,69	34 318,56	35 009,91	35 714,24	35 168,56	35 859,91	36 564,24	36 057,66	36 749,01	37 453,34
NRT, рег. Т	25 643,65	26 172,33	26 710,94	26 243,60	26 772,28	27 310,89	26 893,60	27 422,28	27 960,89	27 573,50	28 102,18	28 640,79
W _{кз} , TEU	2142,00	2187,00	2232,00	2193,00	2237,00	2282,00	2247,00	2291,00	2336,00	2304,00	2348,00	2393,00

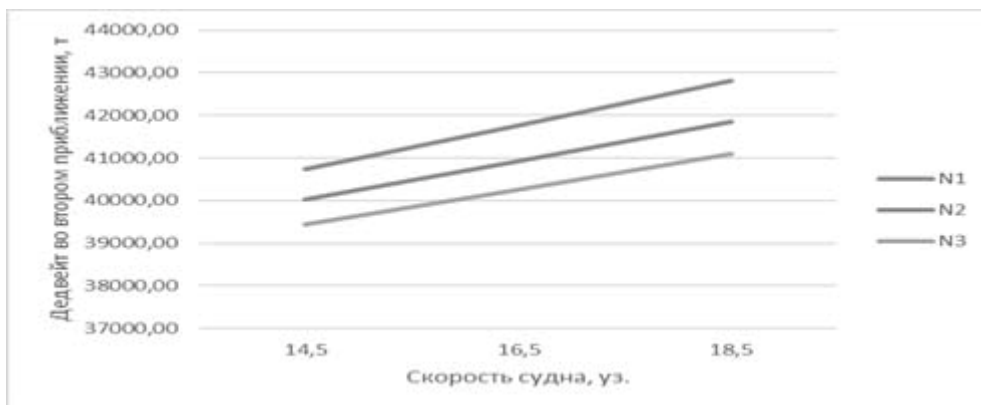


Рис. П.Г.1. График зависимости дедвейта судна от скорости

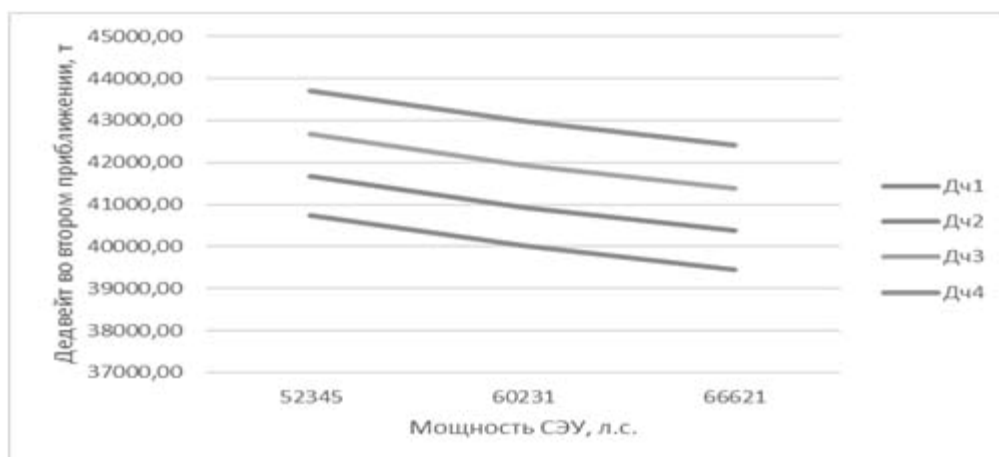


Рис. П.Г.2. График зависимости дедвейта судна от мощности СЭУ

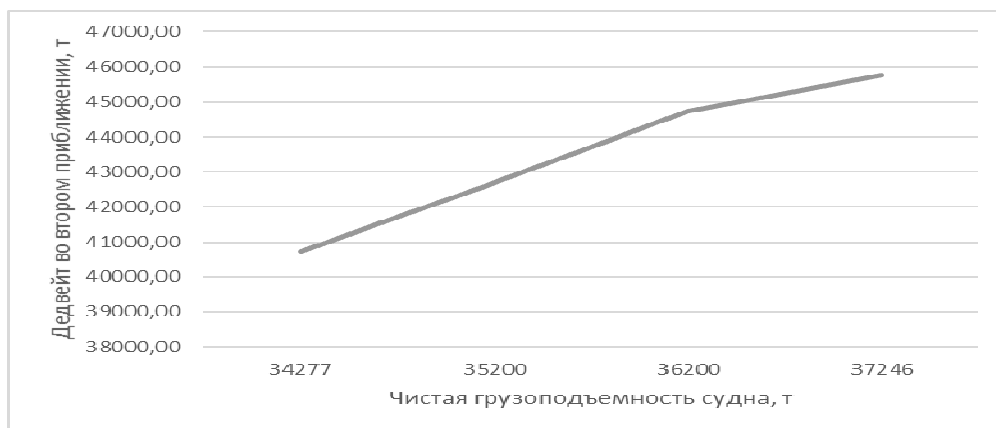


Рис. П.Г.3. График зависимости дедвейта судна от чистой грузоподъемности

Приложение Д

Результаты расчета провозной способности судна и потребности в судах для освоения грузопотока

