



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО МОРСКОГО И РЕЧНОГО ТРАНСПОРТА

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова» (ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова»)

Институт (факультет) Международного транспортного менеджмента  
Кафедра Морской и речной перевозки  
Направление подготовки (специальность) 23.04.02 «Технология транспортных процессов»  
(код, наименование направления подготовки/специальности)  
Форма обучения очная

«К ЗАЩИТЕ ДОПУЩЕНА»  
Заведующий кафедрой

(подпись)  
Кириченко А.В.  
(ФИО)  
«  »    20   г.

Выпускная квалификационная работа

Обучающегося Горенковой Викторией Сергеевной  
(фамилия, имя, отчество)  
Вид работы Выпускная квалификационная работа магистра  
(выпускная квалификационная работа бакалавра, специалиста, магистра)

Пояснительная записка

Тема «Оптимизация рейдовой работы эскадронного судна»  
(полное название темы квалификационной работы в соответствии с приказом об утверждении тематики ВКР)

Руководитель работы зав. каф. Кириченко А.В.  
(должность, подпись, фамилия, инициалы, дата)

Консультант \_\_\_\_\_  
(при наличии) (должность, подпись, фамилия, инициалы, дата)

Консультант \_\_\_\_\_  
(должность, подпись, фамилия, инициалы, дата)

Обучающийся Горенкова В.С.  
(подпись, фамилия, инициалы, дата)

С-Петербург

2019 г.

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО МОРСКОГО И РЕЧНОГО ТРАНСПОРТА**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова»**  
**(ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова»)**

Институт(факультет) Международного и трансфертного менеджмента  
Кафедра Морской и речной техники  
Направление подготовки (специальность) 23.04.03 «Технология транспортных процессов»  
(код, наименование направления подготовки/специальности)  
Форма обучения очная

«УТВЕРЖДАЮ»  
Заведующий кафедрой  
(подпись)  
Кириллова А.В.  
(ФИО)  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**Задание**

**на выпускную квалификационную работу**

Вид работы Выпускная квалификационная работа магистра  
(ВКР бакалавра, специалиста, магистра)  
Обучающемуся Баренковой Виктории Сергеевне  
(фамилия, имя, отчество)  
Тема «Оптимизация рейдовой вахтенной работы жетидеионного судна»

Утверждена приказом ректора Университета от «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ года, № \_\_\_\_\_  
Срок сдачи законченной работы «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**Исходные данные (или цель ВКР):**

статистические данные, информация о техническом состоянии флота и портов, информация о рейдовой вахтенной работе, информация о ресурсах, учетно-менеджерская информация (планы-графиковый план рейдовой вахтенной работы жетидеионного судна).

**Перечень подлежащих исследованию, разработке, проектированию вопросов (краткое содержание ВКР):**

(актуальность темы, цели и задачи ВКР; аналитический обзор литературных источников; постановка задачи исследования, разработки, проектирования; содержание процедуры исследования, разработки, проектирования; обсуждение результатов; дополнительные вопросы, подлежащие разработке; заключение – выводы по работе в целом, оценка степени решения поставленных задач, практические рекомендации; и др.)

Введение: актуальность темы, цели и задачи ВКР, предмет  
(наименование вопроса, раздела и его краткое содержание)

и объект исследования, методика исследования, практическая значимость работы  
– 1) Анализ условий вахтенной жетидеионной работы; характеристика

(наименование вопроса, раздела и его краткое содержание)  
персонального, трансфертная характеристика флота, анализ эксплуатационных характеристик портов и флота, анализ технико-экономических условий рейдовой вахтенной работы.

2) Планирование круговых рейсов ежемесячных судов: обоснование  
(наименование вопроса, раздела и его краткое содержание)

метода определения rotations судна исходные данные, расейей расейие.

3) Планирование плана рейдовой выгрузки судна: процесс бескапитальной  
(наименование вопроса, раздела и его краткое содержание)

обработки судов, скорости французии и техникой обработки судна на рейде, <sup>железные</sup> <sup>маг.</sup> <sup>железь.</sup>

4) Мероприятия по обеспечению безопасности плавания и охраны  
(наименование вопроса, раздела и его краткое содержание)

раке окружениями схода: утилизация и ввоз порочной боеприпасов, БМБ.

Перечень графического материала (или презентационного материала):

1. Рисунки, шенговрашмо, диаграммы, схемы, сертификаты, карты, снимки со спутника
2. Снимки (А, Б): таблицы, рисунки, снимки со спутника.
3. Сведения к защите ВКР.

4.

Консультанты по разделам ВКР (при наличии):

1.

(наименование раздела, ученая степень, ученое звание и должность, ФИО консультанта)

2.

(наименование раздела, ученая степень, ученое звание и должность, ФИО консультанта)

3.

(наименование раздела, ученая степень, ученое звание и должность, ФИО консультанта)

Дата выдачи задания: «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Задание согласовано и принято к исполнению: «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Руководитель ВКР: зав. каф., д.т.н., профессор, Кириченко А.В.

(должность, ученая степень, ученое звание, ФИО)

(подпись)

Обучающийся:

УдМ, Воронцова Анастасия Сергеевна

(учебная группа, ФИО)

(подпись)

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО МОРСКОГО И РЕЧНОГО ТРАНСПОРТА

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова»  
(ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова»)

ОТЗЫВ

руководителя выпускной квалификационной работы

Обучающегося Соренковой Виктории Сергеевны  
(фамилия, имя, отчество)  
На тему «Анализирование рейсов везущих экзотических животных суда»  
Направление подготовки (специальность) 23.04.01 «Технология франкоязычных процессов»  
(код и наименование направления подготовки/специальности)  
Институт (факультет) Международного франкоязычного менеджмента  
Кафедра «Франко и бизнес терминология»  
Руководитель выпускной квалификационной работы зав. кафедр., д.т.н., профессор, Кириченко А.В.

(должность, ученая степень, ученое звание, фамилия, имя, отчество)

Работа выполнена по плану работы  
на тему «Анализирование рейсов везущих  
экзотических животных суда». Работа  
имеет практическую направленность.  
Весь процесс старания с  
трудом

(в отзыве должна содержаться характеристика проделанной обучающимся работы по всем разделам выпускной квалификационной работы: уровень, полнота и качество поэтапной разработки обучающимся темы ВКР; отношение обучающегося к работе при ее написании, его аккуратность, добросовестность, трудоспособность; степень самостоятельности и инициативности обучающегося при написании работы; работа с литературой; умение обобщать и делать правильные выводы и предложения из полученных данных; достоинства и недостатки работы; оценка автора работы как будущего специалиста и возможностей заниматься тем или иным видом трудовой деятельности)

Заключение Успешно  
(оценивается уровень достижения обучающимся запланированных результатов выполнения ВКР)

Руководитель ВКР: \_\_\_\_\_  
(подпись)

Кириченко А.В.  
(ФИО)

Дата «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

РЕЦЕНЗИЯ

на выпускную квалификационную работу

Обучающегося Борисовой Антонины Сергеевны  
(фамилия, имя, отчество)

На тему "Планирование рейсовой нагрузки железнодорожного судна"

Рецензент Киселёв А.А., ООО "Экспедитор Со", генеральный директор.  
(Фамилия И.О., место работы, должность, ученая степень, ученое звание)

В рецензируемой работе исследованы вопросы планирования рейсовой нагрузки судна, участвующего в железнодорожном движении. Актуальность темы обусловлена тем, что железнодорожные вагоны являются незаменимыми инструментами для перевозки грузов Крайнего Севера и Дальнего Востока, поэтому требуется разработка эффективных методов планирования. Автором была проделана работа, связанная с планированием рейсовой нагрузки железнодорожного судна, а именно: составление и оформление технологической карты расстановки судна, которая показывает фактическую способность перевозить вагоны на определенном участке и специальную дисциплину. Ключевыми в работе являются обзор существующих методов планирования, а именно: для определения возможности перевозки вагонов (в рецензии просим осветить следующие вопросы: актуальность ВКР; качество и полнота обзора литературы по разрабатываемому вопросу; уровень и корректность использования в работе методов исследований и математического моделирования; уровень инженерно-технических расчетов и (или) научно-исследовательских разработок; использование в работе знаний по общепрофессиональным и специальным дисциплинам; степень достоверности и обоснованности выводов; оригинальность, новизна и значимость полученных результатов; качество изложения и оформления работы; возможность практического использования результатов ВКР. В заключение просим отметить достоинства и недостатки выполненной работы и дать общую оценку работы – отлично, хорошо, удовлетворительно, неудовлетворительно)

Замечания:

Поскольку математическую модель расстановки судна с учётом изменения скорости движения судна (в гудок и наоборот) можно записать не сложнее, чем для любого другого судна, и его можно считать более простым к дальнейшей работе автора.

Заключение:

Таким образом, рассматриваемая работа имеет и фактическое значение. Материал в работе можно считать хорошим структурирован. В целом работа соответствует всем требованиям, предъявляемым к выпускной квалификационной работе.

Рекомендуемая общая оценка ВКР "отлично"

Рецензент Киселёв А.А. «25» мая 2019г.

## Содержание

|                                                                                                                                                                                                                                                      |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Введение .....                                                                                                                                                                                                                                       | 3   |
| 1 Анализ условий выполнения экспедиционного завоза .....                                                                                                                                                                                             | 6   |
| 1.1 Характеристика грузопотоков региона Крайнего Севера РФ .....                                                                                                                                                                                     | 6   |
| 1.2 Транспортная характеристика перевозимых грузов .....                                                                                                                                                                                             | 17  |
| 1.3 Анализ эксплуатационных характеристик портопунктов и флота,<br>используемых в районах Крайнего Севера .....                                                                                                                                      | 22  |
| 1.4 Анализ технологий и условий рейдовой выгрузки в районах Крайнего<br>Севера .....                                                                                                                                                                 | 34  |
| 2 Планирование круговых рейсов экспедиционных судов.....                                                                                                                                                                                             | 39  |
| 2.1 Обоснование метода определения ротации судна .....                                                                                                                                                                                               | 39  |
| 2.2 Определение исходных данных .....                                                                                                                                                                                                                | 41  |
| 2.3 Расчет ротации судна .....                                                                                                                                                                                                                       | 44  |
| 3 Формирование плана рейдовой выгрузки судна .....                                                                                                                                                                                                   | 80  |
| 3.1 Особенности беспричастной обработки судов .....                                                                                                                                                                                                  | 80  |
| 3.2 Организация и технология обработки судна на рейде .....                                                                                                                                                                                          | 86  |
| 3.3 Построение оптимального плана для функционирования транспортной<br>сети путем описания объекта планирования через систему взаимосвязанных<br>экономико-математических моделей планирования работы отдельных звеньев<br>на видах транспорта ..... | 90  |
| 4 Мероприятия по обеспечению безопасной жизнедеятельности и<br>охране окружающей среды .....                                                                                                                                                         | 95  |
| Заключение .....                                                                                                                                                                                                                                     | 109 |
| Список использованных источников .....                                                                                                                                                                                                               | 116 |
| Приложение А .....                                                                                                                                                                                                                                   | 123 |
| Приложение Б.....                                                                                                                                                                                                                                    | 147 |

## Введение

Ежегодно с целью обеспечения территорий Крайнего Севера РФ основными жизненно необходимыми товарами (в первую очередь продовольственными товарами и нефтепродуктами) в преддверии зимнего сезона проводится комплекс государственных мероприятий, именуемый «навигационный (экспедиционный) завоз». Кроме обеспечения населения, проживающего в районах Крайнего Севера, навигационный завоз используется также и для снабжения военных баз. В настоящее время Вооруженные Силы РФ наращивают свое присутствие в Арктическом регионе.

Однако существует множество проблем, связанных с навигационным завозом. Одной из таких проблем выступает относительно короткий период навигации и неблагоприятные природно-климатические условия. Кроме того, большинство пунктов завоза небольшие и слабооборудованные или необорудованные портопункты и пункты выгрузки.

В настоящее время требует решения вопрос, связанный с завозом продовольствия в Северные регионы России, ведь, по подсчетам, данные регионы приносят стране до 60% национального дохода и 1/5 часть всех валютных поступлений, а обратно получают не более 10% [1].

Актуальность темы выпускной квалификационной работы магистра заключается в том, что «навигационный завоз» является единственным стратегическим инструментом для поддержки районов Крайнего Севера и Дальнего Востока, которым располагает российское государство, и которое требует постоянного развития и совершенствования.

Целью выпускной квалификационной работы магистра является разработка плана рейдовой выгрузки экспедиционного судна. Для достижения данной цели были поставлены следующие исследовательские задачи:

- исследовать условия выполнения экспедиционного завоза;
- выполнить анализ грузопотоков исследуемого региона;
- дать транспортную характеристику перевозимых грузов;

- проанализировать состояние флота и инфраструктуры, дать характеристику пунктов выгрузки;
- рассмотреть технологии и условия для выполнения рейдовой выгрузки;
- рассчитать, используя метод определения ротации судна, последовательность захода для экспедиционного судна;
- выявить особенности беспричастной обработки судов, а также организацию и технологию обработки судна на рейде;
- сформировать план рейдовой выгрузки судна;
- разработать мероприятия по обеспечению безопасной жизнедеятельности и охране окружающей среды.

Объектом исследования выступает экспедиционный завоз. Предмет исследования – рейдовая выгрузка судов, участвующих в экспедиционном завозе.

Методическую основу работы составили труды специалистов, таких как: А.В. Кириченко, А.Л. Кузнецов, О.А. Изотов, А.Ю. Мегалинская, А.В. Галин, А.Е. Слищан, А.П. Тронь, Л.П. Андронов, Е.Ю. Жуков, В.Я. Шевелев и др.

В данной работе использованы такие общенаучные методы, как анализ, синтез, индукция, дедукция и формализация. Также применены исторический, диалектический, сравнительно-правовой, логический и системно-структурный методы исследования. Кроме этого для полноты исследования применялся статистический метод, включающий в себя сбор и анализ статистических сведений, необходимых для планирования экспедиционного завоза.

Проведенный в ходе исследования анализ показал, что в общем объеме перевозок преобладают именно перевозки в межпортовом сообщении, при этом только 11,2% от перечня всех пунктов завоза являются оборудованными [2].

Учитывая данные факты и актуальность проблемы, появилась необходимость проведения исследований и разработки предложений по оптимизации планирования рейдовой выгрузки экспедиционного судна с использованием метода определения ротации судна и расстановочной задачи.

Выпускная квалификационная работа представлена введением, четырьмя главами, заключением, списком использованных источников и приложениями.



Во введении представлена актуальность выбранной темы, цель и задачи работы, поставленные для достижения цели, предмет и объект исследования, практическая значимость работы, методы исследования, применяемые в работе, а также ее краткое содержание.

В первой главе проведен анализ условия выполнения экспедиционного завоза, а именно: дана общая характеристика грузопотоков, приведена транспортная характеристика перевозимых грузов для обеспечения военных баз, рассмотрено современное состояние флота, судоходных путей, инфраструктуры и самих пунктов завоза, и наконец, определены основные технологии и условия рейдовой выгрузки в районах Арктики и Крайнего Севера.

Вторая глава работы посвящена планированию грузовых рейсов экспедиционного судна, которое проводится на основе метода определения ротации судна (задача коммивояжера). В этой главе содержится обоснование и смысл используемого метода, а также рассчитанная с его помощью последовательность заходов судна в акватории Баренцева и Белого морей.

В третьей главе рассматривается процесс беспричастной обработки судов, особенности организации и технологии обработки судна на рейде. С учетом исследованных особенностей формируется план рейдовой выгрузки судна, строится экономико-математическая модель.

Четвертая глава посвящена разработке мероприятий по обеспечению безопасной жизнедеятельности при обработке судов на рейде, а также с учетом перевозимых и перегружаемых грузов. Кроме того, в данной главе рассматриваются проблемы, связанные с охраной окружающей среды, а именно утилизация и вывоз порожней бочкотары.

В заключении сформулированы основные выводы, полученные в ходе выполнения выпускной квалификационной работы магистра.

Практическая значимость данного исследования заключается в том, что полученные результаты могут быть использованы не только для оптимизации завоза военных грузов, но и для страны в целом с целью совершенствования системы обеспечения населения районов Арктики необходимыми товарами.

## 1 Анализ условий выполнения экспедиционного завоза

### 1.1 Характеристика грузопотоков региона Крайнего Севера РФ

Российская Федерация уникальная страна, которая по своей площади занимает первое место в мире, при этом большая часть ее территории относится к районам Арктики и Крайнего Севера. Районы Крайнего Севера РФ занимают 2/3 от всей площади страны (рисунок 1), а 40 российских регионов официально имеют приставку «северный». Данная территория представляет собой зону стратегических экономических интересов страны, на которой находятся 11 крупных городов (из 12 мировых). Эта высокоширотная часть территории РФ характеризуется суровыми климатическими условиями, относительно слабой заселенностью, удаленностью от экономических и культурных центров страны, отсутствием круглогодичной транспортной сети и прочее.



Рисунок 1 – Районы Крайнего Севера РФ

Районы Арктики и Крайнего Севера – это моря, острова и прилегающее побережье Северного Ледовитого океана.

К районам Крайнего Севера согласно Постановлению Совмина СССР от 03.01.1983 г. № 12 «О внесении изменений и дополнений в Перечень районов Крайнего Севера и местностей, приравненных к районам Крайнего Севера, утвержденный Постановлением Совета Министров СССР от 10 ноября 1967 г. № 1029» относят: все острова Северного Ледовитого океана и его морей, а также острова Берингова и Охотского морей; Мурманская область; Архангельская область - Ненецкий автономный округ, город Северодвинск; районы: Лешуконский, Мезенский, Пинежский, а также Соловецкие острова; Республика Коми – города Воркута, Инта, Усинск; районы: Ижемский, Печорский, Усть-Цилемский (кроме села Усть-Лыжа Усинского городского округа, приравненного к районам Крайнего Севера); Тюменская область – Ямало-Ненецкий автономный округ, Белоярский и Берёзовский районы Ханты-Мансийского автономного округа – Югра; Красноярский край – города: Игарка, Дудинка и Норильск, районы: Северо-Енисейский, Таймырский Долгано-Ненецкий, Туруханский, Эвенкийский; Иркутская область – Катангский район; Чукотский АО, Республика Саха (Якутия), Магаданская область, Камчатский край, Республика Карелия – город Костомукша; районы: Беломорский, Калевальский, Кемский, Лоухский; Хабаровский край – Аяно-Майский и Охотский районы; Сахалинская область – город Оха; районы: Курильский, Ногликский, Охинский, Северо-Курильский, Южно-Курильский; Республика Тыва – районы (кожууны): Монгун-Тайгинский, Тоджинский; Шынаанская сельская администрация Кызылского района; Ханты-Мансийский АО [3].

В этих районах сосредоточено 4/5 (80%) естественных ресурсов страны, среди которых: запасы золота (40%), хрома и марганца (90%), платины (47%), коренных алмазов (100%), вермикулита (100%), апатита (50%), флогопита (70%), природного газа (95%), меди (60%), а также угля, никеля, сурьмы, кобальта, вольфрама, олова, ртути, редкоземельных металлов и более половины запасов древесины [4].

Кроме того, прилегающие к данной территории акватории Мирового океана являются богатой биоресурсной базой страны, которая состоит из ценных промысловых рыб, таких как: треска, пикша, навага, сайда, палтус, морской окунь, камбала, сельдь, лососевые. Помимо этого, Арктика также богата значительными запасами водорослей и беспозвоночных, а именно: северный криль, морские ежи, капшак, мидии, гребешок, камчатский краб. Рыбохозяйственный комплекс арктической зоны обеспечивает порядка 15% вылова водных биоресурсов и рыбной продукции, производимой в России. В настоящее время арктический шельф, прилегающий к рассматриваемой территории РФ, становится одним из основных источников углеводородного сырья не только для Российской Федерации, но и для других стран. Общая стоимость минерального сырья в недрах Арктики, по оценкам, превышает 30 – 35 трлн. юлларов, из них 2/3 приходится на долю энергетических носителей [5]. Потенциал макрорегиона реализовать в полной мере пока не представляется возможным, так как степень разведанности запасов и освоения недр очень низкая (общая стоимость разведанных запасов составляет 2 – 2,2 трлн. долларов) [6].

В настоящее время требует решения вопрос, связанный с завозом продовольствия в Северные регионы России, ведь, по подсчетам, данные регионы приносят стране до 60% национального дохода и 1/5 часть всех валютных поступлений, а обратно получают не более 10% [1].

Стратегической целью российского государства является создание благоприятных условий для жизни населения и экономического развития на территориях Крайнего Севера. Таким образом, для поддержки районов Крайнего Севера и Дальнего Востока государство должно располагать стратегическим инструментом, которым в настоящее время является «навигационный завоз». Главным звеном в реализации этой функции государства выступает в первую очередь транспортный комплекс, который обеспечивает доставку грузов в северные районы России.

Итак, «навигационный завоз» – это комплекс государственных мероприятий проводимых ежегодно с целью обеспечения территорий Крайнего Севера

РФ основными жизненно необходимыми товарами (в первую очередь продовольственными товарами и нефтепродуктами) в преддверии зимнего сезона. Появление такого феномена, как «навигационный завоз», обусловлено рядом причин, а именно: отсутствием собственной продовольственной базы, большинства промышленных и сельскохозяйственных товаров в районах Крайнего Севера; значительной удаленностью от основных промышленных, экономических и культурных районов; отсутствием в большинстве районов Крайнего Севера транспортной инфраструктуры; суровыми природно-климатическими условиями. «Экспедиционный завоз» осуществляется государством за счет средств федерального бюджета, а также силами региональных и местных властей, преимущественно водным (морской и речной транспорт с использованием Северного Морского пути) и воздушным транспортом.

Одной из основных проблем, связанных с «навигационным завозом» выступает отсутствие финансовых возможностей за короткие сроки (2 – 3 месяца) завести на такие большие расстояния почти годовой запас топлива, горючего, продуктов питания и других жизненно необходимых грузов. Для продовольственного рынка в этих районах характерна высокая зависимость от завоза продовольствия, так как производимой на более чем 1300 сельскохозяйственных предприятиях различных форм собственности продукции едва хватает на обеспечение продуктами таких муниципальных учреждений, как: детские сады, школы, больницы.