Графики зависимости провозной способности судна от скорости, мощности и чистой грузоподъемности

Таблица П.Д.1

Результаты расчета провозной способности судна и потребности в судах

Показатель	D_n^1			D_n^2			D_n^3			D_n^4		
	v_1	v_2	v_3	v_1	v_2	v_3	v_1	v_2	v_3	v_1	v_2	v_3
	N_1											
$Q_{пр}, т$	31 321,92	32 114,88	32 922,00	32 044,08	32 822,88	33 630,00	32 808,72	33 587,52	34 394,64	33 615,84	34 394,64	35 201,76
α_n	0,91	0,94	0,96	0,91	0,93	0,96	0,91	0,93	0,95	0,90	0,92	0,95
r	9	10	11	9	10	11	9	10	11	9	10	11
$P_n, т$	281 897,28	321 148,80	362 142,00	288 396,72	328 228,80	369 930,00	295 278,48	335 875,20	378 341,04	302 542,56	343 946,40	387 219,36
$P_{ПВЛ}, TEU$	19 908,00	22 680,00	25 575,00	20 367,00	23 180,00	26 125,00	20 853,00	23 720,00	26 719,00	21 366,00	24 290,00	27 346,00
$K_{хол}$	0,66	0,63	0,61	0,66	0,63	0,61	0,66	0,63	0,61	0,66	0,63	0,61
$K_{ст}$	0,34	0,37	0,39	0,34	0,37	0,39	0,34	0,37	0,39	0,34	0,37	0,39
μ_n	161,90	180,48	198,59	161,29	179,62	197,55	160,58	178,73	196,46	159,91	177,89	195,42
μ_n	244,61	285,40	328,04	243,69	284,04	326,31	242,61	282,63	324,51	241,60	281,30	322,79
$N_0, ед.$	8,00	7,00	6,00	7,00	7,00	6,00	7,00	6,00	6,00	7,00	6,00	6,00
$Q_{пр}, т$	30 769,68	31 463,52	32 171,52	31 477,68	32 171,52	32 893,68	32 256,48	32 950,32	33 658,32	33 049,44	33 757,44	34 465,44
α_n	0,90	0,92	0,94	0,89	0,91	0,93	0,89	0,91	0,93	0,89	0,91	0,93

Окончание табл. П.Д.1

Показатель	D_n^1			D_n^2			D_n^3			D_n^4		
	v_1	v_2	v_3	v_1	v_2	v_3	v_1	v_2	v_3	v_1	v_2	v_3
	N_2											
R	9	10	11	9	10	11	9	10	11	9	10	11
Π_n , т	276 927,12	314 635,20	353 886,72	283 299,12	321 715,20	361 830,48	290 308,32	329 503,20	370 241,52	297 444,96	337 574,40	379 119,84
$\Pi_{\text{ПБЛ}}, \text{TEU}$	19 557,00	22 220,00	24 992,00	20 007,00	22 720,00	25 553,00	20 502,00	23 270,00	26 147,00	21 006,00	23 840,00	26 774,00
$K_{\text{хол}}$	0,66	0,63	0,61	0,66	0,63	0,61	0,66	0,63	0,61	0,66	0,63	0,61
$K_{\text{сг}}$	0,34	0,37	0,39	0,34	0,37	0,39	0,34	0,37	0,39	0,34	0,37	0,39
μ_0	159,05	176,82	194,07	158,44	176,06	193,22	157,88	175,34	192,25	157,22	174,59	191,33
μ_1	240,30	279,61	320,56	239,38	278,41	319,16	238,53	277,27	317,56	237,53	276,08	316,04
N_0 , ед.	8,00	7,00	6,00	8,00	7,00	6,00	7,00	7,00	6,00	7,00	6,00	6,00
$Q_{\text{ср}}$, т	30330,72	30967,92	31605,12	31052,88	31675,92	32313,12	31817,52	32440,56	33077,76	32624,64	33247,68	33884,88
α_1	0,88	0,90	0,92	0,88	0,90	0,92	0,88	0,90	0,91	0,88	0,89	0,91
R	9	10	11	9	10	11	9	10	11	9	10	11
Π_n , т	272976,48	309679,20	347656,32	279475,92	316759,20	355444,32	286357,68	324405,60	363855,36	293621,76	332476,80	372733,68
	N_2											
$\Pi_{\text{ПБЛ}}, \text{TEU}$	19278,00	21870,00	24552,00	19737,00	22370,00	25102,00	20223,00	22910,00	25696,00	20736,00	23480,00	26323,00
$K_{\text{хол}}$	0,66	0,63	0,61	0,66	0,63	0,61	0,66	0,63	0,61	0,66	0,63	0,61
$K_{\text{сг}}$	0,34	0,37	0,39	0,34	0,37	0,39	0,34	0,37	0,39	0,34	0,37	0,39
μ_0	156,78	174,04	190,65	156,30	173,35	189,81	155,73	172,63	188,93	155,19	171,95	188,11
μ_1	236,87	275,21	314,92	236,15	274,12	313,53	235,28	272,98	312,08	234,48	271,92	310,72
N_0 , ед.	8,00	7,00	6,00	8,00	7,00	6,00	8,00	7,00	6,00	7,00	7,00	6,00

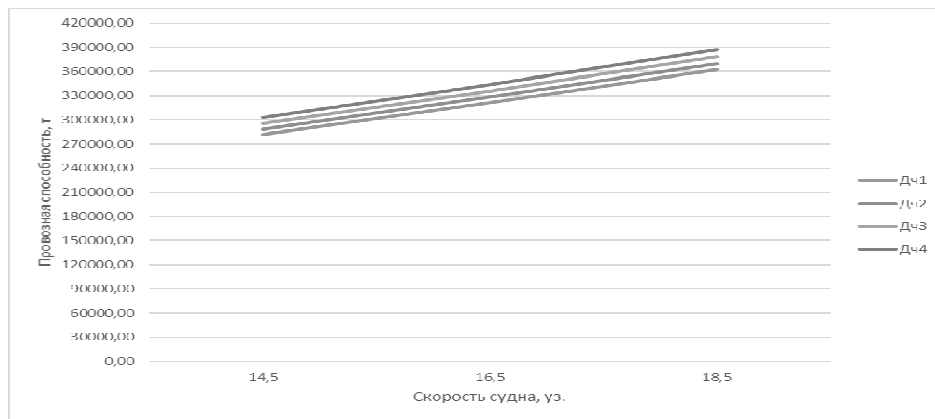


Рис. П.Д.1. График зависимости провозной способности судна от скорости

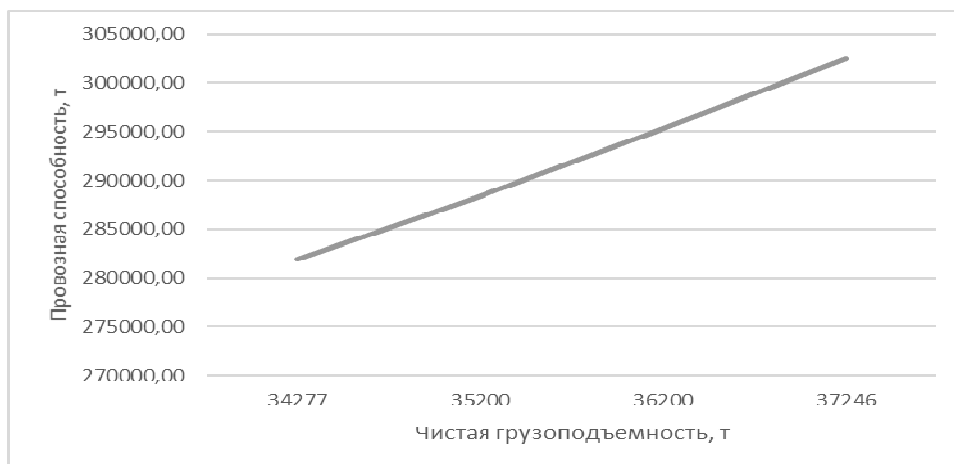


Рис. П.Д.2. График зависимости провозной способности судна от чистой грузоподъемности

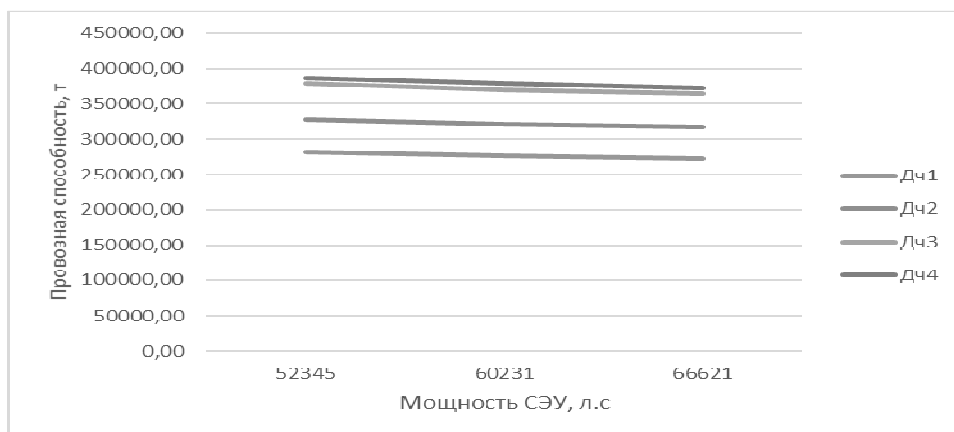


Рис. П.Д.3. График зависимости провозной способности судна от мощности СЭУ

Приложение Е

Результаты расчета строительной стоимости судна

Таблица П.Е.1

Результаты расчета строительной стоимости судна по вариантам, руб.