По данным статистики, в районы Крайнего Севера РФ завозится примерно 70% потребляемого мяса, 60% молока и молочных продуктов, яиц, 100% растительного масла, муки, сахара, 95% зерна и продуктов его переработки, свежих фруктов и овощей[1]. Помимо этого, сюда также завозится: уголь, бензин, дизельное топливо, мазут, керосин, другие ГСМ, дрова, стройматериалы (брус, кирпич, шифер, цемент, щебень и др.), удобрения, комбикорм, техника и оборудование, товары повседневного пользования и иные грузы для обеспечения нормальной жизнедеятельности населения районов Крайнего Севера (Приложение А.1) [7].

Федеральные органы государственной власти оказывают поддержку завозу грузов (продукции) в районы с ограниченными сроками завоза грузов (продукции) с целью устойчивости функционирования экономики и жизнеобеспечения населения, проживающих в районах Крайнего Севера и приравненных к ним местностях. Правительство РФ утверждает перечень районов Крайнего Севера приравненных к ним местностей с ограниченными сроками завоза грузов (продукции), определяет порядок организации поставок грузов (продукции) в районы с ограниченными сроками завоза грузов (продукции), а также условия предоставления и механизм реализации схемы завоза грузов (продукции). Федеральные органы исполнительной власти осуществляют контроль за поставками грузов (продукции) в районы Крайнего Севера, а также за своевременностью выделения финансовых средств, за их целевым использованием и возвратом. Объемы государственной финансовой поддержки завоза грузов (продукции) рассматриваются при формировании федерального бюджета и выделяются в нем отдельной строкой [8]. Приоритетными при поддержке завоза грузов (продукции) в районы Крайнего Севера являются нефть, нефтепродукты, топливо, продовольственные и непродовольственные товары первой необходимости для снабжения населения, а также организаций социальной сферы и жилищно-коммунального хозяйства.

Однако, в стоимости конечного продукта в районах Крайнего Севера доля транспортных издержек доходит до 60%, тогда как в среднем по стране она составляет 10%. Жизнеобеспечение население и хозяйственная деятельность в основном зависят от северного завоза, а именно: от поставок топлива, продовольствия, промышленных товаров по трассе СевМорПути в ограниченный период полярной навигации. Экстремальные природные условия привели к тому, что повсеместно в арктических городах и поселках создаются местные системы резервирования и страхования, которые включают в себя сеть накопления грузов и товарных ценностей, складское хозяйство нефтебаз, продовольственных грузов, угля в пунктах перевалки, а также дополнительные источники энергоснабжения, которые адаптированы к разным энергоносителям для гибкого пе-

реключения при необходимости с одного на другой, а также системы передачи информации, работающие одновременно по кабельным, волоконно-оптическим, спутниковым и радиорелейным линиям [9].

В настоящее время «навигационный завоз» используется не только для обеспечения жизнедеятельности народов Крайнего Севера, но также и для военных целей. Военские морские и речные перевозки выполняются в пределах Российской Федерации в интересах флотов и военных округов, воинские части и учреждения которых дислоцированы в непосредственной близости от водных путей сообщения. Известные особенности географического положения России определили ряд обширных регионов, где единственным видом транспорта является водный, способный перевести необходимые объемы воинских грузов определенных номенклатур, которые обеспечивают жизнедеятельность войск и сил флота. В настоящее время Вооруженные Силы РФ наращивают свое присутствие в Арктическом регионе. Для анализа характера перевозок воспользуемся открытыми сведениями 2002 – 2004 гг. [10], то есть выполним ретроспективный анализ. Так, основную массу воинских грузов в условиях мирного времени, т. е. около 97%, составляли грузы-снабжения. Военские грузы перевозились назначением в 224 пункта (рисунок 2), большая часть которых были небольшими, слабо оборудованными портопунктами и рейдовыми пунктами.

Исходя из соотношения, представленного на рисунке 2, видно, что большая часть пунктов завоза, а именно 127 пунктов, что от общего числа пунктов завоза составляли 57% (72% – если рассматривать только морское сообщение) приходилось на Тихоокеанский флот в морском сообщении. В речном сообщении большая часть пунктов – 21 пункт, что составляло 9% от общего количества пунктов завоза (45% – если рассматривать только речное сообщение).

Если рассмотреть распределение объемов воинских перевозок по округам (рисунок 3), то можно заметить, что основной объем приходился также на морское сообщение Тихоокеанского флота – 146758,4 т (45%), второе место принадлежало Сибирскому военному округу в речном сообщении – 58532,33 т (18%). Самый низкий показатель, как в речном, так и в морском сообщении – у Ленинградского ВО – соответственно: 2120,4 т (1%) и 12610 т (4%).

**Соотношение количества пунктов завоза в каждом военном округе в морском и речном сообщениях**

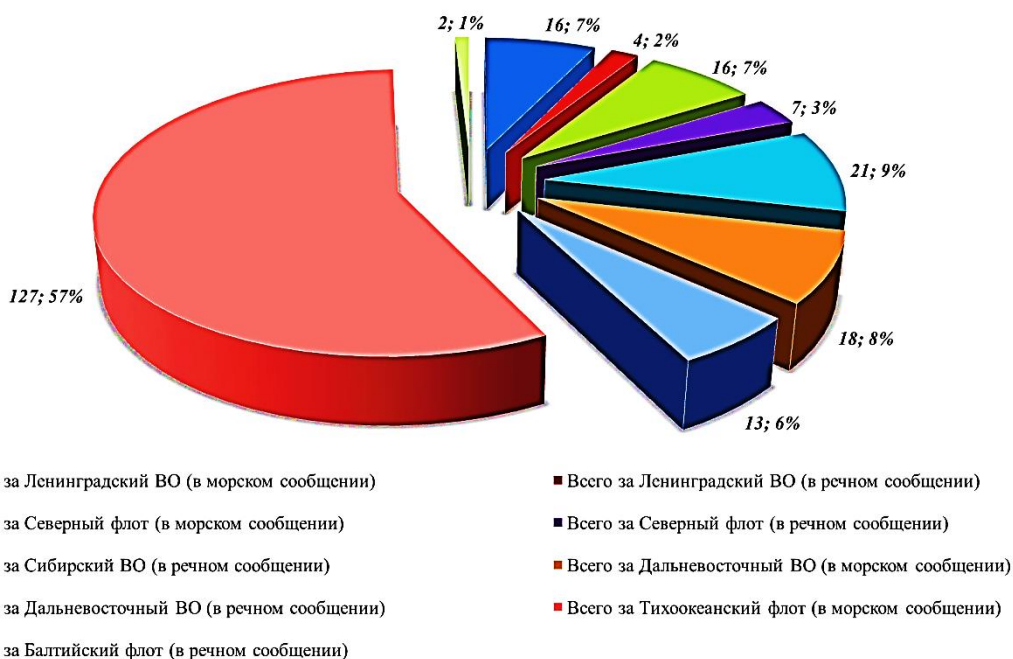


Рисунок 2 – Соотношение количества пунктов завоза в военных округах

**Распределение объемов воинских морских и речных перевозок, тонны**

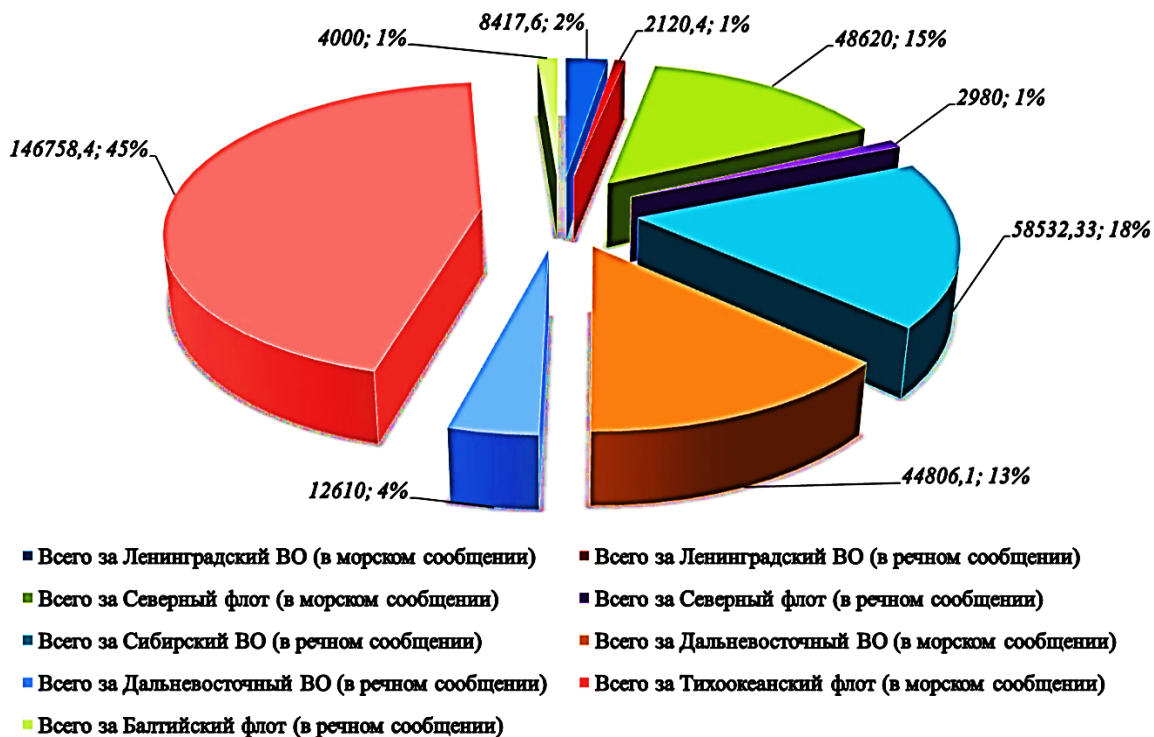


Рисунок 3 – Распределение объемов воинских морских и речных перевозок



Основную массу воинских грузов-снабжения с 2002 по 2004 года составляли, в первую очередь, твердое топливо и горючее (рисунок 4, приложение А.2). Кроме того, в номенклатуру воинских грузов также входило: продовольствие, вещевое и медицинское имущество и прочие грузы. За это время можно заметить, что увеличились объемы поставок горючего по сравнению с 2002 г. на 39,6%, а вот объем поставок твердого топлива уменьшился на 43,6% (то есть почти в 2 раза), также уменьшились объемы завоза продовольствия и прочих грузов. При этом в 10,4 раз вырос объем завоза вещевого имущества. Если в 2002 г. он составлял 127,5 т, то в 2004 г. он увеличился на 90,4% и стал 1330,23 т. Из данной гистограммы также видно, что объем всех грузов, перевезенных во флоты и в округа, наметил тенденцию к снижению объема воинских перевозок.

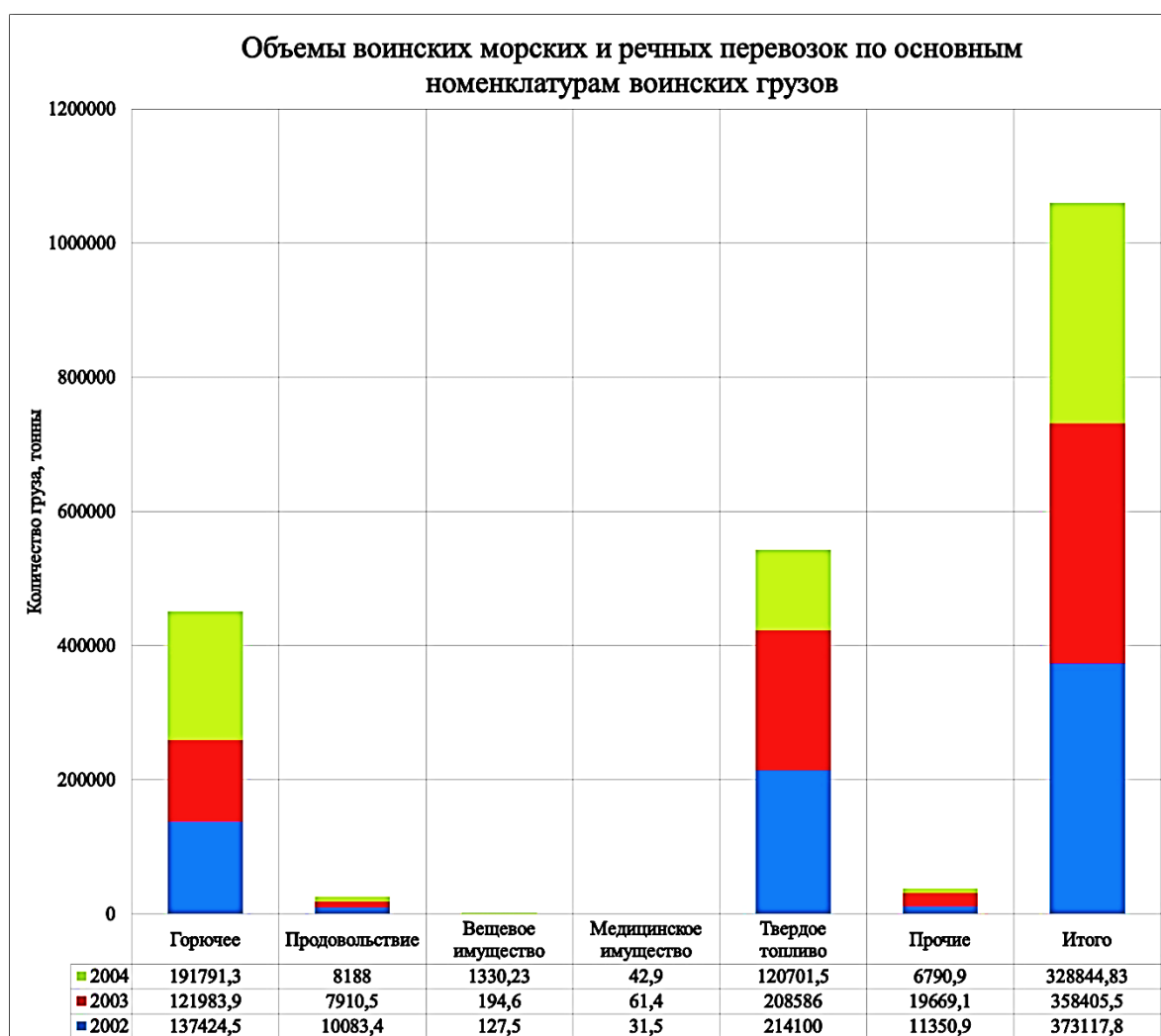


Рисунок 4 – Объемы воинских морских и речных перевозок по номенклатурам воинских грузов

Теперь рассмотрим грузооборот за период с 2002 по 2004 год по военным округам (рисунок 5). Лидировал по данному показателю Тихоокеанский флот в морском сообщении в силу того, что на его долю приходилась большая часть пунктов завоза. За ним следовал Северный флот в морском сообщении, а затем и Дальневосточный ВО в морском сообщении. Рассматривая в совокупности всей номенклатуры грузов по каждому округу можно заметить, что почти в каждом из них грузооборот порядком упал, кроме Сибирского ВО (в речном сообщении). Данная тенденция, скорее всего, связана с влиянием погодно-климатических явлений, а также моральной изношенностью российского флота и портового оборудования.

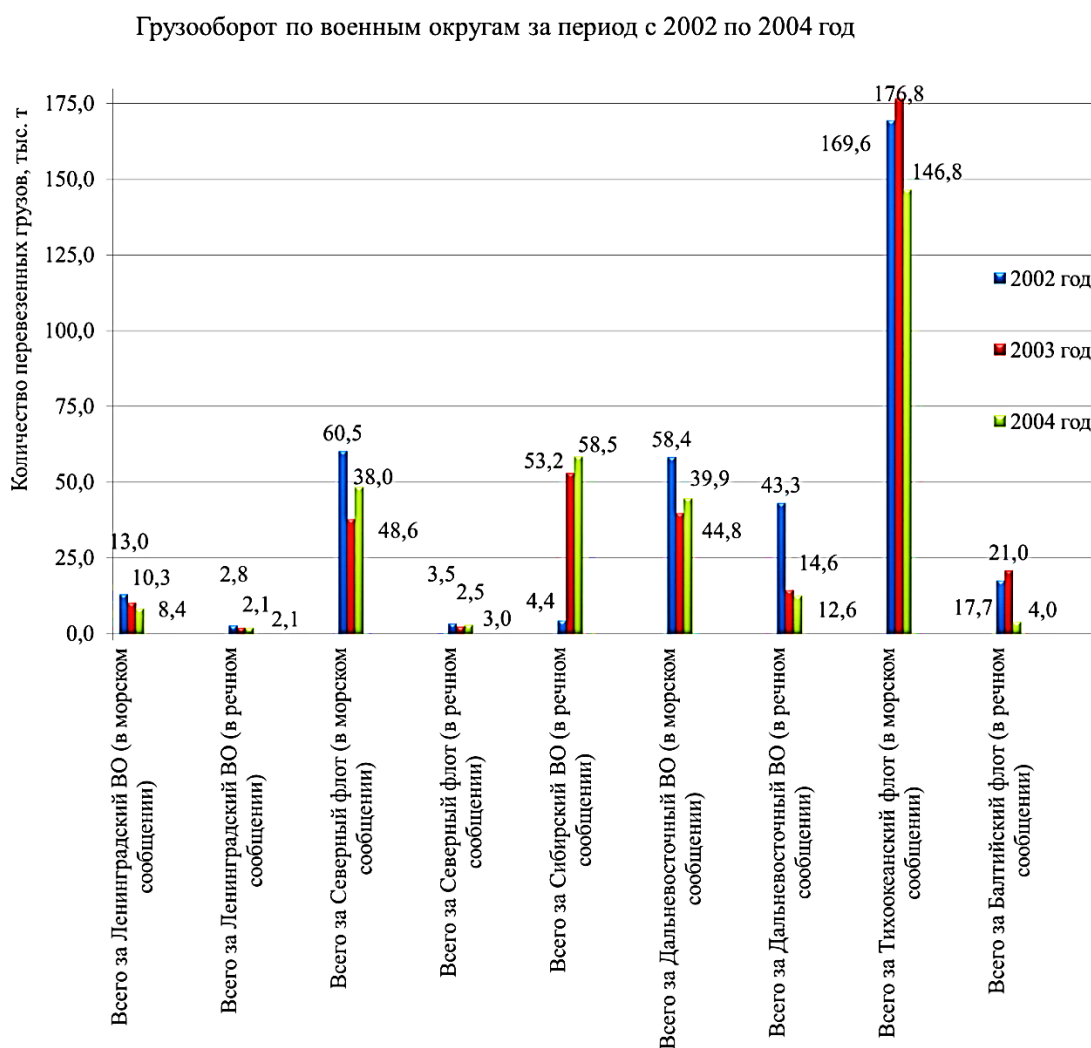


Рисунок 5 – Грузооборот по военным округам в период с 2002 по 2004 года

Исходя из проведенного выше ретроспективного анализа и опыта перевозок, в настоящее время постепенно ситуация восстанавливается, так как открываются новые базы, такие как: база «Темп» (на острове Котельный), п. Нагурская (на острове Земля Александры), остров Средний и остров Врангеля. Кроме того, создана компания ООО «Оборонлогистика», которая работает в структуре Военно-строительного комплекса Министерства обороны РФ [11]. Постоянно выполняются перевозки военных грузов в Арктике, наращивая объемы и совершенствуя технологии погрузо-разгрузочных работ.

Федеральным Законом от 21 июля 2005 года № 94-ФЗ «О размещении заказов на поставку товаров, выполнение работ, оказание услуг для государственных и муниципальных нужд» (ранее определялся более жестким Федеральным Законом от 6 мая 1999 года № 97-ФЗ «О конкурсах на размещение заказов на поставку товаров, выполнение работ, оказание услуг для государственных нужд») определяет порядок привлечения судов в гражданских владельцев к выполнению воинских морских перевозок как конкурсный отбор, который производится для внутрифлотских и внутриокружных перевозок конкурсными комиссиями флотов и военных округов, в том числе с участием служб ВОСО, а также для централизованных перевозок, а именно конкурсной комиссии ЦУП ВОСО МО РФ по доверенности Министра обороны РФ [12].

При этом, технологические условия выполнения перевозок, которые обусловлены непродолжительным периодом навигации, а также недостаточным оборудованием пунктов выгрузки при их значительном количестве, гидрологическими (т.е. приливо-отливными явлениями) и гидрометеорологическими условиями, предполагает выполнение большинства воинских перевозок в форме именно экспедиционного (навигационного) завоза. Однако, действующие нормативные правовые акты, которые предписывают проведения конкурсных процедур и обуславливают выделение необходимого времени, а именно 45 суток от подачи объявления о торгах до момента рассмотрения конкурсных заявок в соответствии с действующим законодательством, и тем самым исключают оперативное фрахтование судов. Таким образом, перечисленные выше об-

стоятельства определили в качестве основной арендную форму привлечения судов, а именно – фрахтование в тайм-чартер.

Вместе с тем, как показывает анализ, представленный в таблице 1, в общем объеме воинских перевозок преобладают именно перевозки в межпортовом сообщении, которые составляют 61,3% от объема перевозок, в то время как оборудованные порты составляют только 11,2% от перечня всех пунктов назначения. Так как условия выполнения таких перевозок далеки от экстремальных, то имеется возможность достаточно достоверно планировать их продолжительность. В этих условиях применение арендной формы привлечения судов оказывается неэффективным, поскольку, в случае, если её период будет превышать фактические сроки выполнения рейса, то такие арендованные суда окажутся на непроизводительном простое.