Показатель	Варианты по чистой грузоподъемности											
	Д _ч ¹			Д _ч ²			Д _ч ³			Д _ч ⁴		
	Варианты по скорости											
	υ ₁	υ ₂	υ ₃	υ ₁	υ ₂	υ ₃	υ ₁	υ ₂	υ ₃	υ ₁	υ ₂	υ ₃
Тип СЭУ	N ₁											
К _к	32593042,43	33410903,48	34243720,36	33331442,43	34149303,48	34982120,36	34131442,43	34949303,48	35782120,36	34968242,43	35786103,48	36618920,36
К _м	6281400,00											
К _с	38874442,43	39692303,48	40525120,36	39612842,43	40430703,48	41263520,36	40412842,43	41230703,48	42063520,36	41249642,43	42067503,48	42900320,36
Тип СЭУ	N ₂											
К _к	32014707,04	32738847,51	33476408,13	32753107,04	33477247,51	34214808,13	33553107,04	34277247,51	35014808,13	34389907,04	35114047,51	35851608,13
К _м	7227720,00											
К _с	39242427,04	39966567,51	40704128,13	39980827,04	40704967,51	41442528,13	40780827,04	41504967,51	42242528,13	41617627,04	42341767,51	43079328,13
Тип СЭУ	N ₃											
К _к	31561417,15	32212100,94	32875001,25	32299817,15	32950500,94	33613401,25	33099817,15	33750500,94	34413401,25	33936617,15	34587300,94	35250201,25
К _м	7994520,00											
К _с	39555937,15	40206620,94	40869521,25	40294337,15	40945020,94	41607921,25	41094337,15	41745020,94	42407921,25	41931137,15	42581820,94	43244721,25

Приложение Ж

Результаты расчета сметы эксплуатационных расходов судна

Таблица П.Ж.1

Результаты расчета сметы эксплуатационных расходов судна по вариантам

Пока- затель	Варианты по чистой грузоподъемности											
	$D_{ч}^1$			$D_{ч}^2$			$D_{ч}^3$			$D_{ч}^4$		
	Варианты по скорости											
	v_1	v_2	v_3	v_1	v_2	v_3	v_1	v_2	v_3	v_1	v_2	v_3
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
СЭУ	N ₁											
S _х	259623,38	260103,84	260592,31	260044,70	260525,47	261014,22	260501,17	260982,27	261471,33	260978,64	261460,08	261949,46
S _{ст}	58703,78	59184,24	59672,71	59125,10	59605,87	60094,62	59581,57	60062,67	60551,72	60059,04	60540,48	61029,85
a _{пр.пост}	26535,53	26993,11	27458,33	26936,79	27394,66	27860,14	27371,53	27829,71	28295,48	27826,26	28284,77	28750,84
a _{пр.пер.} ^х	231761,07											
a _{пр.пер.} ^с	30841,47											
a _{ам}	15785,38	16117,48	16455,65	16085,21	16417,32	16755,49	16410,06	16742,16	17080,34	16749,85	17081,96	17420,13
a _{рем}	2945,03	3006,99	3070,08	3000,97	3062,93	3126,02	3061,58	3123,54	3186,63	3124,97	3186,93	3250,02
a _{эк}	5229,59											
a _{снаб}	1295,81	1323,08	1350,84	1320,43	1347,69	1375,45	1347,09	1374,36	1402,12	1374,99	1402,25	1430,01
a _{нав}	117,80	120,28	122,80	120,04	122,52	125,04	122,46	124,94	127,47	125,00	127,48	130,00
a _{сбор}	146,97	163,80	180,20	150,30	167,42	184,08	153,90	171,34	188,29	157,68	175,44	192,70

Продолжение табл. П.Ж.1

Показатель	Варианты по чистой грузоподъемности											
	D_n^1			D_n^2			D_n^3			D_n^4		
	Варианты по скорости											
	v_1	v_2	v_3	v_1	v_2	v_3	v_1	v_2	v_3	v_1	v_2	v_3
	1014,94	1031,90	1049,16	1030,25	1047,20	1064,46	1046,83	1063,78	1081,05	1064,18	1081,13	1098,39
$a_{\text{кoc}}$	1326,78	1349,66	1372,92	1346,84	1369,73	1393,01	1368,58	1391,49	1414,77	1391,31	1414,24	1437,54
$C_{\Sigma Y}$	N_2											
S_x	297253,56	297680,27	298114,06	297674,88	298101,90	298535,97	298131,36	298558,70	298993,07	298608,82	299036,51	299471,20
$S_{\text{ст}}$	63774,47	64201,18	64634,98	64195,80	64622,81	65056,88	64652,27	65079,61	65513,99	65129,74	65557,43	65992,12
$a_{\text{пр.пост}}$	26731,23	27137,62	27550,76	27132,49	27539,17	27952,57	27567,23	27974,22	28387,91	28021,96	28429,28	28843,27
$a_{\text{пр.пер.}}^x$	269185,77											
$a_{\text{пр.пер.}}^c$	35706,68											
m	15934,80	16228,85	16528,34	16234,64	16528,68	16828,18	16559,49	16853,53	17153,03	16899,28	17193,32	17492,82
$a_{\text{рем}}$	2972,91	3027,77	3083,65	3028,85	3083,71	3139,59	3089,46	3144,32	3200,19	3152,85	3207,71	3263,59
$a_{\text{эк}}$	5229,59											
$a_{\text{снаб}}$	1308,08	1332,22	1356,80	1332,69	1356,83	1381,42	1359,36	1383,50	1408,08	1387,25	1411,39	1435,98
$a_{\text{нав}}$	118,92	121,11	123,35	121,15	123,35	125,58	123,58	125,77	128,01	126,11	128,31	130,54
$a_{\text{сбор}}$	144,36	160,50	176,16	147,69	164,12	180,05	151,30	168,04	184,26	155,07	172,15	188,66
$a_{\text{стр}}$	1022,57	1037,58	1052,87	1037,88	1052,89	1068,17	1054,46	1069,47	1084,76	1071,80	1086,81	1102,10
$a_{\text{кoc}}$	1336,56	1356,88	1377,54	1356,62	1376,96	1397,63	1378,36	1398,71	1419,40	1401,10	1421,46	1442,16

Окончание табл. П.Ж.1

Пока- затель	Варианты по чистой грузоподъемности											
	$D_{ч}^1$			$D_{ч}^2$			$D_{ч}^3$			$D_{ч}^4$		
	Варианты по скорости											
	v_1	v_2	v_3	v_1	v_2	v_3	v_1	v_2	v_3	v_1	v_2	v_3
СЭУ	N_3											
S_x	335466,74	335851,32	336242,25	335888,07	336272,95	336664,16	336344,54	336729,75	337121,27	336822,01	337207,56	337599,40
$S_{ст}$	68894,66	69279,24	69670,17	69315,98	69700,86	70092,08	69772,45	70157,67	70549,18	70249,92	70635,48	71027,31
$a_{пр.пост}$	26898,14	27264,41	27636,73	27299,40	27665,96	28038,54	27734,14	28101,01	28473,88	28188,87	28556,07	28929,24
$a_{пр.пер.}^x$	307223,69											
$a_{пр.пер.}^c$	40651,61											
$a_{ам}$	16062,11	16326,32	16595,50	16361,94	16626,16	16895,34	16686,79	16951,01	17220,19	17026,58	17290,80	17559,98
$a_{рем}$	2996,66	3045,96	3096,18	3052,60	3101,90	3152,12	3113,21	3162,50	3212,72	3176,60	3225,90	3276,12
$a_{эк}$	5229,59											
$a_{снаб}$	1318,53	1340,22	1362,32	1343,14	1364,83	1386,93	1369,81	1391,50	1413,60	1397,70	1419,39	1441,49
$a_{нав}$	119,87	121,84	123,85	122,10	124,08	126,08	124,53	126,50	128,51	127,06	129,04	131,04
$a_{сбор}$	142,32	157,92	173,00	145,64	161,54	176,88	149,25	165,46	181,09	153,03	169,56	185,49
$a_{стр}$	1029,07	1042,56	1056,30	1044,38	1057,86	1071,60	1060,96	1074,44	1088,18	1078,30	1091,79	1105,53
$a_{кос}$	1344,91	1363,22	1381,84	1364,97	1383,30	1401,93	1386,71	1405,05	1423,69	1409,44	1427,80	1446,46

Приложение 3

Результаты расчета экономических показателей работы судна

Таблица П.3.1

Результаты расчета экономических показателей эксплуатации судна на линии

Тип СЭУ	Варианты по чистой грузоподъемности											
	Д _ч ¹			Д _ч ²			Д _ч ³			Д _ч ⁴		
	Варианты по скорости											
	v ₁	v ₂	v ₃	v ₁	v ₂	v ₃	v ₁	v ₂	v ₃	v ₁	v ₂	v ₃
	Годовые доходы от перевозок при ставке: – 4500/8500, F = 607554500,00 USD – 4500/6500, F = 465550500,00 USD – 2500/4500, F = 323546500,00 USD											
	Годовые эксплуатационные расходы, R											
	N ₁	326543927	283675190	242540060	286353952	284317414	243104496	287034359	244297041	243716018,80	287746064	244920876
N ₂	371893432	322678295	275545996	372611164	323320519	276110432	326715175	324016319	276721955,10	327426881	278352108	277361607
N ₃	417928785	362288362	309081553	418646518	362930585	309645988	366996110	363626386	310257511,28	367707816	364354193	310897164
	Финансовый результат при ставке 4500/8500, ΔF, USD											
N ₁	281010572	323879309	365014439	321200547	323237085	364450003	320520140	363257458	363838481,20	319808435	362633623	363198828
N ₂	235661067	284876204	332008503	234943335	284233980	331444067	280839324	283538180	330832544,90	280127618	329202391	330192892
N ₃	189625714	245266137	298472946	188907981	244623914	297908511	240558389	243928113	297296988,72	239846683	243200306	296657335
	Финансовый результат при ставке 3500/6500, ΔF, USD											
N ₁	139006572	181875309	223010439	179196547	181233085	222446003	178516140	221253458	221834481,20	177804435	220629623	221194828