Таблица – 1 Объемы воинских морских (речных) перевозок в межпортовом сообщении за 2018 год [10]

| Военный округ (флот), вид перевозок, порты                                                                        | Объем перевозок, т | Процент от общего объема перевозок |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|------------------------------------|
| ЛенВО – морские перевозки (Мезень, Индига, Нарьян-Мар)                                                            | 3593,6             | 42,7%                              |
| СФ – морские перевозки (Белушья, Полярный, Западная Лица, Видяево)                                                | 25600,0            | 52,7%                              |
| СибВО – речные перевозки (Салехард, Ханты-Мансийск, Дудинка, Игарка, Туруханск, Якутск, Тикси, Норильск, Хатанга) | 27418,8            | 46,8%                              |
| ДВО – морские перевозки (Магадан, Петропавловск-Камчатский, Корсаков, Ванино, Южносахалинск, Южнокурильск)        | 12101,5            | 27,0%                              |
| ТОФ – морские перевозки (Анадырь, Усть-Камчатск, Петропавловск-Камчатский, Магадан, Николаевск-на-Амуре)          | 132960,0           | 90,6%                              |
| Всего по Министерству обороны                                                                                     | 201673,9           | 61,3%                              |

Планирование экспедиционного завоза и вывоза техники и грузов производится службой военных сообщений округа на основании заявок начальников родов войск, управлений и служб, представляемых к 25 января текущего года. Начальники родов войск, служб, управлений, отделов, командиры войсковых

частей несут всю полноту ответственности за готовность к перевозке всех грузов и техники не менее, чем за 20 суток, и прибытие сопровождающих за 10 суток до подачи судна под погрузку. Контроль и организацию за ходом навигационного завоза и вывоза грузов совместно с довольствующими службами осуществляет штаб тыла округа. В обеспечении навигационного завоза участвуют следующие должностные лица: начальник перевалочной базы; командир войсковой части (начальник склада) порта погрузки – отправитель груза; командир (начальник тыла) соединения; начальник эшелона; командир войсковой части пункта – получатель груза. Все эти должностные лица должны руководствоваться в своей работе существующими правилами, приказами и инструкциями, которые определяют порядок выполнения воинских перевозок, а также сохранения в тайне сведений, которые стали известны в процессе перевозки.

## 1.2 Транспортная характеристика перевозимых грузов

В данной работе будут перевозиться генеральные грузы трех номенклатур: вещевое имущество в тюках, техническое имущество в ящиках и горючесмазочные материалы в металлических бочках. К перевозке упакованные грузы принимают только в том случае, если тара удовлетворяет требованиям соответствующего стандарта. На судне должен находиться справочник на тару и упаковку для проверки соответствия тары перевозимому грузу [13].

При перевозке генеральных грузов, необходимо учитывать ряд свойств, к которым относятся: высота штабелирования; порча или частичная потеря качества груза под воздействием влаги, температуры, загрязнения, пыли, коррозии, различных видов бактерий, насекомых и грызунов; возможность смещения груза под действием качки и вибрации; опасность, связанная с возможностью самонагревания, самовозгорания, взрыва или вредного воздействия на окружающую среду; необходимость обеспечения определенных температурных, влажностных и вентиляционных режимов трюмного воздуха. При погрузке генеральными грузами судна в одно грузовое помещение можно размещать только

те грузы, которые не окажут взаимного вредного влияния, что достигается путем кропотливого подбора близких по своим специфическим свойствам грузов.

Перед погрузкой судна необходимо выполнить ряд особых требований по подготовке трюмов, а именно: произвести зачистку трюмов, мойку и сушку трюмов; привести в порядок ограждающие устройства; проверить электропроводку, трубопроводы и другое трюмное оборудование; проверить герметичность закрытия горловин, люков и лацпортов, а также противопожарное оборудование и вентиляционную систему; выполнить проверку осушительной системы в работе, чистоты льяльных сеток и надежности закрытия льяльных колодцев; убедиться в исправности приборов дистанционного контроля температуры, влажности и газового состава воздуха; произвести отпрессовку всех танков [13]. Итак, перейдем непосредственно к транспортным характеристикам каждого перевозимого груза.

Вещевое имущество включает в себя широкую номенклатуру изделий различных отраслей легкой промышленности. К морской перевозке предъявляются в тюках, которые обшиты лаковочной тканью. УПО – 4,0 м<sup>3</sup>/т, масса одного тюка – 150 кг. Данный груз является гигроскопичным, легко впитывает влагу, подвержены деятельности микроорганизмов, бояться увлажнения, пылеемкие, бояться высоких температур, могут быть поражены насекомыми, могут иметь незначительный запах и восприимчивы к посторонним запахам. Несовместимы с пылящими, выделяющими запах и/или тепло. Поверх данного груза не следует укладывать другие грузы (ящики, бочки). Оптимальными условиями при хранении и перевозке являются: относительная влажность – 65 – 70%, температура – 10 – 20°C [14].

К военному техническому имуществу относятся: боеприпасы (пули, патроны, гранаты и т.п.), различного рода оружие (холодное (штык-ножи и т.п.) и огнестрельное (автоматы, пистолеты и т.д.)), а также запасные части для эксплуатируемой боевой техники. В данной работе техимущество будет перевозиться в деревянных ящиках, изготовленных из пиломатериалов хвойных пород (сосны, ели, пихты, кедра) и имеющих следующие габариты: 1500×500×650 мм,

а вес 90 кг. Амортизация и крепление груза внутри тары осуществляется при помощи каркасов, прокладок, перегородок из различных материалов (картона, бумаги, древесины, фанеры, древесноволокнистой плиты и т.п.) [15]. Ящики с техимуществом относятся к 1 классу опасности и являются взрывчатыми веществами (ВВ), требующими по правилам МОПОГ особых условий размещения и укладки на судне. Данный груз загружают в помещения обычной укладкой. Если на пайоле нет деревянного настила, то под груз подкладываются доски, а также соблюдаются обычные меры предосторожности и требования при укладке такого груза. Оптимальными условиями перевозки следует считать температуру от 5 до 40°C и относительную влажность в пределах 70%, если иное не указано в карточке на груз. Вентиляция грузовых помещений должна обеспечивать пятикратный обмен воздуха [16]. Особую роль при транспортировании играет маркировка тары, которая состоит из соответствующей отличительной окраски, знаков и надписей, которые наносятся с помощью окрашивания по трафарету, типографским способом, штемпелеванием или специальной маркировочной машиной. Маркировка ящика наносится на его крышку и содержит следующие данные: массу (брутто, кг); транспортный знак, указывающий в равнобедренном треугольнике номер опасного груза и знак опасности или классификационный шифр, характеризующие транспортную опасность груза по ГОСТ 19433-88. Знак опасности выполняется типографическим способом на бумажном ярлыке размером 50×50 мм, который приклеивается клеем к крышке ящика [16]. При перевозке и загрузке трюма однородными ящиками особое внимание уделяется укладке первого яруса, так как они не должны выступать по высоте за его пределы. Все свободные пространства у бортов закладываются сепарационным материалом. Таким образом, последующая укладка рядов идет на ровную поверхность [13].

И последняя – третья номенклатура перевозимых грузов – горюче-смазочные материалы (бензин) в металлических бочках. ГСМ в таре обладают рядом свойств, таких как: огнеопасность, температура вспышки и воспламенения, взрывоопасность, токсичность, испаряемость, наличием специфического

запаха, который может испортить грузы, восприимчивые к посторонним запахам. Как правило, данные грузы опасными свойствами не обладают. Но при температуре вспышки относятся к опасным грузам, а именно к 3 классу – легковоспламеняющиеся жидкости (ЛВЖ) – подкласс 3.1 (бензин автомобильный). Итак, по ГОСТ Р 51858-2002 при хранении в закрытой таре бензин относится к 4 классу опасности – мало опасным веществам (п. 6.1 – 6.5), пожарная опасность (ЛВЖ) – 3 класс [18]. К морской перевозке предъявляются в металлических бочках, которые должны быть ярко окрашены, и иметь соответствующую маркировку. В данной работе бензин будет перевозиться в металлических стальных сварных бочках цилиндрической формы с гофрами на корпусе объемом 200 литров (ГОСТ 13950-91) [19]. Габариты такой бочки: диаметр наружный –  $594 \pm 3$  мм, высота бочки –  $845 \pm 5$  мм, толщина металла – 0,8 – 1,0 мм, вес – не более 20 кг. Стандартная 200-литровая бочка с маслом весит свыше 180 кг. На транспортную тару наносят транспортную маркировку и манипуляционные знаки по ГОСТ-14192 [20] и маркировку, характеризующую транспортную опасность груза, по ГОСТ-19433 (рисунок 6) [16].



Рисунок 6 – Пример маркировки металлических бочек с бензином

При размещении бочек с ГСМ на судне рекомендуется соблюдать следующие условия: укладку груза необходимо производить вдали от жилых поме-



щений, чтобы предотвратить опасность отравления людей ядовитыми газами, либо рядом с такими помещениями, но только при разделении их переборкой типа А-60; груз должен быть размещен вдали от источников тепла, предпочтительно хранить эти грузы в прохладных помещениях. Помещения, куда предполагается загрузка данного груза, должны быть хорошо вентилируемыми. Вход в загруженный трюм запрещается до тех пор, пока не будет выполнен анализ воздуха и подтверждено, что в трюме безопасно, т.е. отсутствуют опасные смеси. При крайней необходимости надлежит использовать индивидуальные дыхательные аппараты. Хранение и транспортировка бочек с бензином производится на поддонах не более чем в 2 яруса. В местах хранения груза должны быть огнетушители, а также ящики с песком. Курение в местах хранения груза не допускается. В процессе хранения и транспортировки всегда должен быть обеспечен свободный доступ к любой из бочек при минимальном перемещении остальных емкостей. При транспортировании и хранении бочки укладывают на торец. Таким образом, в первую очередь, загружают подпалубные пространства, укладывая при этом ряды вдоль поперечных переборок. На первый ярус бочек выстилается сплошной настил досок толщиной 20 – 30 мм и длиной не менее 2 м. поверх сепарации устанавливается второй ярус [13].

Так как в данной работе перевозится два опасных груза, то необходимо уделить особое внимание требованиям, предъявляемым к таре и упаковке таких грузов, которые регламентированы правилом 3 гл. VII Конвенции СОЛАС – 74 [21], Кодексом МК МПОГ [22], Правилами МОПОГ и ГОСТом 10.74 – 74.

Основные требования при перевозке опасных грузов морем предписаны правилами гл. VII Конвенции 1974 г., так правило 7 «Требования к загрузке» из этой главы гласит: «опасные грузы должны быть уложены надлежащим и безопасным образом в соответствии со свойствами грузов, несовместимые грузы должны быть отделены друг от друга; взрывчатые вещества должны быть уложены в отдельные помещения и надежно закрыты во время рейса, такие грузы должны быть отделены от детонаторов; грузы, выделяющие опасные пары, необходимо грузить в хорошо вентилируемые трюмы или на палубу; вещества,

которые подвержены самонагреванию или самовозгоранию, нельзя перевозить без надлежащих мер предосторожности по предупреждению возникновения пожара» [21]. В данной работе все эти правила учтены и каждый груз перевозится в отдельном трюме.

Итак, размещение опасных грузов на судне производится в соответствии с таблицей совместимости, приведенной в пр. V Правил МОПОГ, 1977 г. [16]. При размещении опасного груза на судне учитывается степень его укрытия от воздействия внешней среды, что привело к введению такого понятия как: «под палубой». При укладке опасных грузов под палубой необходимо учесть, что во время рейса может возникнуть необходимость в удалении опасного груза из грузового помещения (трюма) или осмотра состояния груза. В связи с этим такие грузы следует укладывать в местах, наиболее доступных для их осмотра и быстрой выгрузки в проветах люков твиндеков, в местах, прилегающих к лазам, шахтам и т. д. При этом, так как грузовые помещения судна не одинаковы с точки зрения режимов перевозки, то в носовых трюмах лучше всего размещать грузы, требующие усиленной вентиляции, что позволит более эффективно удалять вредные испарения и газы [23].

### 1.3 Анализ эксплуатационных характеристик портопунктов и флота, используемых в районах Крайнего Севера

В районах Крайнего Севера основными видами транспорта являются морской и речной, но возможности их использования ограничены коротким сроком навигации (2 – 3 месяца северного лета). В связи с этим для жителей этих районов основной проблемой остается – транспортная доступность. Доля морского и речного транспорта в грузообороте районов Крайнего Севера составляет 46%, но только 15% населения данных районов проживает в зоне круглогодичного транспортного сообщения [1].

Арктическая транспортная система включает в себя: комплекс транспортных средств морского и речного флота, авиации, трубопроводного, желез-

нодорожного и автомобильного транспорта, исторически сложившуюся единую национальную транспортную коммуникацию Северный Морской Путь (СМП), а также береговую инфраструктуру (порты, средства навигационного гидрографического и гидрометеорологического обеспечения, связи), обеспечивающих транспортную деятельность в районах Крайнего Севера РФ вместе с системой меридианно-ориентированных транспортных путей.

Северный Морской путь – это главная судоходная магистраль РФ в Арктике и основная кормящая артерия для районов Крайнего Севера, проходящая по морям Северного Ледовитого океана и являющаяся кратчайшим морским путем между Европейской частью РФ и Дальним Востоком (протяженность от Карских Ворот до бухты Провидения – 5600 км, (3023,76 морских миль)), что сокращает расстояние на участке Европа – Япония в 2 раза, уменьшает стоимость перевозок – в 1,6 раза). Продолжительность навигации на трассе составляет от 2 до 4 месяцев (на отдельных участках дольше, с помощью ледоколов) [24]. Благодаря полученному многолетнему опыту плавания в арктических морях сложились основные варианты маршрутов, где формируются благоприятные для судоходства ледовые условия. В настоящее время у этих маршрутов имеется хорошее гидрографическое обеспечение, и они являются рекомендованными (стандартными) трассами. При этом, их расположение зависит от ряда факторов, а именно: от времени года (сезона), от гидрографических особенностей каждого района, от типа судов, которые осуществляют перевозку грузов, и наконец, самым решающим являются – особенности состояния и распределения ледяного покрова.

Арктическая зона характеризуется экстремальными природными условиями, а именно: низкими в течение всего года температурами, длительной полярной ночью и полярным днем, частыми магнитными бурями, сильными ветрами и метелями, плотными туманами, однообразными арктическими пустынями и тундрой, вечной мерзлотой, высокой динамикой изменения климата в последние десятилетия, которая значительно превышает среднемировую. Такую природную экстремальность усиливают негативные действия социально-

экономических факторов, таких как: транспортная недоступность, высокие производственные издержки и стоимость жизни в этих районах, малые размеры экономики и тенденции к ее монополизации, изолированность и дисперсность расселения.

Таким образом, доставка продовольствия в отдаленные районы Крайнего Севера сопряжена с преодолением множества трудностей, например: ограниченная проходимость, сложная ледовая обстановка, волнение на море, «ледовый шторм» (возникает при повышении уровня и штормовом волнении в сочетании с наличием льда у приглубого берега), сильные течения, приводящие к возникновению «ледовых рек», высокая зависимость от приливно-отливных процессов (т.е. лунных циклов), изрезанная береговая линия, которая осложнена различными скалами, фьордами, мысами, бухтами и заливами, отсутствие береговой инфраструктуры и многое другое.

В северных широтах многое зависит от состояния моря, например: все морские транспортные операции и работы на шельфе, хозяйственная деятельность организаций, а также безопасность населённых пунктов, которые расположены на побережье. Прекращение грузовых операций, повреждение или гибель судов и плотов, значительный материальный ущерб и даже человеческие жертвы несут в себе колебания уровня моря и морское волнение при определенном развитии процессов; также к этому может привести возникновения «ледового шторма», когда огромные глыбы льда выбрасываются далеко на берег, повреждая или уничтожая береговые сооружения суда и оборудование, так называемые «ледовые реки», затрудняющие судоходство, также вызывают в некоторых случаях повреждения и гибель судов. Приливо-отливные и сгонно-нагонные волны, распространяясь под припаем, а также волны-зыби могут нанести значительный ущерб при проведении на побережье погрузо-разгрузочных работ на припае, взламывая при этом сам припай.

В основном грузовые операции проводятся в рейдовых условиях, у плавпричала или на открытом необорудованном берегу, так как организация

завоза в северные регионы страны, а также конечный получатель находятся в значительном удалении от непосредственного места выгрузки.

Исходя из этого, можно сделать вывод, что порт или место выгрузка являются лишь перевалочным пунктом в цепи доставки грузов. На сегодняшний день морские порты Арктики находятся в критическом состоянии и являются слабым звеном СевМорПути. До недавнего времени Арктические порты находились в ведении Министерства транспорта России, но были переданы в собственность субъектов РФ. Модернизация технического оборудования портов за последние несколько лет не производилась, в виду отсутствия необходимых средств у новых собственников.

Арктические порты требует капитального ремонта (в большинстве случаев именно причальных сооружений), а также реконструкции и увеличения глубин у причалов, для того чтобы принимать современные суда, так как в большинстве портов Арктического бассейна суда разгружаются в основном на рейде из-за того, что глубина фарватера слишком мала, в чем можно убедиться, если посмотреть максимальные габариты судов, которые может принять порт (Приложение А.3) [25].

Кроме того, большая часть портов и пунктов выгрузки расположенных в Арктике (рисунок 7 и 8, приложение Б, рисунок Б.1 – Б.6) являются необорудованными (отсутствие пирса, галечный пляж и т.п.), т.е. техническое состояние пунктов завоза не удовлетворяет современным требованиям. Также необходимо, чтобы навигационно-гидрографическое и гидрометеорологическое обеспечение соответствовало современным требованиям или было же полностью заменено.

Ещё одной проблемой является загрузка портов и их развитие, так как 1/3 грузов, идущих в Россию, теперь доставляется в иностранные порты (Финляндия, Украина, страны Балтии). Кроме того, арктическому региону требуется развитие ледокольного флота и комбинированных перевозок, а также развитие транссибирских перевозок из Азии в Европу и обратно.

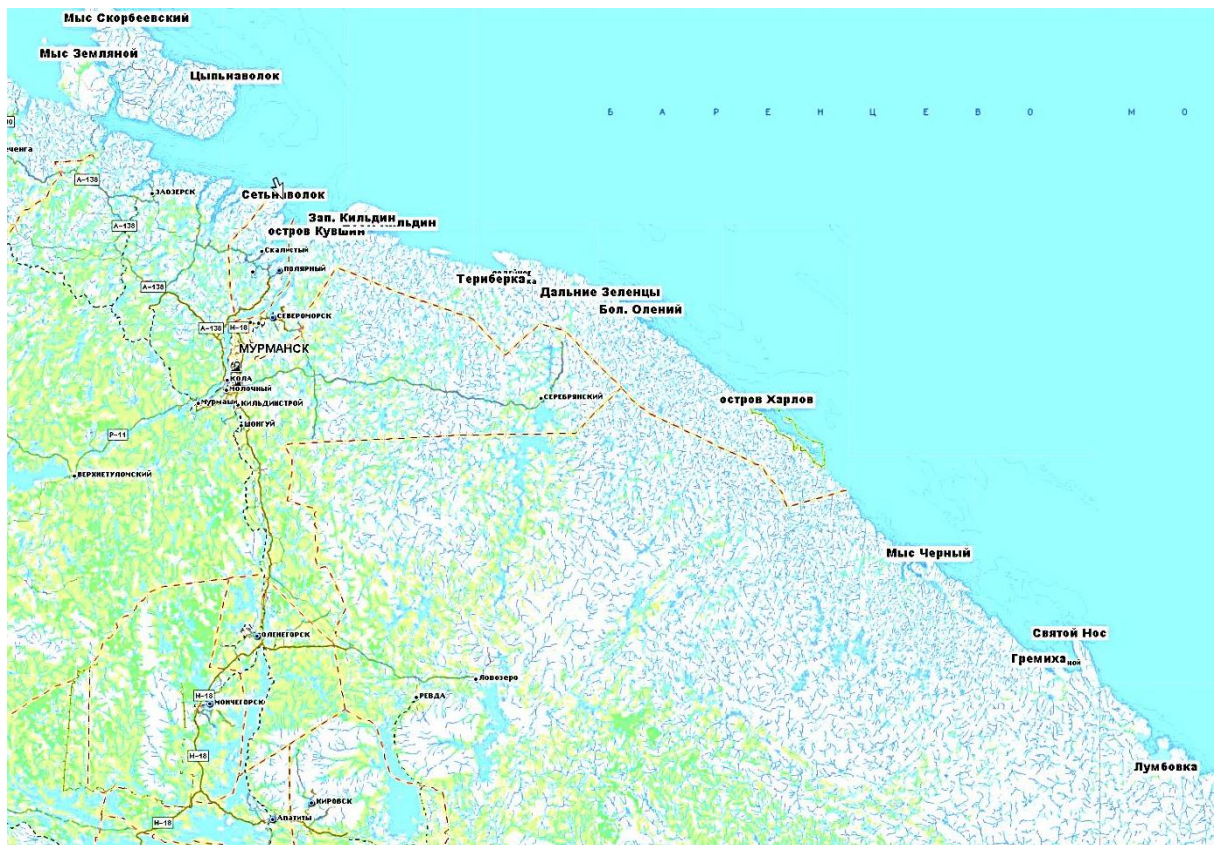


Рисунок 7 – Основные пункты выгрузки в акватории Баренцева моря

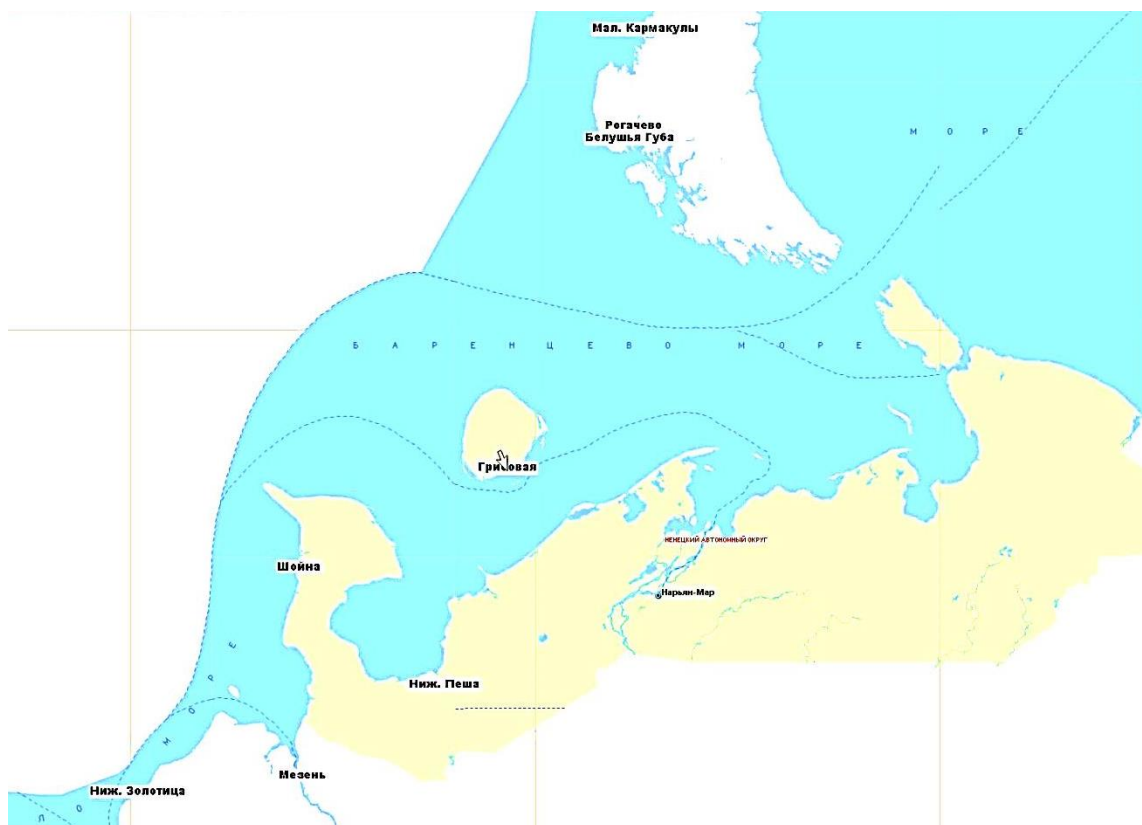


Рисунок 8 – Основные пункты выгрузки в акватории .Белого моря

Таким образом, исходя из всего вышеизложенного объёмы перевозок по Северному морскому пути сократились почти в 4 раза за последние 20 лет, а по восточному сектору в 30 раз. Такие порты, как: Нарьян-Мар, Игарка, Дудинка, Диксон, Хатанга, Тикси, Певек, и порты-бухты Провидения являются самыми слабыми звеньями транспортной системы. Поэтому создание новых транспортно-логистических (портовых) комплексов или рядовых отгрузочных терминалов, как: Индиго, Харасавэй, Печенга, Варандей, их экономическое Возрождение напрямую связано с наращиванием грузопотока по трассе СевМорПути.

В настоящее время идут работы по восстановлению, реконструкции и модернизации действовавших ранее, а также строительство новых портов и портовых сооружений, в силу того, что увеличиваются объёмы добычи полезных ископаемых (нефть, газ и др.), с освоением новых месторождений в Арктике, необходимость доставки грузов для жизнеобеспечения населения, решения задач комплексного социально-экономического развития данного региона, обеспечения бесперебойного функционирования заполярных объектов обороноспособности и национальной безопасности. В перспективе планируется модернизация таких портов, как: Мурманск, Хатанга, Дудинка, Тикси, Певек, Диксон и других. Кроме того, создаются новые портовые комплексы и отгрузочные терминалы Варандей, Печенга, Харасавей и Индига, не говоря уже о строящемся новом арктическом порте Саббета. Также восстанавливается система портопунктов для каботажного плавания, в том числе и на островах.

Кроме морского транспорта в арктическом регионе также используется и речной транспорт. По территориям Крайнего Севера протекает множество рек и впадает в арктические моря, например: Енисей, Хатанга, Анабар, Колыма и другие. Такие реки, как: Обь, Пяси́на, Оленек, Лена, Яна и Индигирка используются только речного судоходства.

С 1950 года и до наших дней произошли колоссальные изменения в системе внутреннего водного транспорта (ВВТ) России, так протяжённость внутренних водных путей (ВВП) уменьшилась с 41,5 до 10,58 %. Можно предположить, что эта тенденция сохранится и далее, вследствие того, что отсутствует

рост ВВП. Также за этот период времени сократилась относительная величина грузооборота на ВВТ с 8,8 до 2,13 %, показывая тем самым тенденцию к дальнейшему сокращению. В первую очередь, это связано с ростом конкуренции, а также быстрым развитием других видов транспорта, таких как трубопроводный. Протяженность внутренних водных путей России хоть и является самой большой в мире и составляет 101,7 тыс. км, но при этом загрузка ее ВВП одна из самых низких в мире: 1 тыс. перевозимого груза на 1 км ВВП [26].

При этом согласно данным Росморречфлота за последние 17 лет доля внутренних водных путей, обслуживаемых обстановкой (то есть со знаками судоходности) в общей протяженности внутренних водных судоходных путей РФ снизилась на 18,6% (таблица 2) [2].

Таблица – 2 Доля внутренних водных путей, обслуживаемых обстановкой (со знаками судоходности), в общей протяженности внутренних водных судоходных путей Российской Федерации

| № п/п | Год  | Процентов |
|-------|------|-----------|
| 1     | 2001 | 71,0      |
| 2     | 2002 | 71,2      |
| 3     | 2003 | 70,2      |
| 4     | 2004 | 69,9      |
| 5     | 2005 | 67,4      |
| 6     | 2006 | 63,6      |
| 7     | 2007 | 63,0      |
| 8     | 2008 | 61,6      |
| 9     | 2009 | 60,8      |
| 10    | 2010 | 60,7      |
| 11    | 2011 | 60,9      |
| 12    | 2012 | 57,0      |
| 13    | 2013 | 57,0      |
| 14    | 2014 | 56,6      |
| 15    | 2015 | 56,8      |
| 16    | 2016 | 56,8      |
| 17    | 2017 | 57,7      |
| 18    | 2018 | 52,4      |

На сегодняшний день речным транспортом перевозится 2,13 % груза, что свидетельствует о том, что он на грани выхода из транспортной системы Рос-



сии и не оказывает уже значительного влияния на экономику страны. Несмотря на то, что у этого вида транспорта есть свои положительные качества, такие как: низкая стоимость доставки; перевозка крупнотоннажных и негабаритных грузов, доставка которых другими видами транспорта не возможна; доставка грузов в труднодоступные места, где отсутствует транспортная инфраструктура; перевозка сезонных грузов, не требующих срочной доставки, или перевозка массовых грузов в прямом сообщении для создания запасов или заполнения складов и хранилищ. Но в виду того, что портовая инфраструктура, а также гидротехнические сооружения находятся в критическом состоянии, а также отсутствие единой системы ВВП (существуют только отдельные ВВС по бассейнам: в европейской части страны, сибирских и дальневосточных рек и они не связаны между собой), а также непредсказуемый срок доставки грузов и ограниченное время навигации, обусловленное сезонностью (возможно лишь в период с мая по октябрь) – все это делает невозможным построение постоянной и ритмично работающей транспортной системы [26].

На преодоление многолетней тенденции критического ухудшения технического состояния направлены и проекты по реконструкции судоходных гидротехнических сооружений. Согласно Концепции развития внутренних водных путей РФ на период до 2024 года то к окончанию этого срока на внутренних водных путях не останется объектов, имеющих опасный уровень безопасности. Такая реконструкция позволит и дальше поддерживать гидротехнические сооружения в нормальном техническом состоянии за счет текущих ремонтов и капитальных вложений, не требующих больших инвестиционных затрат [28].

Ещё одной проблемой Российского флота является то, что под флагом России ходит 1130 судов, то есть 78% общей грузоподъемностью в 5,4 млн. т, при этом средняя грузоподъемность судов составляет 5,25 т. Данные цифры говорят о том, что в составе флота очень мало крупнотоннажных судов, а средний возраст составляет 21,6 года. Средний возраст судов под российским флагом примерно составляет 22,8 лет. В настоящее время флот используются неэффективно, так за годы реформ произошло 5-кратное снижение объемов грузопере-

возок. Параметры внутренних водных путей и судоходства гидротехнических сооружений находятся на критически допустимом для безопасного судоходства уровне, только 31 % гидросооружений соответствует нормам безопасности. Темпы ремонтно-восстановительных работ отстают от прогрессирующих процессов разрушения, что повышает вероятность техногенных катастроф. Состояние инфраструктуры внутренних водных путей, которые находятся в федеральной собственности, не позволяет эффективно использовать транспортный флот, а также снижает скорость продвижения грузов.

Ещё одной проблемой является то, что 317 судов сегодня эксплуатируется под иностранным флагом, с общей грузоподъемностью 15,2 млн. т, при этом средний возраст данных судов составляет всего лишь 8 лет. Растет тенденция строительства новых судов под «удобные флаги» [27]. Таким образом, продолжает сокращаться морской и речной флот. В связи со сложившейся проблемной ситуацией 20 декабря 2005 года Президентом РФ был подписан закон № 168-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты РФ в связи с созданием Российского международного реестра судов» [29]. Таким образом, в перспективе с опорой на два документа ФЦП «Развитие транспортной системы России на 2010-2020 года» и в части подпрограммы «Морской транспорт» и «Транспортная стратегия до 2030 года» [30] флот России должен значительно пополниться. В частности рассматривая период с 2014 по 2020 год предполагалось построить 84 судна, сумма дедвейта которого будет составлять 4,2 млн. т, а 2020 – 2030 года 406 судов с общим дедвейтом 11,7 млн. т.

Морской флот в России всегда был приоритетным, и именно потенциалом морского торгового флота определяется морская державность нашей страны. В составе транспортного арктического флота РФ около 150 судов ледового класса, находящихся в собственности судоходных и ресурсодобывающих компаний. Интенсивное физическое моральное старение морского и речного флота России продолжается и по сей день, средний возраст судов составляет около 20 – 22 лет, при этом свыше 40% судов выработали свой нормативный срок

эксплуатации, а именно 22 года, что в 2 раза превышает долю судов такого же возраста в составе мирового морского флота [27].

Ведущие российские ресурсодобывающие компании в настоящее время осуществляют масштабные проекты по строительству судов усиленного ледового класса, которые внесут существенный вклад в обеспечение своевременной и безопасной транспортировки грузов в ледовых условиях Арктики. Модернизация арктического флота предполагает расширение роли транспортных средств универсального и двойного назначения, которые в условиях Крайнего Севера наиболее эффективны, а также мало- и среднетоннажных судов, а именно судов «река-море» ледового класса, сухогруза наливных теплоходов, а также судов для перевозки транзитных контейнерных грузов, танкеров ледового класса, специализированных судов для рыбопромыслового и научно-исследовательского флота.

Таким образом, в современных экономических условиях состояние морского и речного флота можно охарактеризовать рядом негативных тенденций:

- снижается количество эксплуатируемых под отечественным флагом торговых судов в крупных судоходных компаниях: за последние 5 лет в 2,4 раза, но при этом темпы снижения за последние 3 года существенно сократились;

- строительство, регистрация флота и осуществление доходного бизнеса продолжает также осуществляться за рубежом;

- продолжает расти активный износ флота, зарегистрированного под российским флагом: в основном средний возраст российских судов составляет около 20 лет с учётом незначительного пополнения флота;

- происходит снижение экономической эффективности использования флота, а также снижение уровня безопасности мореплавания и возрастает вероятность экологической угрозы при эксплуатации устаревших судов;

- устарела не только физически, но и морально значительная часть обеспечивающих видов флота, таких как: ледокольного, аварийно-спасательного, служебно-вспомогательного, природоохранного, дноуглубительного и других, в связи с этим снижается надёжность его работы.

Важными составляющими для обеспечения безопасности мореплавания на трассах Северного морского пути выступают аварийная готовность и ледокольная проводка. Российский линейный ледокольный флот включает в настоящее время 6 действующих линейных атомных ледоколов и 5 линейных дизель-электрических ледоколов, которые являются федеральной собственностью государства. На перспективу до 2020 года предполагается построить 3 универсальных атомных ледокола типа ЛК-60Я, 4 дизель-электрических ледокола типа ЛК-25Д и 2 дизель-электрических ледокола типа ЛК-18Д. Универсальные атомные и дизель-электрические ледоколы нового поколения будут многофункциональными, способными выполнять работы не только по проводке судов, но и по спасанию людей и судов, а также ликвидации аварийных разливов нефти на море. Три универсальных атомных ледокола с переменной осадкой будут способны работать как на морских участках, так и в мелководных районах устья реки Енисей, Обской губы и других прибрежных районов арктических морей, заменять ледоколы типа «Арктика» и «Таймыр» и, тем самым полностью обеспечат ледокольную проводку судов в Арктике[31].

Таким образом, к 2035 году планируется пополнение линейного ледокольного флота РФ, который будет насчитывать не менее 13 тяжелых линейных ледоколов, в том числе 9 из них будут атомными [32].

Для того чтобы повысить эффективность использования СМП необходимо не только нарастить количество и мощность судов морского транспорта, но и внедрить новейшие технологии в систему управления перевозками и переработки грузов, а также в навигационно-гидрографическое обеспечение.

Арктика – это зона неустойчивого судоходства, в которой ледовые условия в морях зависят как от температуры воздуха, так и от степени солености воды, интенсивности течения, состояния глубинного льда, направления ветра и прочих условий. Кроме того, навигационные характеристики льда могут значительно отличаться от одной навигации к другой. Поэтому плавание судов в районах Арктики и Крайнего Севера сопряжено с большими трудностями, не только ледовой обстановкой, но и навигационного характера, которые обуслов-

лены тяжелыми гидрометеорологическими условиями, недостаточной гидрографической изученностью, наличием малых глубин и мелей, отсутствием средств навигационного ограждения, частым изменением фарватеров и необеспеченностью квалифицированной лоцманской проводкой. Судовладельцы, которые традиционно обеспечивают транспортные связи по СМП, учитывая все вышеизложенные факторы, разрабатывают и согласовывают с государственными надзорными органами специальные «Рекомендации для плавания судов и плавучих средств в пункты высокоширотных морей». Данные рекомендации имеют характер практических пособий и значительно дополняют официальные издания Главного управления навигации и океанографии Минобороны России.

Так, в Правилах плавания в акватории Северного морского пути заложена законодательная основа организации судоходства по СМП. В апреле 2013 года был введён разрешительный порядок плавания судов по трассам СМП. Этими правилами предусматривается порядок и сроки подачи заявок на прохождение по трассам СМП, определяется состав участников организации движения, их полномочия, устанавливаются технические требования к судам, с целью обеспечения экологической безопасности, а также таблицы критериев допуска судов на СМП в соответствии с категорией их ледовых усилений [33]. Таким образом, исходя из всего вышесказанного можно сделать следующие выводы:

- Федеральный закон «Правила плавания в акватории Северного морского пути» заложили правовую базу, определили структуру взаимоотношений подчиненности субъектов [34];

- успешное развитие Северного морского пути является не только необходимым условием для освоения Арктики, но и ключевым звеном, точкой роста, способствующим экономическому подъему России в целом;

- утвержденные Тарифы на ледокольную проводку судов, которые оказывают ФГУП «Атомфлот» в акватории СевМорПути, повышают прозрачность хозяйственных взаимоотношений [35];

- создание новых транспортно-логистических (портовых) комплексов или рядовых отгрузочных терминалов, как: Индиго, Харасавэй, Печенга, Ва-

рандей, их экономическое возрождение способствует увеличению грузопотока по трассе СевМорПути;

- пополнение арктического флота РФ также будет способствовать увеличению грузопотока через трассу СМП, а пополнение линейного ледокольного флота позволит увеличить период навигации;

- реализация проектов по освоению природных богатств региона, таких как проекта «Ямал СПГ», напрямую связано с развитием СМП;

- реконструкция и модернизация гидротехнических сооружений позволит более эффективно и безопасно использовать речной транспорт и увеличить охват северного завоза.

Достойной альтернативы водным маршрутам для массовой доставки грузов в отдаленные районы Крайнего Севера на сегодняшний момент и в обозримой перспективе не предвидеться, поэтому их сохранение и развитие должны стать основным стратегическим направлением государственной транспортной политики России.

#### 1.4 Анализ технологий и условий рейдовой выгрузки в районах Крайнего Севера

Пункт обработки судов у морского побережья включает акваторию и территорию, а также навигационное, оградительное, транспортное, причальное, перегрузочное и складское оборудование. При этом так же, как и технология грузовых работ, оборудование пункта при обработке сухогрузных и наливных судов имеют свои существенные различия. На акватории пункта оборудуются рейд отстоя и перегрузочный рейд.

На морских бассейнах в ряде случаев защищенность перегрузочного рейда от волнения определяет возможность погрузки или выгрузки судов и выбор способа их обработки, поскольку волнение ограничивает возможность применения плавучих перегрузочных, транспортных и временных причальных средств.

В период погрузки/выгрузки грузов в зависимости от местонахождения судна на перегрузочном рейде выделяют следующие основные способы его обработки у побережья (рисунок 9): на рейде (с использованием РАС – рейдовых амфибийных средств; РВС – рейдовых воздушных средств и РПС), у временного причала и у необорудованного берега (припая). На выбор способа обработки судна оказывает влияние ряд факторов, а именно: местные условия, защищенность пункта от волнения, наличие приливо-отливных колебаний, характер грунта, уклоны дна и берега, ледовая обстановка, типы обрабатываемых судов, наличие и вид транспортных, перегрузочных средств и других ресурсов, а также возможности их применения в данном районе [24].

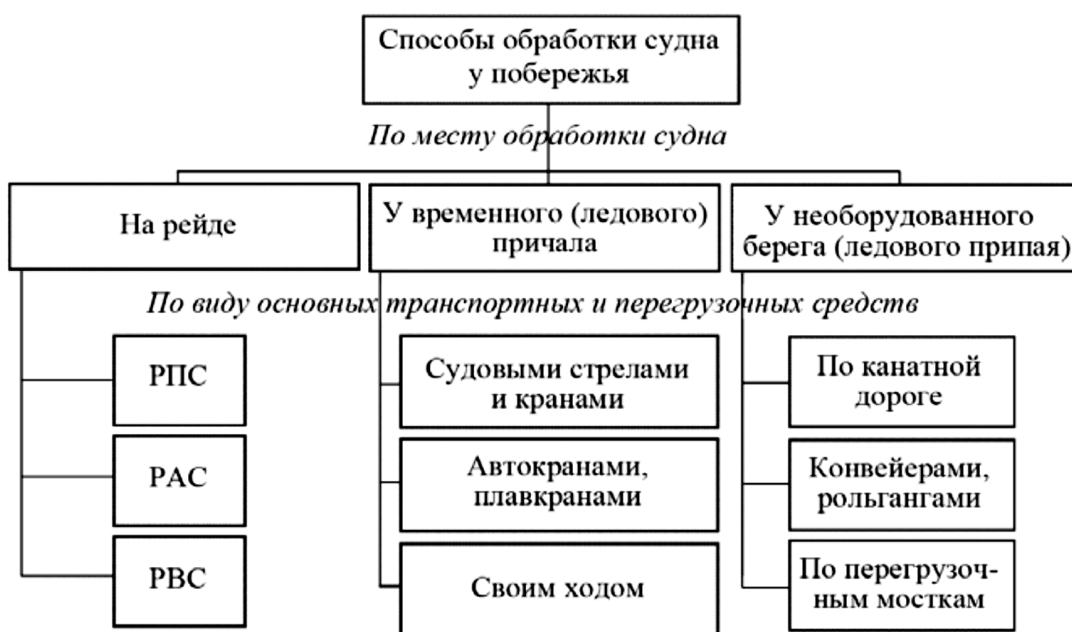


Рисунок 9 – Способы обработки судна у побережья

Возможность устройства временных причалов, в том числе и для рейдовых плавсредств затрудняется при значительных приливо-отливных колебаниях уровня моря в данном районе, что делает необходимым проведение обработки РПС у берега в режиме обсушки при отливе. Характер грунта определяет держащую силу якорей, а уклоны дна и берега – расстояние, на которое судно или плавучие средства могут подойти к берегу, а также возможность установки

плавучих причалов и использование амфибийных и других транспортных средств на берегу. Обработку судов усложняет также и ледовая обстановка. Подход судна к берегу, установка временных причалов и работа плавучих средств даже при малой балльности льда затруднены. У припая погрузка / разгрузка судна может производиться только при прочном ледовом покрове.

Определенное влияние на выбор способа обработки оказывает тип судна. Так, суда, которые оснащены грузовым вооружением, при наличии достаточных глубин могут обрабатываться у побережья любым из приведенных выше способов. Суда типа Ro-Ro и паромы целесообразно обрабатывать у временных причалов, а лихтеровозы (баржевозы) – только на рейде. Таким образом, выбор способа зависит от многих факторов, которые в итоге определяют состав используемого оборудования, технологию и организацию внепортовой обработки судов. Обработка судна на рейде предполагает его установку на перегрузочном рейде на якоря и последующую обработку. Для доставки грузов с судна на берег или обратно используются различные виды рейдовых транспортных средств (РТС): рейдовые плавучие, амфибийные и воздушные средства.

Рейдовые плавучие средства (РПС) – это самоходные и несамоходные транспортные средства водоизмещающего типа (например: лихтера, десантные катера, плашкоуты, баржи и др.), которые пригодны для перевозки грузов на рейде от судна к берегу или обратно (таблица 3).

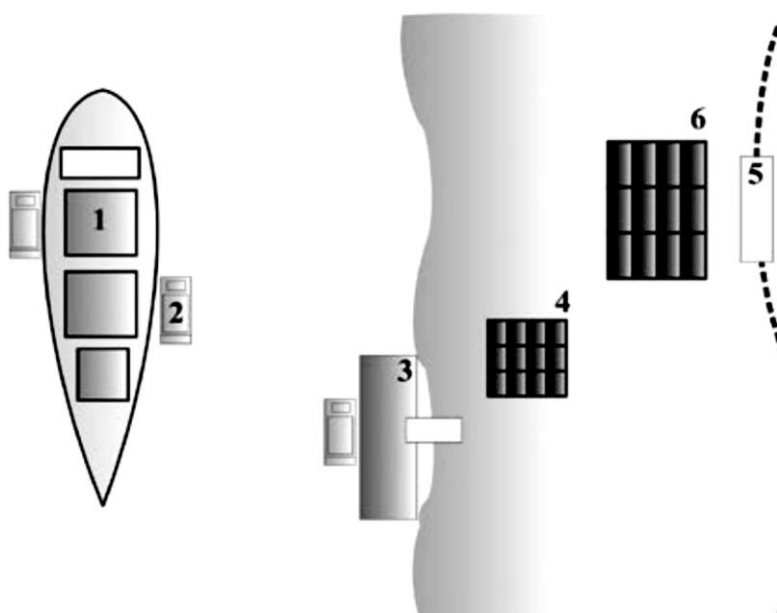
РПС должны иметь достаточную мореходность и небольшую осадку, которая должна обеспечивать возможность их подхода к берегу. Собственный вес большинства типов РПС позволяет их перевозку на крышках трюмов транспортных судов с последующим их спуском на воду и подъёмом судовыми тяжёловесными стрелами [24].