Продолжение табл. П.3.1

Тип СЭУ	Варианты по чистой грузоподъемности											
	Д _ч ¹			Д _ч ²			Д _ч ³			Д _ч ⁴		
	Варианты по скорости											
	v ₁	v ₂	v ₃	v ₁	v ₂	v ₃	v ₁	v ₂	v ₃	v ₁	v ₂	v ₃
N ₂	93657067	142872204	190004503	92939335	142229980	189440067	138835324	141534180	188828544,90	138123618	187198391	188188892
N ₃	47621714	103262137	156468946	46903981	102619914	155904511	98554389	101924113	155292988,72	97842683	101196306	154653335
	Финансовый результат при ставке 2500/4500, ΔF, USD											
N ₁	–2997427	39871309	81006439	37192547	39229085	80442003	36512140	79249458	79830481,20	35800435	78625623	79190828
N ₂	–48346932	868204,24	48000503	–49064664	225980,51	47436067	–3168675	–469819	46824544,90	–3880381	45194391	46184892
N ₃	–94382285	–38741862	14464946	–95100018	–39384085	13900511	–43449610	–40079886	13288988,72	–44161316	–40807693	12649335
	Себестоимость перевозки 1 т груза, St, USD/т											
N ₁	144,80	126,19	111,62	141,85	123,75	109,53	138,87	121,22	107,36	135,87	118,68	105,18
N ₂	167,87	146,51	129,77	164,41	143,57	127,18	160,77	140,48	124,57	157,26	137,43	121,93
N ₃	191,38	167,13	148,17	187,25	163,68	145,19	183,09	160,13	142,12	178,90	156,55	139,02
	Себестоимость перевозки 1 тонно-мили, St-м, USD/тонно-мили											
N ₁	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
N ₂	0,04	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03
N ₃	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04	0,03
	Себестоимость перевозки 1TEU, STEU, USD/TEU											
N ₁	2050,33	1786,82	1580,58	2008,53	1752,23	1550,91	1966,38	1716,53	1520,24	1923,92	1680,53	1489,28
N ₂	2376,98	2074,57	1837,56	2328,00	2032,95	1800,90	2276,54	1989,17	1763,89	2226,76	1945,97	1726,56
N ₃	2709,88	2366,51	2098,14	2651,41	2317,71	2055,92	2592,49	2267,42	2012,36	2533,26	2216,81	1968,48

Продолжение табл. П.3.1

Тип СУУ	Варианты по чистой грузоподъемности											
	Д _ч ¹			Д _ч ²			Д _ч ³			Д _ч ⁴		
	Варианты по скорости											
	v ₁	v ₂	v ₃	v ₁	v ₂	v ₃	v ₁	v ₂	v ₃	v ₁	v ₂	v ₃
	Уровень доходности при ставке 4500/8500, К _{дох} , USD											
N ₁	0,86	1,14	1,50	1,12	1,14	1,50	1,12	1,49	1,49	1,11	1,48	1,49
N ₂	0,63	0,88	1,20	0,63	0,88	1,20	0,86	0,88	1,20	0,86	1,18	1,19
N ₃	0,45	0,68	0,97	0,45	0,67	0,96	0,66	0,67	0,96	0,65	0,67	0,95
	Уровень доходности при ставке 3500/6500, К _{дох} , USD											
N ₁	0,43	0,64	0,92	0,63	0,64	0,92	0,62	0,91	0,91	0,62	0,90	0,91
N ₂	0,25	0,44	0,69	0,25	0,44	0,69	0,42	0,44	0,68	0,42	0,67	0,68
N ₃	0,11	0,29	0,51	0,11	0,28	0,50	0,27	0,28	0,50	0,27	0,28	0,50
	Уровень доходности при ставке 2500/4500, К _{дох} , USD											
N ₁	-0,01	0,14	0,33	0,13	0,14	0,33	0,13	0,32	0,33	0,12	0,32	0,32
N ₂	-0,13	0,00	0,17	-0,13	0,00	0,17	-0,01	0,00	0,17	-0,01	0,16	0,17
N ₃	-0,23	-0,11	0,05	-0,23	-0,11	0,04	-0,12	-0,11	0,04	-0,12	-0,11	0,04
	Удельная доходность при ставке 4500/8500, У, USD/сут											
N ₁	851547,19	981452,45	1106104,36	973334,99	979506,32	1104393,95	971273,15	1100780,18	1102540,85	969116,47	1098889,77	1100602,51
N ₂	714124,45	863261,22	1006086,37	711949,50	861315,09	1004375,96	851028,25	859206,61	1002522,86	848871,57	997583,00	1000584,52
N ₃	574623,38	743230,72	904463,48	572448,43	741284,59	902753,07	728964,82	739176,10	900899,97	726808,13	736970,63	898961,62
	Удельная доходность при ставке 3500/6500, У, USD/сут											