РПС используют для обработки судов только при волнении не более 3 – 4 баллов. При обработке на рейде судов, у которых имеются собственные судовые грузовые средства (универсальные, лесовозы, суда-снабженцы и др.), организуются два участка транспортировки (перевозки) грузов: водный и береговой и три перегрузочных звена: судовое, береговое и складское (рисунок 10) .



Таблица – 3 Основные типы РПС, которые используются для рейдовой обработки судов

| Тип РПС     | Чистая грузоподъемность, т | Габариты, м |        |              | Осадка порожнем / в грузу, м | Скорость, уз | Вес, т |
|-------------|----------------------------|-------------|--------|--------------|------------------------------|--------------|--------|
|             |                            | длина       | ширина | высота борта |                              |              |        |
| «Танкист»   | 50                         | 19,8        | 5,5    | 2,06         | 1,2 / 1,4                    | 9,7          | 40     |
| «Славянка»  | 40                         | 22,0        | 5,8    | 2,58         | 1,0 / 1,2                    | 7,8          | 38     |
| «Армеец»    | 12                         | 15,3        | 3,8    | 1,80         | 0,8 / 1,3                    | 8,0          | 17     |
| «Восток»    | 22                         | 16,0        | 5,1    | 2,10         | 0,7 / 0,9                    | 7,7          | 17     |
| Проект 1785 | 60                         | 19,7        | 4,9    | 2,40         | 1,2 / 1,4                    | 7,8          | 39     |
| Плашкоут    | 100                        | 24,8        | 6,5    | 2,20         | 0,6 / 1,4                    | –            | 40     |
| Понтон      | 50                         | 14,5        | 4,5    | 1,20         | 0,2 / 0,8                    | –            | 10     |



| Участок | водный  |           | береговой |  |
|---------|---------|-----------|-----------|--|
| Звено   | судовое | береговое | складское |  |

Рисунок 10 – Обработка сухогрузного судна на рейде: 1 – судно; 2 – рейдовые плавсредства; 3 – причал для РПС; 4 – буферный склад; 5 – железнодорожная станция; 6 – склад

Таким образом, средствами доставки грузов на необорудованный берег являются:

– плавсредство – это плавающее средство, которое предназначено для доставки груза от борта транспортного судна до места выгрузки на берегу (са-

моходный плашкоут, самоходная баржа, амфибийный буксировщик к платформе на воздушной подушке, катер-буксировщик с понтоном и т.п.) и имеет экипаж по его обслуживанию;

– перегрузочная техника – это технические средства, которые предназначены для перегрузки или транспортировки груза на берегу (трактор с санями или прицепом, кран, автопогрузчик, автомашина и прицеп к ней, трактор и другие тягачи), с рабочими по их обслуживанию.

Средствами технологической оснастки выступают стропы, грейферы, захваты, подвески крановые, переносные лестницы, инструменты, такелаж и приспособления для крепления грузов [36]. Необходимо отметить, что при производстве погрузочно-разгрузочных работ в рейдовых условиях капитаны плавсредств находятся в оперативном подчинении капитана транспортного судна. Одновременно капитаны плавсредств являются руководителями экипажа и несут ответственность за сохранность плавсредств, жизнь находящихся на нем людей и перевозимый груз.

## 2 Планирование круговых рейсов экспедиционных судов

### 2.1 Обоснование метода определения ротации судна

Как показывает многолетняя практика, расстановка судов по направлениям и составление графика выступают одними из самых важных и сложных вопросов организации движения флота [37]. Так, составление графика судна начинается с изучения грузопотока (его объема и характера), пунктов захода, а также условий эксплуатации судов на данном направлении. В данной работе мы рассмотрим условный график, разработанный на основе статистических данных, который задаст наиболее эффективный вариант движения флота, что в итоге может лечь в основу рациональной работы флота на данном направлении.

Итак, рассмотрим объемы перевозок ГСМ в пункты Баренцева и Белого морей в навигацию 2018 г. (таблица 4), а также характеристику данных пунктов завоза (Приложение А.4) [25;38].

Проанализировав данные таблицы, можно заметить, что все пункты завоза являются необорудованными, что хорошо заметно при просмотре снимков со спутника (Приложение Б, рисунок Б.1 – Б.6). Основное требование к судам – это наличие грузовых устройств для самовыгрузки, в некоторых пунктах возможно использование РПС. Кроме того, все эти пункты предназначены для приема малотоннажных судов, которые могут подойти к данным портопунктам ввиду низких глубин. Таким образом, данный анализ показал, что на бассейне имеется единственный пригодный (по критериям грузоподъемности и осадки) к выполнению рассматриваемых перевозок танкер – т/х «Котлас», дедвейтом 2853 т, грузоместимостью 3240 м<sup>3</sup>, ледовым классом УЛ 1, с осадкой 4,9 м, требуемая глубина от 6,5 м.

Но прежде чем приступить к практической части, определимся с тем, что такое «ротация». В морской отрасли существует несколько видов ротации судов: географическая, обратная, ломаная и ротация на усмотрение судовладельца. Географическая ротация – это чартерная оговорка, исход из которой порты в

которые идет для погрузки/выгрузки судно должны располагаться таким образом, чтобы они лежали по пути следования судна и ему не пришлось бы возвращаться в порт, мимо которого оно уже проходило. Ротация на усмотрение судовладельца – это также чартерная оговорка, по которой судовладелец может установить свою последовательность заходов в порты.

Таблица – 4 Объемы перевозок ГСМ в пункты Баренцева и Белого морей в навигацию 2018 г. (в интересах МО РФ)

| Пункт отправления           | Пункт назначения | Объем перевозок ГСМ, т |
|-----------------------------|------------------|------------------------|
| пп. Новой Земли             |                  |                        |
| Мурманск                    | Белушья          | 21 750                 |
|                             | Рогачево         | 8400                   |
|                             | Грибовая         | 110                    |
|                             | Маточкин Шар     | 1200                   |
|                             | Кармакулы        | 160                    |
|                             | Чиракино         | 80                     |
|                             | <b>Всего</b>     | <b>31 700</b>          |
| пп Баренцева и Белого морей |                  |                        |
| Мурманск                    | м. Черный        | 200                    |
|                             | Лумбовка         | 370                    |
|                             | Териберка        | 110                    |
|                             | Харлов           | 90                     |
|                             | м. Б. Олений     | 80                     |
|                             | п. Д. Зеленцы    | 100                    |
|                             | м. Сеть Наволок  | 360                    |
|                             | м. Скоробеевский | 240                    |
|                             | м. Цып Наволок   | 310                    |
|                             | м. Земляной      | 280                    |
|                             | о. Кувшин        | 290                    |
|                             | м. Святой Нос    | 420                    |
|                             | о. Кильдин Зап.  | 130                    |
|                             | о. Кильдин Вост. | 150                    |
|                             | Гремиха          | 190                    |
|                             | <b>Всего</b>     | <b>3320</b>            |
| Архангельск                 | Нарьян-Мар       | 3460                   |
|                             | Н. Золотица      | 600                    |
|                             | Мезень           | 500                    |
|                             | Шойна            | 430                    |
|                             | Нижняя Пеша      | 290                    |
|                             | <b>Всего</b>     | <b>5280</b>            |
| <b>Итого</b>                |                  | <b>40 300</b>          |

Наиболее удобным методом определения ротации является «задача Коммивояжера», известная с XIX в. и имеющая множество способов решения. Оптимизационная версия данной задачи является NP-трудной, в связи с чем получить оптимальное решение возможно либо полным перебором, либо оптимизированным полным перебором. То есть методом ветвей и границ. Сформулируем задачу Коммивояжера для данного проекта: «Судно должно выйти из первого порта, посетить по одному разу в неизвестном порядке порты 2, 3, ... n и вернуться обратно в первый порт. Расстояния между портами известны. Расстояние из порта j в порт i считаются неотрицательным числом:  $D_{ji} \geq 0$ . В каком порядке следует обойти порты, чтобы круговой рейс судна был кратчайшим?».

То есть в данной задаче для того чтобы сформировать оптимальный график судна по заходу в n портов необходимо выбрать один лучший вариант из  $(n - 1)!$  по критерию длины маршрута. Таким образом, задача коммивояжера связана с определением гамильтонова цикла минимальной длины, где множество всех возможных решений лучше всего представлять в виде дерева – связанного графа, в котором не содержится ни циклов, ни петель, а корень дерева объединяет все множества вариантов, при этом вершины дерева – это подмножества частично упорядоченных вариантов решений [39].

Данная задача является целочисленной и решается с помощью двух методов: методом ветвей и границ (алгоритм Литтла или исключения подциклов) и венгерским методом.

## 2.2 Определение исходных данных

Часть пунктов представленных в таблице 4 расположена на островах (пп. Новой Земли), куда осуществляет завоз из Мурманска. При этом данный сектор лидирует по объемам перевозок, в связи с чем его необходимо включить в ротацию (а именно такие пункты, как: Белушья и Рогачево).

Из пп. Баренцева и Белого моря в ротацию будут включены такие пункты как: м. Святой Нос, Нарьян-Мар, Н. Золотица, Мезень, Шойна, Нижняя Пеша.

Завоз будет осуществляться круговым рейсом из Архангельска, с пополнением запасов и дозагрузкой в Мурманске.

В таблице 5 представлены исходные данные, построенные в матрицу для расчетов. На рисунке 11 представлен граф исходных данных.

Таблица – 5 Фрагмент исходной матрицы, сформированной по исходным данным

| № п/п | Пункт       | 1           | 2          | 3           | 4      |
|-------|-------------|-------------|------------|-------------|--------|
|       |             | Архангельск | Нарьян-Мар | Н. Золотица | Мезень |
| 1     | Архангельск | 0           | 678        | 86          | 230    |
| 2     | Нарьян-Мар  | 678         | 0          | 589         | 575    |
| 3     | Н. Золотица | 86          | 589        | 0           | 150    |
| 4     | Мезень      | 230         | 575        | 150         | 0      |

Продолжение таблицы в приложении А – таблица А.5

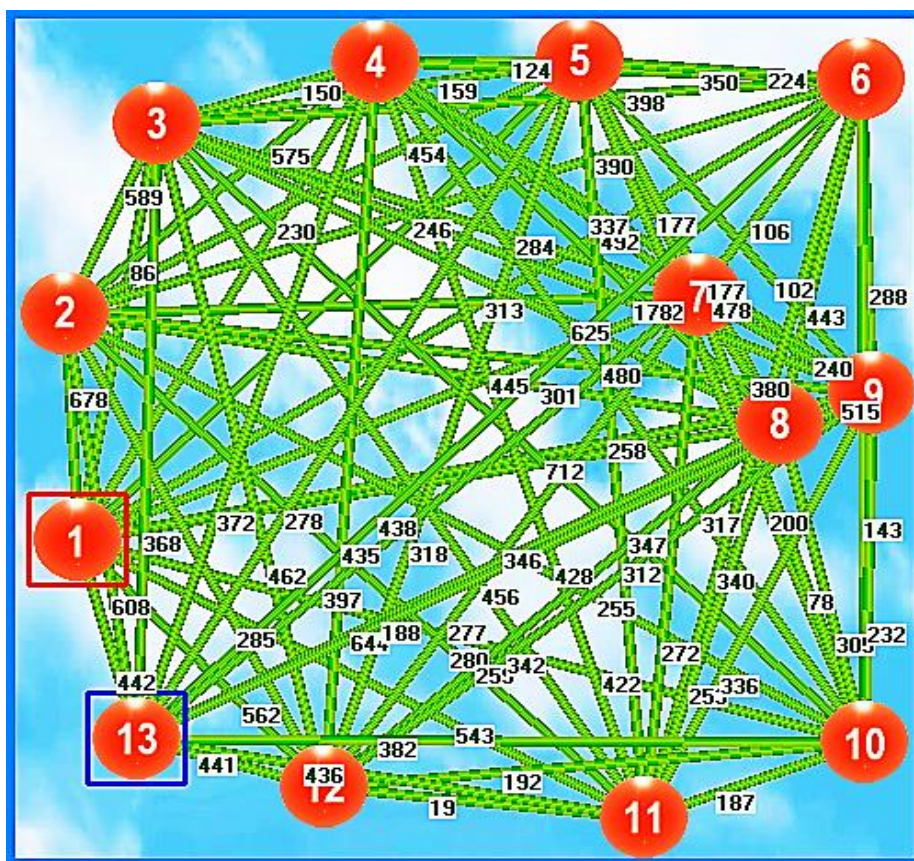


Рисунок 11 – Сетевая модель, построенная на основе исходных данных

Итак, в качестве произвольного маршрута возьмем маршрут  $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 5 \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow 8 \rightarrow 9 \rightarrow 10 \rightarrow 11 \rightarrow 12 \rightarrow 13$  (Архангельск  $\rightarrow$  Нарьян-Мар  $\rightarrow$  Н. Золотица  $\rightarrow$  Мезень  $\rightarrow$  Шойна  $\rightarrow$  Нижняя Пеша  $\rightarrow$  Индига  $\rightarrow$  Амдерма  $\rightarrow$  м. Святой Нос  $\rightarrow$  Грибовая  $\rightarrow$  Белушья  $\rightarrow$  Рогачево  $\rightarrow$  Мурманск  $\rightarrow$  Архангельск), то есть (рисунок 12):

$$X_0 = (1,2); (2,3); (3,4); (4,5); (5,6); (6,7); (7,8); (8,9); (9,10); (10,11); (11,12); (12,13)$$

$$\begin{aligned} \text{Тогда: } F(X_0) = & 678 + 589 + 150 + 124 + 224 + 106 + 380 + 515 + \\ & + 232 + 187 + 19 + 441 + 442 = 4087 \text{ (мор. мили)} \end{aligned}$$

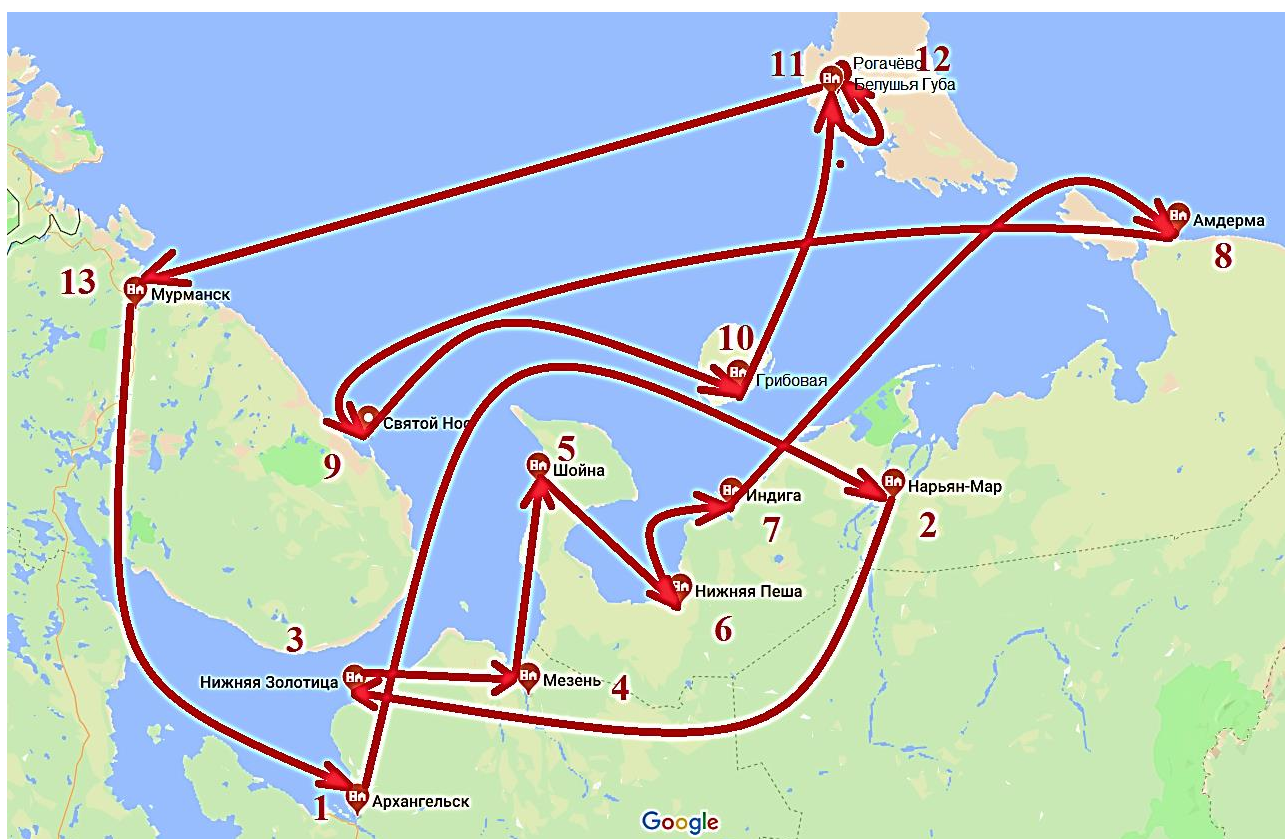


Рисунок 12 – Схема размещения. Произвольный первоначальный маршрут

Теперь проведем расчет ротации судна и сравним полученный маршрут с выбранным нами произвольным.

## 2.3 Расчет ротации судна

Расчет ротации судна, то есть определения последовательности захода в порты и портопункты, начинается с внесения исходных данных и построения на их основе графа и матрицы. Как только матрица расстояний по исходным данным сформирована (таблица 5), используя алгоритм Литтла или исключения подцикла, решаем матрицу.

Первым делом в исходной матрице по каждой строке ищем минимальный элемент ( $d_{\min}$ ):  $d_i = \min(j) d_{ij}$ , который в последствии вписываем в отдельный столбец ( $d_i$ ) (таблица 6). Затем выполняем редукцию по строкам путем вычитания из каждого элемента строки минимальный элемент ( $d_i$ ), который ей соответствует (таблица 7). Нижняя граница при этом будет равна:  $H = \sum d_{\min}$  [40].

Таблица – 6 Приведение матрицы по строкам

| $ij$ | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 13  | $d_i$ |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| 1    | М   | 678 | 86  | 230 | 246 | 492 | 445 | 712 | 258 | 422 | 543 | 280 | 456 | 86    |
| 2    | 678 | М   | 589 | 575 | 454 | 390 | 313 | 301 | 480 | 255 | 280 | 285 | 608 | 255   |
| 3    | 86  | 589 | М   | 150 | 159 | 398 | 284 | 625 | 178 | 347 | 456 | 462 | 368 | 86    |
| 4    | 230 | 575 | 150 | М   | 124 | 350 | 337 | 612 | 177 | 317 | 428 | 435 | 372 | 124   |
| 5    | 246 | 454 | 159 | 124 | М   | 224 | 177 | 478 | 102 | 200 | 312 | 318 | 278 | 102   |
| 6    | 492 | 390 | 398 | 350 | 224 | М   | 106 | 443 | 288 | 143 | 340 | 346 | 438 | 106   |
| 7    | 445 | 313 | 284 | 337 | 177 | 106 | М   | 380 | 240 | 78  | 272 | 277 | 397 | 78    |
| 8    | 712 | 301 | 625 | 612 | 478 | 443 | 380 | М   | 515 | 305 | 253 | 259 | 644 | 253   |
| 9    | 258 | 480 | 178 | 177 | 102 | 288 | 240 | 515 | М   | 232 | 336 | 342 | 188 | 102   |
| 10   | 422 | 255 | 347 | 317 | 200 | 143 | 78  | 305 | 232 | М   | 187 | 192 | 382 | 78    |
| 11   | 543 | 280 | 456 | 428 | 312 | 340 | 272 | 253 | 336 | 187 | М   | 19  | 436 | 19    |
| 12   | 562 | 285 | 462 | 435 | 318 | 346 | 277 | 259 | 342 | 192 | 19  | М   | 441 | 19    |
| 13   | 442 | 608 | 368 | 372 | 278 | 438 | 397 | 644 | 188 | 382 | 436 | 441 | М   | 188   |

Таблица – 7 Редукция матрицы по строкам

| $ij$ | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 13  |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1    | М   | 592 | 0   | 144 | 160 | 406 | 359 | 626 | 172 | 336 | 457 | 194 | 370 |
| 2    | 423 | М   | 334 | 320 | 199 | 135 | 58  | 46  | 225 | 0   | 25  | 30  | 353 |
| 3    | 0   | 503 | М   | 64  | 73  | 312 | 198 | 539 | 92  | 261 | 370 | 376 | 282 |
| 4    | 106 | 451 | 26  | М   | 0   | 226 | 213 | 488 | 53  | 193 | 304 | 311 | 248 |
| 5    | 144 | 352 | 57  | 22  | М   | 122 | 75  | 376 | 0   | 98  | 210 | 216 | 176 |
| 6    | 386 | 284 | 292 | 244 | 118 | М   | 0   | 337 | 182 | 37  | 234 | 240 | 332 |
| 7    | 367 | 235 | 206 | 259 | 99  | 28  | М   | 302 | 162 | 0   | 194 | 199 | 319 |
| 8    | 459 | 48  | 372 | 359 | 225 | 190 | 127 | М   | 262 | 52  | 0   | 6   | 391 |
| 9    | 156 | 378 | 76  | 75  | 0   | 186 | 138 | 413 | М   | 130 | 234 | 240 | 86  |
| 10   | 344 | 177 | 269 | 239 | 122 | 65  | 0   | 227 | 154 | М   | 109 | 114 | 304 |
| 11   | 524 | 261 | 437 | 409 | 293 | 321 | 253 | 234 | 317 | 168 | М   | 0   | 417 |
| 12   | 543 | 266 | 443 | 416 | 299 | 327 | 258 | 240 | 323 | 173 | 0   | М   | 422 |
| 13   | 254 | 420 | 180 | 184 | 90  | 250 | 209 | 456 | 0   | 194 | 248 | 253 | М   |



Аналогично проводим операцию редукции по столбцам:  $d_j = \min(i) d_{ij}$  (таблицы 8 и 9). Нижняя граница будет равна:  $H = H + \sum d_{min}$ . « $H$ » – это константа приведения, являющаяся нижней границей множества всех допустимых гамильтоновых контуров [40].

Таблица – 8 Редукция матрицы по столбцам

| $ij$  | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 13  |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1     | М   | 592 | 0   | 144 | 160 | 406 | 359 | 626 | 172 | 336 | 457 | 194 | 370 |
| 2     | 423 | М   | 334 | 320 | 199 | 135 | 58  | 46  | 225 | 0   | 25  | 30  | 353 |
| 3     | 0   | 503 | М   | 64  | 73  | 312 | 198 | 539 | 92  | 261 | 370 | 376 | 282 |
| 4     | 106 | 451 | 26  | М   | 0   | 226 | 213 | 488 | 53  | 193 | 304 | 311 | 248 |
| 5     | 144 | 352 | 57  | 22  | М   | 122 | 75  | 376 | 0   | 98  | 210 | 216 | 176 |
| 6     | 386 | 284 | 292 | 244 | 118 | М   | 0   | 337 | 182 | 37  | 234 | 240 | 332 |
| 7     | 367 | 235 | 206 | 259 | 99  | 28  | М   | 302 | 162 | 0   | 194 | 199 | 319 |
| 8     | 459 | 48  | 372 | 359 | 225 | 190 | 127 | М   | 262 | 52  | 0   | 6   | 391 |
| 9     | 156 | 378 | 76  | 75  | 0   | 186 | 138 | 413 | М   | 130 | 234 | 240 | 86  |
| 10    | 344 | 177 | 269 | 239 | 122 | 65  | 0   | 227 | 154 | М   | 109 | 114 | 304 |
| 11    | 524 | 261 | 437 | 409 | 293 | 321 | 253 | 234 | 317 | 168 | М   | 0   | 417 |
| 12    | 543 | 266 | 443 | 416 | 299 | 327 | 258 | 240 | 323 | 173 | 0   | М   | 422 |
| 13    | 254 | 420 | 180 | 184 | 90  | 250 | 209 | 456 | 0   | 194 | 248 | 253 | М   |
| $d_j$ | 0   | 48  | 0   | 22  | 0   | 28  | 0   | 46  | 0   | 0   | 0   | 0   | 86  |

Таблица – 9 Полностью редуцированная матрица с константами приведения  $d_i$  и  $d_j$ .

| $ij$ | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 13  |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1    | М   | 544 | 0   | 122 | 160 | 378 | 359 | 580 | 172 | 336 | 457 | 194 | 284 |
| 2    | 423 | М   | 334 | 298 | 199 | 107 | 58  | 0   | 225 | 0   | 25  | 30  | 267 |
| 3    | 0   | 455 | М   | 42  | 73  | 284 | 198 | 493 | 92  | 261 | 370 | 376 | 196 |
| 4    | 106 | 403 | 26  | М   | 0   | 198 | 213 | 442 | 53  | 193 | 304 | 311 | 162 |
| 5    | 144 | 304 | 57  | 0   | М   | 94  | 75  | 330 | 0   | 98  | 210 | 216 | 90  |
| 6    | 386 | 236 | 292 | 222 | 118 | М   | 0   | 291 | 182 | 37  | 234 | 240 | 246 |
| 7    | 367 | 187 | 206 | 237 | 99  | 0   | М   | 256 | 162 | 0   | 194 | 199 | 233 |
| 8    | 459 | 0   | 372 | 337 | 225 | 162 | 127 | М   | 262 | 52  | 0   | 6   | 305 |
| 9    | 156 | 330 | 76  | 53  | 0   | 158 | 138 | 367 | М   | 130 | 234 | 240 | 0   |
| 10   | 344 | 129 | 269 | 217 | 122 | 37  | 0   | 181 | 154 | М   | 109 | 114 | 218 |
| 11   | 524 | 213 | 437 | 387 | 293 | 293 | 253 | 188 | 317 | 168 | М   | 0   | 331 |
| 12   | 543 | 218 | 443 | 394 | 299 | 299 | 258 | 194 | 323 | 173 | 0   | М   | 336 |
| 13   | 254 | 372 | 180 | 162 | 90  | 222 | 209 | 410 | 0   | 194 | 248 | 253 | М   |

Сумма констант приведения в матрице определяет нижнюю границу  $H$ :

$$H = \sum d_i + \sum d_j = 86 + 255 + 86 + 124 + 102 + 106 + 78 + 253 + 102 + 78 + 19 + 19 + 188 + 0 + 48 + 0 + 22 + 0 + 28 + 0 + 46 + 0 + 0 + 0 + 0 + 86 = 1726$$

Элементы матрицы  $d_{ij}$  соответствуют расстоянию от порта  $i$  до порта  $j$ . Так как в матрице  $n$  портов, то матрица  $D$  является матрицей  $n \times n$  с неотрицательными элементами  $d_{ij} \geq 0$ . Каждый возможный маршрут является циклом, согласно которому судно заходит в порт только один раз и возвращается в исходный порт.

Длину маршрута можно определить выражением (1), в котором каждая строка и столбец с элементом  $d_{ij}$  входят в маршрут только по одному разу:

$$F(Mk) = \sum d_{ij} \quad (1)$$

В полученной после таких преобразований матрице выделяем нулевые клетки и находим для них оценки (степени). Вычисление оценок для нулевых клеток проводится следующим образом: в строке нулевой клетки ищется минимальное число, сама нулевая клетка не учитывается (ее временно заменяем на знак « $\infty$ » или “М”), аналогично ищется минимум и в столбце нулевой клетки, полученные цифры по строке и столбцу суммируются – это оценка. Оценка записывается в скобках рядом с нулем в нулевой клетке. Аналогично вычисляются оценки для всех остальных нулевых клеток [40] (таблица 10):

$$d(1,3) = 122 + 26 = 148;$$

$$d(7,10) = 0 + 0 = 0;$$

$$d(2,8) = 0 + 181 = 181;$$

$$d(8,2) = 0 + 129 = 129;$$

$$d(2,10) = 0 + 0 = 0;$$

$$d(8,11) = 0 + 0 = 0;$$

$$d(3,1) = 42 + 106 = 148;$$

$$d(9,5) = 0 + 0 = 0;$$

$$d(4,5) = 26 + 0 = 26;$$

$$d(9,13) = 0 + 90 = 90;$$

$$d(5,4) = 0 + 42 = 42;$$

$$d(10,7) = 37 + 0 = 37;$$

$$d(5,9) = 0 + 0 = 0;$$

$$d(11,12) = 168 + 6 = 174;$$

$$d(6,7) = 37 + 0 = 37;$$

$$d(12,11) = 173 + 0 = 173;$$

$$d(7,6) = 0 + 37 = 37;$$

$$d(13,9) = 90 + 0 = 90.$$

Среди полученных оценок нулевых клеток находим дугу  $(i,j)$ , в которой нулевая клетка имеет максимальную оценку.

После чего множество всех гамильтоновых контуров разбиваем на два подмножества, в которых содержится дуга  $(i,j)$  и не содержится дуга  $(i^*,j^*)$ . Чтобы получить матрицу контуров, где включена дуга  $(i,j)$ , выполняем редукцию матрицы, то есть вычеркиваем строку  $i$  и столбец  $j$ . При этом во избежание образования негамильтонова контура симметричный элемент  $(i, j)$  заменяем на знак «∞» или “М”. Таким образом, исключение дуги достигается заменой этих элементов в матрице на знак «∞».

Наибольшая сумма констант приведения равна  $(0 + 181) = 181$  для ребра  $(2,8)$ , значит, множество разбивается на два подмножества  $(2,8)$  и  $(2^*,8^*)$ .

Снова выполняется редукция по строкам и столбцам и поиск констант приведения  $H(i, j)$  и  $H(i^*, j^*)$  с целью приведения матрицы гамильтоновых контуров. Найдя константы, сравниваем нижние границы каждого из подмножеств гамильтонова контура  $H(i, j)$  и  $H(i^*, j^*)$ . В случае, когда  $H(i, j) < H(i^*, j^*)$ , то множество  $(i, j)$  подлежит дальнейшему ветвлению, в противном случае множество  $(i^*, j^*)$  подлежит разбиению [40].

Таблица – 10 Определение ребра ветвления

| $ij$  | 1      | 2      | 3      | 4     | 5     | 6     | 7     | 8      | 9     | 10   | 11     | 12     | 13    | $d_i$ |
|-------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|------|--------|--------|-------|-------|
| 1     | М      | 544    | 0(148) | 122   | 160   | 378   | 359   | 580    | 172   | 336  | 457    | 194    | 284   | 122   |
| 2     | 423    | М      | 334    | 298   | 199   | 107   | 58    | 0(181) | 225   | 0(0) | 25     | 30     | 267   | 0     |
| 3     | 0(148) | 455    | М      | 42    | 73    | 284   | 198   | 493    | 92    | 261  | 370    | 376    | 196   | 42    |
| 4     | 106    | 403    | 26     | М     | 0(26) | 198   | 213   | 442    | 53    | 193  | 304    | 311    | 162   | 26    |
| 5     | 144    | 304    | 57     | 0(42) | М     | 94    | 75    | 330    | 0(0)  | 98   | 210    | 216    | 90    | 0     |
| 6     | 386    | 236    | 292    | 222   | 118   | М     | 0(37) | 291    | 182   | 37   | 234    | 240    | 246   | 37    |
| 7     | 367    | 187    | 206    | 237   | 99    | 0(37) | М     | 256    | 162   | 0(0) | 194    | 199    | 233   | 0     |
| 8     | 459    | 0(129) | 372    | 337   | 225   | 162   | 127   | М      | 262   | 52   | 0(0)   | 6      | 305   | 0     |
| 9     | 156    | 330    | 76     | 53    | 0(0)  | 158   | 138   | 367    | М     | 130  | 234    | 240    | 0(90) | 0     |
| 10    | 344    | 129    | 269    | 217   | 122   | 37    | 0(37) | 181    | 154   | М    | 109    | 114    | 218   | 37    |
| 11    | 524    | 213    | 437    | 387   | 293   | 293   | 253   | 188    | 317   | 168  | М      | 0(174) | 331   | 168   |
| 12    | 543    | 218    | 443    | 394   | 299   | 299   | 258   | 194    | 323   | 173  | 0(173) | М      | 336   | 173   |
| 13    | 254    | 372    | 180    | 162   | 90    | 222   | 209   | 410    | 0(90) | 194  | 248    | 253    | М     | 90    |
| $d_i$ | 106    | 129    | 26     | 42    | 0     | 37    | 0     | 181    | 0     | 0    | 0      | 6      | 90    | 0     |

В данном случае, исключаем ребро  $(2,8)$  путем замены элемента  $d_{28} = 0$  на М, после чего снова проводим приведение матрицы расстояний для образовав-

шегося подмножества  $(2^*, 8^*)$ , в результате получим редуцированную матрицу (таблица).

Таблица – 11 Редуцированная матрица для подмножества  $(2^*, 8^*)$

| $ij$  | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 13  | $d_i$ |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| 1     | M   | 544 | 0   | 122 | 160 | 378 | 359 | 580 | 172 | 336 | 457 | 194 | 284 | 0     |
| 2     | 423 | M   | 334 | 298 | 199 | 107 | 58  | M   | 225 | 0   | 25  | 30  | 267 | 0     |
| 3     | 0   | 455 | M   | 42  | 73  | 284 | 198 | 493 | 92  | 261 | 370 | 376 | 196 | 0     |
| 4     | 106 | 403 | 26  | M   | 0   | 198 | 213 | 442 | 53  | 193 | 304 | 311 | 162 | 0     |
| 5     | 144 | 304 | 57  | 0   | M   | 94  | 75  | 330 | 0   | 98  | 210 | 216 | 90  | 0     |
| 6     | 386 | 236 | 292 | 222 | 118 | M   | 0   | 291 | 182 | 37  | 234 | 240 | 246 | 0     |
| 7     | 367 | 187 | 206 | 237 | 99  | 0   | M   | 256 | 162 | 0   | 194 | 199 | 233 | 0     |
| 8     | 459 | 0   | 372 | 337 | 225 | 162 | 127 | M   | 262 | 52  | 0   | 6   | 305 | 0     |
| 9     | 156 | 330 | 76  | 53  | 0   | 158 | 138 | 367 | M   | 130 | 234 | 240 | 0   | 0     |
| 10    | 344 | 129 | 269 | 217 | 122 | 37  | 0   | 181 | 154 | M   | 109 | 114 | 218 | 0     |
| 11    | 524 | 213 | 437 | 387 | 293 | 293 | 253 | 188 | 317 | 168 | M   | 0   | 331 | 0     |
| 12    | 543 | 218 | 443 | 394 | 299 | 299 | 258 | 194 | 323 | 173 | 0   | M   | 336 | 0     |
| 13    | 254 | 372 | 180 | 162 | 90  | 222 | 209 | 410 | 0   | 194 | 248 | 253 | M   | 0     |
| $d_j$ | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 181 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 181   |

Нижняя граница гамильтоновых циклов этого подмножества равна:  $H(2^*, 8^*) = 1726 + 181 = 1907$ . Далее включаем ребро  $(2, 8)$  путем исключения всех элементов 2-ой строки и 8-го столбца, где элемент  $d_{82}$  заменяем на  $M$ , для исключения образования не гамильтонова цикла. Таким образом, получаем сокращенную матрицу размером  $12 \times 12$ , над которой необходимо провести операцию приведения (таблица 12).

Таблица – 12 Сокращенная матрица после операции приведения

| $ij$  | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 9   | 10  | 11  | 12  | 13  | $d_i$ |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| 1     | M   | 544 | 0   | 122 | 160 | 378 | 359 | 172 | 336 | 457 | 194 | 284 | 0     |
| 3     | 0   | 455 | M   | 42  | 73  | 284 | 198 | 92  | 261 | 370 | 376 | 196 | 0     |
| 4     | 106 | 403 | 26  | M   | 0   | 198 | 213 | 53  | 193 | 304 | 311 | 162 | 0     |
| 5     | 144 | 304 | 57  | 0   | M   | 94  | 75  | 0   | 98  | 210 | 216 | 90  | 0     |
| 6     | 386 | 236 | 292 | 222 | 118 | M   | 0   | 182 | 37  | 234 | 240 | 246 | 0     |
| 7     | 367 | 187 | 206 | 237 | 99  | 0   | M   | 162 | 0   | 194 | 199 | 233 | 0     |
| 8     | 459 | M   | 372 | 337 | 225 | 162 | 127 | 262 | 52  | 0   | 6   | 305 | 0     |
| 9     | 156 | 330 | 76  | 53  | 0   | 158 | 138 | M   | 130 | 234 | 240 | 0   | 0     |
| 10    | 344 | 129 | 269 | 217 | 122 | 37  | 0   | 154 | M   | 109 | 114 | 218 | 0     |
| 11    | 524 | 213 | 437 | 387 | 293 | 293 | 253 | 317 | 168 | M   | 0   | 331 | 0     |
| 12    | 543 | 218 | 443 | 394 | 299 | 299 | 258 | 323 | 173 | 0   | M   | 336 | 0     |
| 13    | 254 | 372 | 180 | 162 | 90  | 222 | 209 | 0   | 194 | 248 | 253 | M   | 0     |
| $d_j$ | 0   | 129 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 129   |

Сумма констант приведения в матрице определяет нижнюю границу  $H$ , при этом, нижняя граница подмножества (2,8) равна:

$$H = \sum d_i + \sum d_j = 129,$$

$$H(2,8) = 1726 + 129 = 1855 \leq 1907$$

В связи с тем, что нижняя граница подмножества (2,8) меньше, чем подмножества (2\*,8\*), то ребро (2,8) включатся в маршрут с новой границей  $H = 1855$ . Далее проделываем описанные выше действия несколько раз до тех пор пока, в результате проделанной работы и получения множества ветвлений не образуется матрица размером  $2 \times 2$ , по которой определяем полученный ветвлением гамильтонов контур (то есть сам маршрут) и его длину. Если при сравнении этой длины с нижними границами оборванных ветвей длина контура не превышает их значения, то это и есть решение задачи. В противном случае решение продолжается путем развивания ветви подмножеств с нижней границей, которая меньше полученного контура до тех пор, пока не будет получен маршрут с наименьшей длиной.

Таким образом, переходим к следующему шагу, в котором снова определяем ребро ветвления, проводя оценку нулевых клеток (таблица 13):

|                            |                           |
|----------------------------|---------------------------|
| $d(1,3) = 122 + 26 = 148;$ | $d(8,11) = 6 + 0 = 6;$    |
| $d(3,1) = 42 + 106 = 148;$ | $d(9,5) = 0 + 0 = 0;$     |
| $d(4,5) = 26 + 0 = 26;$    | $d(9,13) = 0 + 90 = 90;$  |
| $d(5,4) = 0 + 42 = 42;$    | $d(10,2) = 0 + 58 = 58;$  |
| $d(5,9) = 0 + 0 = 0;$      | $d(10,7) = 0 + 0 = 0;$    |
| $d(6,7) = 37 + 0 = 37;$    | $d(11,12) = 84 + 6 = 90;$ |
| $d(7,6) = 0 + 37 = 37;$    | $d(12,11) = 89 + 0 = 89;$ |
| $d(7,10) = 0 + 37 = 37;$   | $d(13,9) = 90 + 0 = 90.$  |

Таблица – 13 Определение ребра ветвления

| $ij$  | 1      | 2     | 3      | 4     | 5     | 6     | 7     | 9     | 10    | 11    | 12    | 13    | $d_i$ |
|-------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1     | M      | 415   | 0(148) | 122   | 160   | 378   | 359   | 172   | 336   | 457   | 194   | 284   | 122   |
| 3     | 0(148) | 326   | M      | 42    | 73    | 284   | 198   | 92    | 261   | 370   | 376   | 196   | 42    |
| 4     | 106    | 274   | 26     | M     | 0(26) | 198   | 213   | 53    | 193   | 304   | 311   | 162   | 26    |
| 5     | 144    | 175   | 57     | 0(42) | M     | 94    | 75    | 0(0)  | 98    | 210   | 216   | 90    | 0     |
| 6     | 386    | 107   | 292    | 222   | 118   | M     | 0(37) | 182   | 37    | 234   | 240   | 246   | 37    |
| 7     | 367    | 58    | 206    | 237   | 99    | 0(37) | M     | 162   | 0(37) | 194   | 199   | 233   | 0     |
| 8     | 459    | M     | 372    | 337   | 225   | 162   | 127   | 262   | 52    | 0(6)  | 6     | 305   | 6     |
| 9     | 156    | 201   | 76     | 53    | 0(0)  | 158   | 138   | M     | 130   | 234   | 240   | 0(90) | 0     |
| 10    | 344    | 0(58) | 269    | 217   | 122   | 37    | 0(0)  | 154   | M     | 109   | 114   | 218   | 0     |
| 11    | 524    | 84    | 437    | 387   | 293   | 293   | 253   | 317   | 168   | M     | 0(90) | 331   | 84    |
| 12    | 543    | 89    | 443    | 394   | 299   | 299   | 258   | 323   | 173   | 0(89) | M     | 336   | 89    |
| 13    | 254    | 243   | 180    | 162   | 90    | 222   | 209   | 0(90) | 194   | 248   | 253   | M     | 90    |
| $d_i$ | 106    | 58    | 26     | 42    | 0     | 37    | 0     | 0     | 37    | 0     | 6     | 90    | 0     |

Наибольшая сумма констант приведения равна  $(122 + 26) = 148$  для ребра  $(1,3)$ , значит, множество разбивается на два подмножества  $(1,3)$  и  $(1^*,3^*)$ . В данном случае, исключаем ребро  $(1,3)$  путем замены элемента  $d_{13} = 0$  на  $M$ , после чего снова проводим приведение матрицы расстояний для образовавшегося подмножества  $(1^*,3^*)$ , в результате получим редуцированную матрицу (таблица 14).

Таблица – 14 Редуцированная матрица для подмножества  $(1^*,3^*)$

| $ij$  | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 9   | 10  | 11  | 12  | 13  | $d_i$ |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| 1     | M   | 415 | M   | 122 | 160 | 378 | 359 | 172 | 336 | 457 | 194 | 284 | 122   |
| 3     | 0   | 326 | M   | 42  | 73  | 284 | 198 | 92  | 261 | 370 | 376 | 196 | 0     |
| 4     | 106 | 274 | 26  | M   | 0   | 198 | 213 | 53  | 193 | 304 | 311 | 162 | 0     |
| 5     | 144 | 175 | 57  | 0   | M   | 94  | 75  | 0   | 98  | 210 | 216 | 90  | 0     |
| 6     | 386 | 107 | 292 | 222 | 118 | M   | 0   | 182 | 37  | 234 | 240 | 246 | 0     |
| 7     | 367 | 58  | 206 | 237 | 99  | 0   | M   | 162 | 0   | 194 | 199 | 233 | 0     |
| 8     | 459 | M   | 372 | 337 | 225 | 162 | 127 | 262 | 52  | 0   | 6   | 305 | 0     |
| 9     | 156 | 201 | 76  | 53  | 0   | 158 | 138 | M   | 130 | 234 | 240 | 0   | 0     |
| 10    | 344 | 0   | 269 | 217 | 122 | 37  | 0   | 154 | M   | 109 | 114 | 218 | 0     |
| 11    | 524 | 84  | 437 | 387 | 293 | 293 | 253 | 317 | 168 | M   | 0   | 331 | 0     |
| 12    | 543 | 89  | 443 | 394 | 299 | 299 | 258 | 323 | 173 | 0   | M   | 336 | 0     |
| 13    | 254 | 243 | 180 | 162 | 90  | 222 | 209 | 0   | 194 | 248 | 253 | M   | 0     |
| $d_i$ | 0   | 0   | 26  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 148   |

Нижняя граница гамильтоновых циклов этого подмножества равна:  $H(1^*,3^*) = 1855 + 148 = 2003$ . Далее включаем ребро  $(1,3)$  путем исключения всех элементов 1-ой строки и 3-го столбца, где элемент  $d_{31}$  заменяем на  $M$ , для

исключения образования не гамильтонова цикла. Таким образом, получаем сокращенную матрицу размером  $11 \times 11$ , над которой необходимо провести операцию приведения (таблица 15).