Продолжение табл. П.3.1

Тип СЭУ	Варианты по чистой грузоподъемности											
	Д _ч ¹			Д _ч ²			Д _ч ³			Д _ч ⁴		
	Варианты по скорости											
	v ₁	v ₂	v ₃	v ₁	v ₂	v ₃	v ₁	v ₂	v ₃	v ₁	v ₂	v ₃
N ₁	421232,04	551137,30	675789,21	543019,84	549191,17	674078,80	540958,00	670465,03	672225,70	538801,32	668574,62	670287,36
N ₂	283809,30	432946,07	575771,22	281634,35	430999,94	574060,81	420713,10	428891,46	572207,71	418556,42	567267,85	570269,37
N ₃	144308,22	312915,57	474148,32	142133,28	310969,44	472437,91	298649,67	308860,95	470584,81	296492,98	306655,47	468646,47
	Удельная доходность при ставке 2500/4500, Y, USD/сут											
N ₁	−9083,11	120822,15	245474,06	112704,69	118876,02	243763,65	110642,85	240149,87	241910,55	108486,17	238259,47	239972,21
N ₂	− 146505,86	26 30,92	145456,07	−148680,80	684,79	143745,66	−9602,05	−1423,70	141892,56	−11758,73	136952,70	139954,22
N ₃	− 286006,93	−117399,58	43833,17	−288181,87	− 119345,72	42122,76	−131665,49	−121454,20	40269,66	−133822,17	−123659,68	38331,32
	Приведенные затраты, S _{пр} , USD											
N ₁	37319325 8	325352109	279012668	327947436	326769653	280241664	329467843	281404674	281573187	331058189	28278162 9	282965959
N ₂	41898434 4	364643191	312179712	420588156	366060735	313408707	369535044	367596535	314740230	371125390	31645969 9	316133003
N ₃	46539591 0	404505314	345864122	466999722	405922857	347093117	410145164	407458658	348424640	411735510	40906510 5	349817413
	Удельные приведенные затраты при ставке 4500/8500, S _{пруд} , USD											
N ₁	127876,88	147344,06	166027,28	146142,09	147049,69	165768,62	145829,84	165238,25	165488,49	145503,34	164952,15	165195,55
N ₂	107286,53	129635,69	151042,73	106956,83	129340,83	150783,58	127815,01	129021,47	150503,00	127487,99	149774,88	150209,61
N ₃	86384,88	111651,73	135817,70	86054,51	111356,37	135558,15	109527,81	111036,54	135277,11	109200,12	110702,15	134983,26

Продолжение табл. П.3.1

Тип судна	Варианты по чистой грузоподъемности											
	Д _ч ¹			Д _ч ²			Д _ч ³			Д _ч ⁴		
	Варианты по скорости											
	v ₁	v ₂	v ₃	v ₁	v ₂	v ₃	v ₁	v ₂	v ₃	v ₁	v ₂	v ₃
	Удельные приведенные затраты при ставке 3500/6500, S _{прод} , USD											
N ₁	63184,84	82670,63	101368,41	81453,01	82378,70	101111,85	81143,73	100569,78	100833,88	80820,23	100286,22	100543,13
N ₂	42571,43	64941,95	86365,71	42245,19	64650,03	86109,15	63107,00	64333,75	85831,19	62783,50	85090,21	85540,43
N ₃	21646,28	46937,38	71122,28	21320,04	46645,45	70865,72	44797,49	46329,18	70587,76	44473,99	45998,36	70297,00
	Удельные приведенные затраты при ставке 2500/4500, S _{прод} , USD											
N ₁	687,86	19910,14	38401,69	18914,23	19583,64	38115,45	18562,81	37739,01	37806,82	18196,85	37419,45	37485,11
N ₂	-19598,89	2469,21	23655,97	-19974,12	2135,67	23362,75	836,23	1775,62	23047,77	462,95	22488,88	22719,69
N ₃	-40191,16	-15243,43	8673,12	-40575,87	-15584,14	8374,33	-17157,33	-15950,71	8052,81	-17540,07	-16332,15	7718,17
	Удельные капиталовложения на 1 т перевезенного груза, K _{удт} , USD/т											
N ₁	924,96	728,25	567,35	809,02	728,29	567,38	809,13	624,33	567,46	809,07	624,27	567,41
N ₂	924,86	728,37	567,58	924,91	728,41	567,36	809,04	728,19	567,44	809,32	624,11	567,39
N ₃	924,96	728,12	567,37	924,58	728,17	567,40	809,12	728,27	567,48	809,06	728,20	567,43
	Удельные капиталовложения на 1 TEU, K _{удт} , TEU, USD/TEU											
N ₁	15621,64	12250,71	9507,36	13614,67	12209,44	9476,79	13565,91	10429,35	9445,75	13514,35	10391,31	9412,78
N ₂	16052,53	12590,73	9772,12	15986,74	12541,14	9730,96	13923,80	12485,38	9693,47	13868,58	10656,49	9653,99
N ₃	16414,95	12869,06	9987,66	16332,51	12812,48	9945,32	14224,42	12754,92	9902,22	14154,99	12694,75	9857,10
	Рентабельность при ставке 4500/8500, f, %											
N ₁	86,06	114,17	150,50	112,17	113,69	149,91	111,67	148,69	149,29	111,14	148,06	148,64
N ₂	63,37	88,28	120,49	63,05	87,91	120,04	85,96	87,51	119,55	85,55	118,27	119,05

Продолжение табл. П.3.1

АЭС ш.Д.	Варианты по чистой грузоподъемности											
	Д _ч ¹			Д _ч ²			Д _ч ³			Д _ч ⁴		
	Варианты по скорости											
	v ₁	v ₂	v ₃	v ₁	v ₂	v ₃	v ₁	v ₂	v ₃	v ₁	v ₂	v ₃
N ₃	45,37	67,70	96,57	45,12	67,40	96,21	65,55	67,08	95,82	65,23	66,75	95,42
	Рентабельность при ставке 3500/6500, f, %											
N ₁	42,57	64,11	91,95	62,58	63,74	91,50	62,19	90,57	91,02	61,79	90,08	90,52
N ₂	25,18	44,28	68,96	24,94	43,99	68,61	42,49	43,68	68,24	42,18	67,25	67,85
N ₃	11,39	28,50	50,62	11,20	28,28	50,35	26,85	28,03	50,05	26,61	27,77	49,74
	Рентабельность при ставке 2500/4500, f, %											
N ₁	-0,92	14,06	33,40	12,99	13,80	33,09	12,72	32,44	32,76	12,44	32,10	32,41
N ₂	-13,00	0,27	17,42	-13,17	0,07	17,18	-0,97	-0,14	16,92	-1,19	16,24	16,65
N ₃	-22,58	-10,69	4,68	-22,72	-10,85	4,49	-11,84	-11,02	4,28	-12,01	-11,20	4,07
	Общая (абсолютная) экономическая эффективность капитальных вложений при ставке 4500/8500, Э _о , USD											
N ₁	1,08	1,38	1,78	1,38	1,35	1,74	1,34	1,73	1,69	1,31	1,69	1,65
N ₂	0,92	1,24	1,65	0,90	1,21	1,61	1,20	1,18	1,57	1,16	1,56	1,53
N ₃	0,75	1,09	1,51	0,73	1,06	1,48	1,04	1,03	1,44	1,01	1,00	1,40
	Общая (абсолютная) экономическая эффективность капитальных вложений при ставке 3500/6500, Э _о , USD											
N ₁	0,45	0,65	0,92	0,65	0,64	0,90	0,63	0,89	0,88	0,62	0,87	0,86
N ₂	0,30	0,51	0,78	0,29	0,50	0,76	0,49	0,49	0,75	0,47	0,74	0,73
N ₃	0,15	0,37	0,64	0,15	0,36	0,62	0,34	0,35	0,61	0,33	0,34	0,60
	Общая (абсолютная) экономическая эффективность капитальных вложений при ставке 2500/4500, Э _о , USD											
N ₁	-0,01	0,14	0,33	0,13	0,14	0,32	0,13	0,32	0,32	0,12	0,31	0,31

Окончание табл. П.3.1

Тип СЭУ	Варианты по чистой грузоподъемности											
	$D_{ч}^1$			$D_{ч}^2$			$D_{ч}^3$			$D_{ч}^4$		
	Варианты по скорости											
	v_1	v_2	v_3	v_1	v_2	v_3	v_1	v_2	v_3	v_1	v_2	v_3
N_2	-0,15	0,00	0,20	-0,15	0,00	0,19	-0,01	0,00	0,18	-0,01	0,18	0,18
N_3	-0,30	-0,14	0,06	-0,30	-0,14	0,06	-0,15	-0,14	0,05	-0,15	-0,14	0,05
	Срок окупаемости при ставке 4500/8500, $T_{ок}$, лет											
N_1	1,11	0,86	0,67	0,86	0,88	0,68	0,88	0,68	0,69	0,90	0,70	0,71
N_2	1,33	0,98	0,74	1,36	1,00	0,75	1,02	1,02	0,77	1,04	0,77	0,78
N_3	1,67	1,15	0,82	1,71	1,17	0,84	1,20	1,20	0,86	1,22	1,23	0,87
	Срок окупаемости при ставке 3500/6500, $T_{ок}$, лет											
N_1	2,24	1,53	1,09	1,55	1,56	1,11	1,58	1,12	1,14	1,62	1,14	1,16
N_2	3,35	1,96	1,29	3,44	2,00	1,31	2,06	2,05	1,34	2,11	1,36	1,37
N_3	6,65	2,73	1,57	6,87	2,79	1,60	2,92	2,87	1,64	3,00	2,95	1,68
	Срок окупаемости при ставке 2500/4500, $T_{ок}$, лет											
N_1	-103,75	6,97	3,00	7,46	7,21	3,08	7,75	3,12	3,16	8,07	3,21	3,25
N_2	-6,49	322,24	5,09	-6,52	1260,88	5,24	-90,09	-618,40	5,41	-75,08	5,62	5,60
N_3	-3,35	-7,26	16,95	-3,39	-7,28	17,96	-6,62	-7,29	19,15	-6,65	-7,30	20,51

Научное издание

Городников Олег Александрович
Киселёва Елена Витальевна
Кузнецов Петр Анатольевич

**ОБОСНОВАНИЕ ТИПА И ХАРАКТЕРИСТИК
ТРАНСПОРТНОГО СУДНА ДЛЯ ПЕРЕВОЗОК ГРУЗОВ
ПО СЕВЕРНОМУ МОРСКОМУ ПУТИ**

Монография

Главный редактор Л. Е. Стрикаускас
Редактор И. Г. Шабунина
Компьютерная верстка М. А. Портновой



*Знак информационной продукции согласно
Федеральному закону от 29.12.2010 № 436-ФЗ*

Подписано в печать: 15.07.2026. Формат 70 ×100/16

Усл.-печ. л. 10,0. Уч.-изд. л. 9,65.

Бумага писчая. Печать офсетная. Заказ 367

Издательство Владивостокского государственного университета
690014, Владивосток, ул. Гоголя, 41

Отпечатано в ресурсном информационно-методическом центре ВВГУ
690014, Владивосток, ул. Гоголя, 41

978-5-9736-0771-5



9

785973

607715