Таблица – 15 Сокращенная матрица после операции приведения

| $ij$  | 1   | 2   | 4   | 5   | 6   | 7   | 9   | 10  | 11  | 12  | 13  | $d_i$ |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| 3     | М   | 326 | 42  | 73  | 284 | 198 | 92  | 261 | 370 | 376 | 196 | 42    |
| 4     | 106 | 274 | М   | 0   | 198 | 213 | 53  | 193 | 304 | 311 | 162 | 0     |
| 5     | 144 | 175 | 0   | М   | 94  | 75  | 0   | 98  | 210 | 216 | 90  | 0     |
| 6     | 386 | 107 | 222 | 118 | М   | 0   | 182 | 37  | 234 | 240 | 246 | 0     |
| 7     | 367 | 58  | 237 | 99  | 0   | М   | 162 | 0   | 194 | 199 | 233 | 0     |
| 8     | 459 | М   | 337 | 225 | 162 | 127 | 262 | 52  | 0   | 6   | 305 | 0     |
| 9     | 156 | 201 | 53  | 0   | 158 | 138 | М   | 130 | 234 | 240 | 0   | 0     |
| 10    | 344 | 0   | 217 | 122 | 37  | 0   | 154 | М   | 109 | 114 | 218 | 0     |
| 11    | 524 | 84  | 387 | 293 | 293 | 253 | 317 | 168 | М   | 0   | 331 | 0     |
| 12    | 543 | 89  | 394 | 299 | 299 | 258 | 323 | 173 | 0   | М   | 336 | 0     |
| 13    | 254 | 243 | 162 | 90  | 222 | 209 | 0   | 194 | 248 | 253 | М   | 0     |
| $d_j$ | 106 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 148   |

Сумма констант приведения в сокращенной матрице определяет нижнюю границу  $H$ , при этом, нижняя граница подмножества (1,3) равна:

$$H = \sum d_i + \sum d_j = 148,$$

$$H(1,3) = 1855 + 148 = 2003 \leq 2003.$$

Так как  $2003 > 1907$ , то исключаем подмножество (1,3) для дальнейшего ветвления и возвращаемся к прежнему плану  $X_1$  (таблица 9), над которым выполняем операцию редукции по строкам и столбцам. В итоге получаем таблицу 16, по которой определяем очередное ребро ветвления путем расчета оценок нулевых клеток:

$$d(1,3) = 122 + 26 = 148;$$

$$d(8,2) = 0 + 129 = 129;$$

$$d(2,10) = 25 + 0 = 25;$$

$$d(8,11) = 0 + 0 = 0;$$

$$d(3,1) = 42 + 106 = 148;$$

$$d(9,5) = 0 + 0 = 0;$$

$$d(4,5) = 26 + 0 = 26;$$

$$d(9,13) = 0 + 90 = 90;$$

$$d(5,4) = 0 + 42 = 42;$$

$$d(5,9) = 0 + 0 = 0;$$

$$d(6,7) = 37 + 0 = 37;$$

$$d(7,6) = 0 + 37 = 37;$$

$$d(7,10) = 0 + 0 = 0;$$

$$d(10,7) = 0 + 0 = 0;$$

$$d(10,8) = 0 + 7 = 7;$$

$$d(11,12) = 7 + 6 = 13;$$

$$d(12,11) = 13 + 0 = 13;$$

$$d(13,9) = 90 + 0 = 90.$$

Таблица – 16 Определение ребра ветвления

| $ij$  | 1      | 2      | 3      | 4     | 5     | 6     | 7     | 8    | 9     | 10    | 11    | 12    | 13    | $d_i$ |
|-------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1     | M      | 544    | 0(148) | 122   | 160   | 378   | 359   | 399  | 172   | 336   | 457   | 194   | 284   | 122   |
| 2     | 423    | M      | 334    | 298   | 199   | 107   | 58    | M    | 225   | 0(25) | 25    | 30    | 267   | 25    |
| 3     | 0(148) | 455    | M      | 42    | 73    | 284   | 198   | 312  | 92    | 261   | 370   | 376   | 196   | 42    |
| 4     | 106    | 403    | 26     | M     | 0(26) | 198   | 213   | 261  | 53    | 193   | 304   | 311   | 162   | 26    |
| 5     | 144    | 304    | 57     | 0(42) | M     | 94    | 75    | 149  | 0(0)  | 98    | 210   | 216   | 90    | 0     |
| 6     | 386    | 236    | 292    | 222   | 118   | M     | 0(37) | 110  | 182   | 37    | 234   | 240   | 246   | 37    |
| 7     | 367    | 187    | 206    | 237   | 99    | 0(37) | M     | 75   | 162   | 0(0)  | 194   | 199   | 233   | 0     |
| 8     | 459    | 0(129) | 372    | 337   | 225   | 162   | 127   | M    | 262   | 52    | 0(0)  | 6     | 305   | 0     |
| 9     | 156    | 330    | 76     | 53    | 0(0)  | 158   | 138   | 186  | M     | 130   | 234   | 240   | 0(90) | 0     |
| 10    | 344    | 129    | 269    | 217   | 122   | 37    | 0(0)  | 0(7) | 154   | M     | 109   | 114   | 218   | 0     |
| 11    | 524    | 213    | 437    | 387   | 293   | 293   | 253   | 7    | 317   | 168   | M     | 0(13) | 331   | 7     |
| 12    | 543    | 218    | 443    | 394   | 299   | 299   | 258   | 13   | 323   | 173   | 0(13) | M     | 336   | 13    |
| 13    | 254    | 372    | 180    | 162   | 90    | 222   | 209   | 229  | 0(90) | 194   | 248   | 253   | M     | 90    |
| $d_j$ | 106    | 129    | 26     | 42    | 0     | 37    | 0     | 7    | 0     | 0     | 0     | 6     | 90    | 0     |

Наибольшая сумма констант приведения равна  $(122 + 26) = 148$  для ребра  $(1,3)$ , значит, множество разбивается на два подмножества  $(1,3)$  и  $(1^*,3^*)$ . В данном случае, исключаем ребро  $(1,3)$  путем замены элемента  $d_{13} = 0$  на  $M$ , после чего снова проводим приведение матрицы расстояний для образовавшегося подмножества  $(1^*,3^*)$ , в результате получим редуцированную матрицу (таблица 17).

Нижняя граница гамильтоновых циклов этого подмножества равна:  $H(1^*,3^*) = 1907 + 148 = 2055$ . Далее включаем ребро  $(1,3)$  путем исключения всех элементов 1-ой строки и 3-го столбца, где элемент  $d_{31}$  заменяем на  $M$ , для исключения образования не гамильтонова цикла. Таким образом, получаем сокращенную матрицу размером  $12 \times 12$ , над которой необходимо провести операцию приведения (таблица 18).



Таблица – 17 Редуцированная матрица для подмножества (1\*,3\*)

| $ij$  | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 13  | $d_i$ |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| 1     | M   | 544 | M   | 122 | 160 | 378 | 359 | 399 | 172 | 336 | 457 | 194 | 284 | 122   |
| 2     | 423 | M   | 334 | 298 | 199 | 107 | 58  | M   | 225 | 0   | 25  | 30  | 267 | 0     |
| 3     | 0   | 455 | M   | 42  | 73  | 284 | 198 | 312 | 92  | 261 | 370 | 376 | 196 | 0     |
| 4     | 106 | 403 | 26  | M   | 0   | 198 | 213 | 261 | 53  | 193 | 304 | 311 | 162 | 0     |
| 5     | 144 | 304 | 57  | 0   | M   | 94  | 75  | 149 | 0   | 98  | 210 | 216 | 90  | 0     |
| 6     | 386 | 236 | 292 | 222 | 118 | M   | 0   | 110 | 182 | 37  | 234 | 240 | 246 | 0     |
| 7     | 367 | 187 | 206 | 237 | 99  | 0   | M   | 75  | 162 | 0   | 194 | 199 | 233 | 0     |
| 8     | 459 | 0   | 372 | 337 | 225 | 162 | 127 | M   | 262 | 52  | 0   | 6   | 305 | 0     |
| 9     | 156 | 330 | 76  | 53  | 0   | 158 | 138 | 186 | M   | 130 | 234 | 240 | 0   | 0     |
| 10    | 344 | 129 | 269 | 217 | 122 | 37  | 0   | 0   | 154 | M   | 109 | 114 | 218 | 0     |
| 11    | 524 | 213 | 437 | 387 | 293 | 293 | 253 | 7   | 317 | 168 | M   | 0   | 331 | 0     |
| 12    | 543 | 218 | 443 | 394 | 299 | 299 | 258 | 13  | 323 | 173 | 0   | M   | 336 | 0     |
| 13    | 254 | 372 | 180 | 162 | 90  | 222 | 209 | 229 | 0   | 194 | 248 | 253 | M   | 0     |
| $d_j$ | 0   | 0   | 26  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 148   |

Таблица – 18 Сокращенная матрица после операции приведения

| $ij$  | 1   | 2   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 13  | $d_i$ |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| 2     | 423 | M   | 298 | 199 | 107 | 58  | M   | 225 | 0   | 25  | 30  | 267 | 0     |
| 3     | M   | 455 | 42  | 73  | 284 | 198 | 312 | 92  | 261 | 370 | 376 | 196 | 42    |
| 4     | 106 | 403 | M   | 0   | 198 | 213 | 261 | 53  | 193 | 304 | 311 | 162 | 0     |
| 5     | 144 | 304 | 0   | M   | 94  | 75  | 149 | 0   | 98  | 210 | 216 | 90  | 0     |
| 6     | 386 | 236 | 222 | 118 | M   | 0   | 110 | 182 | 37  | 234 | 240 | 246 | 0     |
| 7     | 367 | 187 | 237 | 99  | 0   | M   | 75  | 162 | 0   | 194 | 199 | 233 | 0     |
| 8     | 459 | 0   | 337 | 225 | 162 | 127 | M   | 262 | 52  | 0   | 6   | 305 | 0     |
| 9     | 156 | 330 | 53  | 0   | 158 | 138 | 186 | M   | 130 | 234 | 240 | 0   | 0     |
| 10    | 344 | 129 | 217 | 122 | 37  | 0   | 0   | 154 | M   | 109 | 114 | 218 | 0     |
| 11    | 524 | 213 | 387 | 293 | 293 | 253 | 7   | 317 | 168 | M   | 0   | 331 | 0     |
| 12    | 543 | 218 | 394 | 299 | 299 | 258 | 13  | 323 | 173 | 0   | M   | 336 | 0     |
| 13    | 254 | 372 | 162 | 90  | 222 | 209 | 229 | 0   | 194 | 248 | 253 | M   | 0     |
| $d_j$ | 106 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 148   |

Сумма констант приведения в сокращенной матрице определяет нижнюю границу  $H$ , при этом, нижняя граница подмножества (1,3) равна:

$$H = \sum d_i + \sum d_j = 148,$$

$$H(1,3) = 1907 + 148 = 2055 \leq 2055.$$

Так как нижние границы подмножества (1,3) и подмножества (1\*,3\*) равны, то в маршрут включаем ребро (1,3) с новой границей  $H = 2055$ .

Следующим шагом снова определяем ребро ветвления путем нахождения оценок для нулевых клеток (таблица 19):

$$\begin{aligned}
 d(2,10) &= 25 + 0 = 25; & d(8,2) &= 0 + 129 = 129; \\
 d(3,4) &= 31 + 0 = 31; & d(8,11) &= 0 + 0 = 0; \\
 d(4,1) &= 0 + 38 = 38; & d(9,5) &= 0 + 0 = 0; \\
 d(4,5) &= 0 + 0 = 0; & d(9,13) &= 0 + 90 = 90; \\
 d(5,4) &= 0 + 0 = 0; & d(10,7) &= 0 + 0 = 0; \\
 d(5,9) &= 0 + 0 = 0; & d(10,8) &= 0 + 7 = 7; \\
 d(6,7) &= 37 + 0 = 37; & d(11,12) &= 7 + 6 = 13; \\
 d(7,6) &= 0 + 37 = 37; & d(12,11) &= 13 + 0 = 13; \\
 d(7,10) &= 0 + 0 = 0; & d(13,9) &= 90 + 0 = 90.
 \end{aligned}$$

Таблица – 19 Определение ребра ветвления

| $i, j$ | 1     | 2      | 4     | 5    | 6     | 7     | 8    | 9     | 10    | 11    | 12    | 13    | $d_i$ |
|--------|-------|--------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 2      | 317   | M      | 298   | 199  | 107   | 58    | M    | 225   | 0(25) | 25    | 30    | 267   | 25    |
| 3      | M     | 413    | 0(31) | 31   | 242   | 156   | 270  | 50    | 219   | 328   | 334   | 154   | 31    |
| 4      | 0(38) | 403    | M     | 0(0) | 198   | 213   | 261  | 53    | 193   | 304   | 311   | 162   | 0     |
| 5      | 38    | 304    | 0(0)  | M    | 94    | 75    | 149  | 0(0)  | 98    | 210   | 216   | 90    | 0     |
| 6      | 280   | 236    | 222   | 118  | M     | 0(37) | 110  | 182   | 37    | 234   | 240   | 246   | 37    |
| 7      | 261   | 187    | 237   | 99   | 0(37) | M     | 75   | 162   | 0(0)  | 194   | 199   | 233   | 0     |
| 8      | 353   | 0(129) | 337   | 225  | 162   | 127   | M    | 262   | 52    | 0(0)  | 6     | 305   | 0     |
| 9      | 50    | 330    | 53    | 0(0) | 158   | 138   | 186  | M     | 130   | 234   | 240   | 0(90) | 0     |
| 10     | 238   | 129    | 217   | 122  | 37    | 0(0)  | 0(7) | 154   | M     | 109   | 114   | 218   | 0     |
| 11     | 418   | 213    | 387   | 293  | 293   | 253   | 7    | 317   | 168   | M     | 0(13) | 331   | 7     |
| 12     | 437   | 218    | 394   | 299  | 299   | 258   | 13   | 323   | 173   | 0(13) | M     | 336   | 13    |
| 13     | 148   | 372    | 162   | 90   | 222   | 209   | 229  | 0(90) | 194   | 248   | 253   | M     | 90    |
| $d_j$  | 38    | 129    | 0     | 0    | 37    | 0     | 7    | 0     | 0     | 0     | 6     | 90    | 0     |

Наибольшая сумма констант приведения равна  $(0 + 129) = 129$  для ребра  $(8,2)$ , значит, множество разбивается на два подмножества  $(8,2)$  и  $(8^*,2^*)$ . В данном случае, исключаем ребро  $(8,2)$  путем замены элемента  $d_{82} = 0$  на  $M$ , после чего снова проводим приведение матрицы расстояний для образовавшегося подмножества  $(8^*,2^*)$ , в результате получим редуцированную матрицу (таблица 20).

Таблица – 20 Редуцированная матрица для подмножества (8\*,2\*)

| $ij$  | 1   | 2   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 13  | $d_i$ |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| 2     | 317 | M   | 298 | 199 | 107 | 58  | M   | 225 | 0   | 25  | 30  | 267 | 0     |
| 3     | M   | 413 | 0   | 31  | 242 | 156 | 270 | 50  | 219 | 328 | 334 | 154 | 0     |
| 4     | 0   | 403 | M   | 0   | 198 | 213 | 261 | 53  | 193 | 304 | 311 | 162 | 0     |
| 5     | 38  | 304 | 0   | M   | 94  | 75  | 149 | 0   | 98  | 210 | 216 | 90  | 0     |
| 6     | 280 | 236 | 222 | 118 | M   | 0   | 110 | 182 | 37  | 234 | 240 | 246 | 0     |
| 7     | 261 | 187 | 237 | 99  | 0   | M   | 75  | 162 | 0   | 194 | 199 | 233 | 0     |
| 8     | 353 | M   | 337 | 225 | 162 | 127 | M   | 262 | 52  | 0   | 6   | 305 | 0     |
| 9     | 50  | 330 | 53  | 0   | 158 | 138 | 186 | M   | 130 | 234 | 240 | 0   | 0     |
| 10    | 238 | 129 | 217 | 122 | 37  | 0   | 0   | 154 | M   | 109 | 114 | 218 | 0     |
| 11    | 418 | 213 | 387 | 293 | 293 | 253 | 7   | 317 | 168 | M   | 0   | 331 | 0     |
| 12    | 437 | 218 | 394 | 299 | 299 | 258 | 13  | 323 | 173 | 0   | M   | 336 | 0     |
| 13    | 148 | 372 | 162 | 90  | 222 | 209 | 229 | 0   | 194 | 248 | 253 | M   | 0     |
| $d_j$ | 0   | 129 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 129   |

Нижняя граница гамильтоновых циклов этого подмножества равна:  $H(8^*,2^*) = 2055 + 129 = 2184$ . Далее включаем ребро (8,2) путем исключения всех элементов 8-ой строки и 2-го столбца, где элемент  $d_{28}$  заменяем на M, для исключения образования не гамильтонова цикла. Таким образом, получаем сокращенную матрицу размером  $11 \times 11$ , над которой необходимо провести операцию приведения (таблица 21).

Таблица – 21 Сокращенная матрица после операции приведения

| $ij$  | 1   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 13  | $d_i$ |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| 2     | 317 | 298 | 199 | 107 | 58  | M   | 225 | 0   | 25  | 30  | 267 | 0     |
| 3     | M   | 0   | 31  | 242 | 156 | 270 | 50  | 219 | 328 | 334 | 154 | 0     |
| 4     | 0   | M   | 0   | 198 | 213 | 261 | 53  | 193 | 304 | 311 | 162 | 0     |
| 5     | 38  | 0   | M   | 94  | 75  | 149 | 0   | 98  | 210 | 216 | 90  | 0     |
| 6     | 280 | 222 | 118 | M   | 0   | 110 | 182 | 37  | 234 | 240 | 246 | 0     |
| 7     | 261 | 237 | 99  | 0   | M   | 75  | 162 | 0   | 194 | 199 | 233 | 0     |
| 9     | 50  | 53  | 0   | 158 | 138 | 186 | M   | 130 | 234 | 240 | 0   | 0     |
| 10    | 238 | 217 | 122 | 37  | 0   | 0   | 154 | M   | 109 | 114 | 218 | 0     |
| 11    | 418 | 387 | 293 | 293 | 253 | 7   | 317 | 168 | M   | 0   | 331 | 0     |
| 12    | 437 | 394 | 299 | 299 | 258 | 13  | 323 | 173 | 0   | M   | 336 | 0     |
| 13    | 148 | 162 | 90  | 222 | 209 | 229 | 0   | 194 | 248 | 253 | M   | 0     |
| $d_j$ | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0     |

Сумма констант приведения в сокращенной матрице определяет нижнюю границу  $H$ , при этом, нижняя граница подмножества (1,3) равна:

$$H = \sum d_i + \sum d_j = 0,$$

$$H(8,2) = 2055 + 0 = 2055 \leq 2184.$$

Так как нижняя граница этого подмножества (8,2) меньше границы подмножества (8\*,2\*), то включаем в маршрут ребро (8,2) с новой границей  $H = 2055$ .

Следующим шагом снова определяем ребро ветвления путем нахождения оценок для нулевых клеток (таблица 22):

$$d(2,10) = 25 + 0 = 25;$$

$$d(7,10) = 0 + 0 = 0;$$

$$d(3,4) = 31 + 0 = 31;$$

$$d(9,5) = 0 + 0 = 0;$$

$$d(4,1) = 0 + 38 = 38;$$

$$d(9,13) = 0 + 90 = 90;$$

$$d(4,5) = 0 + 0 = 0;$$

$$d(10,7) = 0 + 0 = 0;$$

$$d(5,4) = 0 + 0 = 0;$$

$$d(10,8) = 0 + 7 = 7;$$

$$d(5,9) = 0 + 0 = 0;$$

$$d(11,12) = 7 + 30 = 37;$$

$$d(6,7) = 37 + 0 = 37;$$

$$d(12,11) = 13 + 25 = 38;$$

$$d(7,6) = 0 + 37 = 37;$$

$$d(13,9) = 90 + 0 = 90.$$

Таблица – 22 Определение ребра ветвления

| $ij$  | 1     | 4     | 5    | 6     | 7     | 8    | 9     | 10    | 11    | 12    | 13    | $d_i$ |
|-------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 2     | 317   | 298   | 199  | 107   | 58    | M    | 225   | 0(25) | 25    | 30    | 267   | 25    |
| 3     | M     | 0(31) | 31   | 242   | 156   | 270  | 50    | 219   | 328   | 334   | 154   | 31    |
| 4     | 0(38) | M     | 0(0) | 198   | 213   | 261  | 53    | 193   | 304   | 311   | 162   | 0     |
| 5     | 38    | 0(0)  | M    | 94    | 75    | 149  | 0(0)  | 98    | 210   | 216   | 90    | 0     |
| 6     | 280   | 222   | 118  | M     | 0(37) | 110  | 182   | 37    | 234   | 240   | 246   | 37    |
| 7     | 261   | 237   | 99   | 0(37) | M     | 75   | 162   | 0(0)  | 194   | 199   | 233   | 0     |
| 9     | 50    | 53    | 0(0) | 158   | 138   | 186  | M     | 130   | 234   | 240   | 0(90) | 0     |
| 10    | 238   | 217   | 122  | 37    | 0(0)  | 0(7) | 154   | M     | 109   | 114   | 218   | 0     |
| 11    | 418   | 387   | 293  | 293   | 253   | 7    | 317   | 168   | M     | 0(37) | 331   | 7     |
| 12    | 437   | 394   | 299  | 299   | 258   | 13   | 323   | 173   | 0(38) | M     | 336   | 13    |
| 13    | 148   | 162   | 90   | 222   | 209   | 229  | 0(90) | 194   | 248   | 253   | M     | 90    |
| $d_j$ | 38    | 0     | 0    | 37    | 0     | 7    | 0     | 0     | 25    | 30    | 90    | 0     |

Наибольшая сумма констант приведения равна  $(0 + 90) = 90$  для ребра (9,13), значит, множество разбивается на два подмножества (9,13) и (9\*,13\*). В

данном случае, исключаем ребро (9,13) путем замены элемента  $d_{913} = 0$  на  $M$ , после чего снова проводим приведение матрицы расстояний для образовавшегося подмножества (9\*,13\*), в результате получим редуцированную матрицу (таблица 23).

Таблица – 23 Редуцированная матрица для подмножества (9\*,13\*)

| $ij$  | 1   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 13  | $d_i$ |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| 2     | 317 | 298 | 199 | 107 | 58  | M   | 225 | 0   | 25  | 30  | 267 | 0     |
| 3     | M   | 0   | 31  | 242 | 156 | 270 | 50  | 219 | 328 | 334 | 154 | 0     |
| 4     | 0   | M   | 0   | 198 | 213 | 261 | 53  | 193 | 304 | 311 | 162 | 0     |
| 5     | 38  | 0   | M   | 94  | 75  | 149 | 0   | 98  | 210 | 216 | 90  | 0     |
| 6     | 280 | 222 | 118 | M   | 0   | 110 | 182 | 37  | 234 | 240 | 246 | 0     |
| 7     | 261 | 237 | 99  | 0   | M   | 75  | 162 | 0   | 194 | 199 | 233 | 0     |
| 9     | 50  | 53  | 0   | 158 | 138 | 186 | M   | 130 | 234 | 240 | M   | 0     |
| 10    | 238 | 217 | 122 | 37  | 0   | 0   | 154 | M   | 109 | 114 | 218 | 0     |
| 11    | 418 | 387 | 293 | 293 | 253 | 7   | 317 | 168 | M   | 0   | 331 | 0     |
| 12    | 437 | 394 | 299 | 299 | 258 | 13  | 323 | 173 | 0   | M   | 336 | 0     |
| 13    | 148 | 162 | 90  | 222 | 209 | 229 | 0   | 194 | 248 | 253 | M   | 0     |
| $d_j$ | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 90  | 90    |

Нижняя граница гамильтоновых циклов этого подмножества равна:  $H(9^*,13^*) = 2055 + 90 = 2145$ . Далее включаем ребро (9,13) путем исключения всех элементов 9-ой строки и 13-го столбца, где элемент  $d_{139}$  заменяем на  $M$ , для исключения образования не гамильтонова цикла. Таким образом, получаем другую сокращенную матрицу размером  $10 \times 10$ , над которой необходимо провести операцию приведения (таблица 24).

Таблица – 24 Сокращенная матрица после операции приведения

| $ij$  | 1   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | $d_i$ |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| 2     | 317 | 298 | 199 | 107 | 58  | M   | 225 | 0   | 25  | 30  | 0     |
| 3     | M   | 0   | 31  | 242 | 156 | 270 | 50  | 219 | 328 | 334 | 0     |
| 4     | 0   | M   | 0   | 198 | 213 | 261 | 53  | 193 | 304 | 311 | 0     |
| 5     | 38  | 0   | M   | 94  | 75  | 149 | 0   | 98  | 210 | 216 | 0     |
| 6     | 280 | 222 | 118 | M   | 0   | 110 | 182 | 37  | 234 | 240 | 0     |
| 7     | 261 | 237 | 99  | 0   | M   | 75  | 162 | 0   | 194 | 199 | 0     |
| 10    | 238 | 217 | 122 | 37  | 0   | 0   | 154 | M   | 109 | 114 | 0     |
| 11    | 418 | 387 | 293 | 293 | 253 | 7   | 317 | 168 | M   | 0   | 0     |
| 12    | 437 | 394 | 299 | 299 | 258 | 13  | 323 | 173 | 0   | M   | 0     |
| 13    | 148 | 162 | 90  | 222 | 209 | 229 | M   | 194 | 248 | 253 | 90    |
| $d_j$ | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 90    |

Сумма констант приведения в сокращенной матрице определяет нижнюю границу  $H$ , при этом, нижняя граница подмножества  $(9,13)$  равна:

$$H = \sum d_i + \sum d_j = 90,$$

$$H(9,13) = 2055 + 90 = 2145 \leq 2145.$$

Так как нижние границы подмножества  $(9,13)$  и подмножества  $(9^*,13^*)$  равны, то включаем ребро  $(9,13)$  в маршрут с новой границей  $H = 2145$ .

Следующим шагом также определяем ребро ветвления путем нахождения оценок для нулевых клеток (таблица 25):

$$\begin{aligned} d(2,10) &= 25 + 0 = 25; & d(7,6) &= 0 + 37 = 37; \\ d(3,4) &= 31 + 0 = 31; & d(7,10) &= 0 + 0 = 0; \\ d(4,1) &= 0 + 38 = 38; & d(10,7) &= 0 + 0 = 0; \\ d(4,5) &= 0 + 0 = 0; & d(10,8) &= 0 + 7 = 7; \\ d(5,4) &= 0 + 0 = 0; & d(11,12) &= 7 + 30 = 37; \\ d(5,9) &= 0 + 50 = 50; & d(12,11) &= 13 + 25 = 38; \\ d(6,7) &= 37 + 0 = 37; & d(13,5) &= 58 + 0 = 58. \end{aligned}$$

Таблица – 25 Определение ребра ветвления

| $ij$  | 1     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8    | 9     | 10    | 11    | 12    | $d_i$ |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 2     | 317   | 298   | 199   | 107   | 58    | M    | 225   | 0(25) | 25    | 30    | 25    |
| 3     | M     | 0(31) | 31    | 242   | 156   | 270  | 50    | 219   | 328   | 334   | 31    |
| 4     | 0(38) | M     | 0(0)  | 198   | 213   | 261  | 53    | 193   | 304   | 311   | 0     |
| 5     | 38    | 0(0)  | M     | 94    | 75    | 149  | 0(50) | 98    | 210   | 216   | 0     |
| 6     | 280   | 222   | 118   | M     | 0(37) | 110  | 182   | 37    | 234   | 240   | 37    |
| 7     | 261   | 237   | 99    | 0(37) | M     | 75   | 162   | 0(0)  | 194   | 199   | 0     |
| 10    | 238   | 217   | 122   | 37    | 0(0)  | 0(7) | 154   | M     | 109   | 114   | 0     |
| 11    | 418   | 387   | 293   | 293   | 253   | 7    | 317   | 168   | M     | 0(37) | 7     |
| 12    | 437   | 394   | 299   | 299   | 258   | 13   | 323   | 173   | 0(38) | M     | 13    |
| 13    | 58    | 72    | 0(58) | 132   | 119   | 139  | M     | 104   | 158   | 163   | 58    |
| $d_j$ | 38    | 0     | 0     | 37    | 0     | 7    | 50    | 0     | 25    | 30    | 0     |

Наибольшая сумма констант приведения равна  $(58 + 0) = 58$  для ребра  $(13,5)$ , значит, множество разбивается на два подмножества  $(13,5)$  и  $(13^*,5^*)$ . В

данном случае, исключаем ребро (13,5) путем замены элемента  $d_{135} = 0$  на  $M$ , после чего снова проводим приведение матрицы расстояний для образовавшегося подмножества (13\*,5\*), в результате получим редуцированную матрицу (таблица 26).

Таблица – 26 Редуцированная матрица для подмножества (13\*,5\*)

| $ij$  | 1   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | $d_i$ |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| 2     | 317 | 298 | 199 | 107 | 58  | M   | 225 | 0   | 25  | 30  | 0     |
| 3     | M   | 0   | 31  | 242 | 156 | 270 | 50  | 219 | 328 | 334 | 0     |
| 4     | 0   | M   | 0   | 198 | 213 | 261 | 53  | 193 | 304 | 311 | 0     |
| 5     | 38  | 0   | M   | 94  | 75  | 149 | 0   | 98  | 210 | 216 | 0     |
| 6     | 280 | 222 | 118 | M   | 0   | 110 | 182 | 37  | 234 | 240 | 0     |
| 7     | 261 | 237 | 99  | 0   | M   | 75  | 162 | 0   | 194 | 199 | 0     |
| 10    | 238 | 217 | 122 | 37  | 0   | 0   | 154 | M   | 109 | 114 | 0     |
| 11    | 418 | 387 | 293 | 293 | 253 | 7   | 317 | 168 | M   | 0   | 0     |
| 12    | 437 | 394 | 299 | 299 | 258 | 13  | 323 | 173 | 0   | M   | 0     |
| 13    | 58  | 72  | M   | 132 | 119 | 139 | M   | 104 | 158 | 163 | 58    |
| $d_j$ | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 58    |

Нижняя граница гамильтоновых циклов этого подмножества равна:  $H(13^*,5^*) = 2145 + 58 = 2203$ . Далее включаем ребро (13,5) путем исключения всех элементов 13-ой строки и 5-го столбца, где элемент  $d_{513}$  заменяем на  $M$ , для исключения образования не гамильтонова цикла. Таким образом, получаем другую сокращенную матрицу размером  $9 \times 9$ ), над которой необходимо провести операцию приведения (таблица 27).

Таблица – 27 Сокращенная матрица после операции приведения

| $ij$  | 1   | 4   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | $d_i$ |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| 2     | 317 | 298 | 107 | 58  | M   | 225 | 0   | 25  | 30  | 0     |
| 3     | M   | 0   | 242 | 156 | 270 | 50  | 219 | 328 | 334 | 0     |
| 4     | 0   | M   | 198 | 213 | 261 | 53  | 193 | 304 | 311 | 0     |
| 5     | 38  | 0   | 94  | 75  | 149 | 0   | 98  | 210 | 216 | 0     |
| 6     | 280 | 222 | M   | 0   | 110 | 182 | 37  | 234 | 240 | 0     |
| 7     | 261 | 237 | 0   | M   | 75  | 162 | 0   | 194 | 199 | 0     |
| 10    | 238 | 217 | 37  | 0   | 0   | 154 | M   | 109 | 114 | 0     |
| 11    | 418 | 387 | 293 | 253 | 7   | 317 | 168 | M   | 0   | 0     |
| 12    | 437 | 394 | 299 | 258 | 13  | 323 | 173 | 0   | M   | 0     |
| $d_j$ | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0     |

Сумма констант приведения в сокращенной матрице определяет нижнюю границу  $H$ , при этом, нижняя граница подмножества (13,5) равна:

$$H = \sum d_i + \sum d_j = 0,$$

$$H(13,5) = 2145 + 0 = 2145 \leq 2203.$$

Для исключения подциклов запрещаем следующий переход: (5,9).

Так как нижняя граница этого подмножества (13,5) меньше границы подмножества (13\*,5\*), то включаем ребро (13,5) в маршрут с новой границей  $H = 2145$ .

Следующим шагом вновь определяем ребро ветвления путем нахождения оценок для нулевых клеток (таблица 28):

$$\begin{aligned} d(2,10) &= 25 + 0 = 25; & d(7,6) &= 0 + 37 = 37; \\ d(3,4) &= 0 + 0 = 0; & d(7,10) &= 0 + 0 = 0; \\ d(3,9) &= 0 + 3 = 3; & d(10,7) &= 0 + 0 = 0; \\ d(4,1) &= 3 + 38 = 41; & d(10,8) &= 0 + 7 = 7; \\ d(5,4) &= 38 + 0 = 38; & d(11,12) &= 7 + 30 = 37; \\ d(6,7) &= 37 + 0 = 37; & d(12,11) &= 13 + 25 = 38. \end{aligned}$$

Таблица – 28 Определение ребра ветвления

| $ij$  | 1     | 4     | 6     | 7     | 8    | 9    | 10    | 11    | 12    | $d_i$ |
|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| 2     | 317   | 298   | 107   | 58    | M    | 175  | 0(25) | 25    | 30    | 25    |
| 3     | M     | 0(0)  | 242   | 156   | 270  | 0(3) | 219   | 328   | 334   | 0     |
| 4     | 0(41) | M     | 198   | 213   | 261  | 3    | 193   | 304   | 311   | 3     |
| 5     | 38    | 0(38) | 94    | 75    | 149  | M    | 98    | 210   | 216   | 38    |
| 6     | 280   | 222   | M     | 0(37) | 110  | 132  | 37    | 234   | 240   | 37    |
| 7     | 261   | 237   | 0(37) | M     | 75   | 112  | 0(0)  | 194   | 199   | 0     |
| 10    | 238   | 217   | 37    | 0(0)  | 0(7) | 104  | M     | 109   | 114   | 0     |
| 11    | 418   | 387   | 293   | 253   | 7    | 267  | 168   | M     | 0(37) | 7     |
| 12    | 437   | 394   | 299   | 258   | 13   | 273  | 173   | 0(38) | M     | 13    |
| $d_j$ | 38    | 0     | 37    | 0     | 7    | 3    | 0     | 25    | 30    | 0     |



Наибольшая сумма констант приведения равна  $(3 + 38) = 41$  для ребра  $(4,1)$ , значит, множество разбивается на два подмножества  $(4,1)$  и  $(4^*,1^*)$ . В данном случае, исключаем ребро  $(4,1)$  путем замены элемента  $d_{41} = 0$  на  $M$ , после чего снова проводим приведение матрицы расстояний для образовавшегося подмножества  $(4^*,1^*)$ , в результате получим редуцированную матрицу (таблица 29).

Таблица – 29 Редуцированная матрица для подмножества  $(4^*,1^*)$

| $ij$  | 1   | 4   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | $d_i$ |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| 2     | 317 | 298 | 107 | 58  | M   | 175 | 0   | 25  | 30  | 0     |
| 3     | M   | 0   | 242 | 156 | 270 | 0   | 219 | 328 | 334 | 0     |
| 4     | M   | M   | 198 | 213 | 261 | 3   | 193 | 304 | 311 | 3     |
| 5     | 38  | 0   | 94  | 75  | 149 | M   | 98  | 210 | 216 | 0     |
| 6     | 280 | 222 | M   | 0   | 110 | 132 | 37  | 234 | 240 | 0     |
| 7     | 261 | 237 | 0   | M   | 75  | 112 | 0   | 194 | 199 | 0     |
| 10    | 238 | 217 | 37  | 0   | 0   | 104 | M   | 109 | 114 | 0     |
| 11    | 418 | 387 | 293 | 253 | 7   | 267 | 168 | M   | 0   | 0     |
| 12    | 437 | 394 | 299 | 258 | 13  | 273 | 173 | 0   | M   | 0     |
| $d_j$ | 38  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 41    |

Нижняя граница гамильтоновых циклов этого подмножества равна:  $H(4^*,1^*) = 2145 + 41 = 2186$ . Далее включаем ребро  $(4,1)$  путем исключения всех элементов 4-ой строки и 1-го столбца, где элемент  $d_{14}$  заменяем на  $M$ , для исключения образования не гамильтонова цикла. Таким образом, получаем другую сокращенную матрицу размером  $8 \times 8$ ), над которой необходимо провести операцию приведения (таблица 30).

Таблица – 30 Сокращенная матрица после операции приведения

| $ij$  | 4   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | $d_i$ |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| 2     | 298 | 107 | 58  | M   | 175 | 0   | 25  | 30  | 0     |
| 3     | 0   | 242 | 156 | 270 | 0   | 219 | 328 | 334 | 0     |
| 5     | 0   | 94  | 75  | 149 | M   | 98  | 210 | 216 | 0     |
| 6     | 222 | M   | 0   | 110 | 132 | 37  | 234 | 240 | 0     |
| 7     | 237 | 0   | M   | 75  | 112 | 0   | 194 | 199 | 0     |
| 10    | 217 | 37  | 0   | 0   | 104 | M   | 109 | 114 | 0     |
| 11    | 387 | 293 | 253 | 7   | 267 | 168 | M   | 0   | 0     |
| 12    | 394 | 299 | 258 | 13  | 273 | 173 | 0   | M   | 0     |
| $d_j$ | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0     |

Сумма констант приведения в сокращенной матрице определяет нижнюю границу  $H$ , при этом, нижняя граница подмножества  $(4,1)$  равна:

$$H = \sum d_i + \sum d_j = 0,$$

$$H(4,1) = 2145 + 0 = 2145 \leq 2168.$$

Для исключения подциклов запрещаем следующие переходы:  $(5,9)$ ,  $(3,4)$ . Так как нижняя граница этого подмножества  $(4,1)$  меньше, чем подмножества  $(4^*,1^*)$ , то включаем ребро  $(4,1)$  в маршрут с новой границей  $H = 2145$ . Следующим шагом снова определяем ребро ветвления путем нахождения оценок для нулевых клеток (таблица 31):

$$\begin{aligned} d(2,10) &= 25 + 0 = 25; & d(7,10) &= 0 + 0 = 0; \\ d(3,9) &= 156 + 104 = 260; & d(10,7) &= 0 + 0 = 0; \\ d(5,4) &= 75 + 217 = 292; & d(10,8) &= 0 + 7 = 7; \\ d(6,7) &= 37 + 0 = 37; & d(11,12) &= 7 + 30 = 37; \\ d(7,6) &= 0 + 37 = 37; & d(12,11) &= 13 + 25 = 38. \end{aligned}$$

Таблица – 31 Определение ребра ветвления

| $ij$  | 4      | 6     | 7     | 8    | 9      | 10    | 11    | 12    | $d_i$ |
|-------|--------|-------|-------|------|--------|-------|-------|-------|-------|
| 2     | 298    | 107   | 58    | M    | 175    | 0(25) | 25    | 30    | 25    |
| 3     | M      | 242   | 156   | 270  | 0(260) | 219   | 328   | 334   | 156   |
| 5     | 0(292) | 94    | 75    | 149  | M      | 98    | 210   | 216   | 75    |
| 6     | 222    | M     | 0(37) | 110  | 132    | 37    | 234   | 240   | 37    |
| 7     | 237    | 0(37) | M     | 75   | 112    | 0(0)  | 194   | 199   | 0     |
| 10    | 217    | 37    | 0(0)  | 0(7) | 104    | M     | 109   | 114   | 0     |
| 11    | 387    | 293   | 253   | 7    | 267    | 168   | M     | 0(37) | 7     |
| 12    | 394    | 299   | 258   | 13   | 273    | 173   | 0(38) | M     | 13    |
| $d_j$ | 217    | 37    | 0     | 7    | 104    | 0     | 25    | 30    | 0     |

Наибольшая сумма констант приведения равна  $(75 + 217) = 292$  для ребра  $(5,4)$ , значит, множество разбивается на два подмножества  $(5,4)$  и  $(5^*,4^*)$ . В данном случае, исключаем ребро  $(5,4)$  путем замены элемента  $d_{54} = 0$  на  $M$ , после чего снова проводим приведение матрицы расстояний для образовавшегося

подмножества  $(5^*, 4^*)$ , в результате получим редуцированную матрицу (таблица 32).

Таблица – 32 Редуцированная матрица для подмножества  $(5^*, 4^*)$

| $ij$  | 4   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | $d_i$ |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| 2     | 298 | 107 | 58  | M   | 175 | 0   | 25  | 30  | 0     |
| 3     | M   | 242 | 156 | 270 | 0   | 219 | 328 | 334 | 0     |
| 5     | M   | 94  | 75  | 149 | M   | 98  | 210 | 216 | 75    |
| 6     | 222 | M   | 0   | 110 | 132 | 37  | 234 | 240 | 0     |
| 7     | 237 | 0   | M   | 75  | 112 | 0   | 194 | 199 | 0     |
| 10    | 217 | 37  | 0   | 0   | 104 | M   | 109 | 114 | 0     |
| 11    | 387 | 293 | 253 | 7   | 267 | 168 | M   | 0   | 0     |
| 12    | 394 | 299 | 258 | 13  | 273 | 173 | 0   | M   | 0     |
| $d_j$ | 217 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 292   |

Нижняя граница гамильтоновых циклов этого подмножества равна:  $H(5^*, 4^*) = 2145 + 292 = 2437$ . Далее включаем ребро  $(5, 4)$  путем исключения всех элементов 5-ой строки и 4-го столбца, где элемент  $d_{45}$  заменяем на  $M$ , для исключения образования не гамильтонова цикла. Таким образом, получаем другую сокращенную матрицу размером  $7 \times 7$ , над которой необходимо провести операцию приведения (таблица 33).

Таблица – 33 Сокращенная матрица после операции приведения

| $ij$  | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | $d_i$ |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| 2     | 107 | 58  | M   | 175 | 0   | 25  | 30  | 0     |
| 3     | 242 | 156 | 270 | 0   | 219 | 328 | 334 | 0     |
| 6     | M   | 0   | 110 | 132 | 37  | 234 | 240 | 0     |
| 7     | 0   | M   | 75  | 112 | 0   | 194 | 199 | 0     |
| 10    | 37  | 0   | 0   | 104 | M   | 109 | 114 | 0     |
| 11    | 293 | 253 | 7   | 267 | 168 | M   | 0   | 0     |
| 12    | 299 | 258 | 13  | 273 | 173 | 0   | M   | 0     |
| $d_j$ | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0     |

Сумма констант приведения в сокращенной матрице определяет нижнюю границу  $H$ , при этом, нижняя граница подмножества  $(5, 4)$  равна:

$$H = \sum d_i + \sum d_j = 0,$$

$$H(5, 4) = 2145 + 0 = 2145 \leq 2437.$$

Для исключения подциклов запрещаем следующие переходы: (3,9), (3,13), (3,4), (3,5). Так как нижняя граница этого подмножества (5,4) меньше, чем подмножества (5\*,4\*), то включаем ребро (5,4) в маршрут с новой границей  $H = 2145$ . Следующим шагом снова определяем ребро ветвления путем нахождения оценок для нулевых клеток (таблица 34):

$$\begin{aligned} d(2,10) &= 25 + 0 = 25; & d(10,7) &= 0 + 0 = 0; \\ d(3,7) &= 63 + 0 = 63; & d(10,8) &= 0 + 7 = 7; \\ d(6,7) &= 28 + 0 = 28; & d(10,9) &= 0 + 8 = 8; \\ d(7,6) &= 0 + 37 = 37; & d(11,12) &= 7 + 30 = 37; \\ d(7,10) &= 0 + 0 = 0; & d(12,11) &= 13 + 25 = 38. \end{aligned}$$

Таблица – 34 Определение ребра ветвления

| $i, j$ | 6     | 7     | 8    | 9    | 10    | 11    | 12    | $d_i$ |
|--------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| 2      | 107   | 58    | M    | 71   | 0(25) | 25    | 30    | 25    |
| 3      | 86    | 0(63) | 114  | M    | 63    | 172   | 178   | 63    |
| 6      | M     | 0(28) | 110  | 28   | 37    | 234   | 240   | 28    |
| 7      | 0(37) | M     | 75   | 8    | 0(0)  | 194   | 199   | 0     |
| 10     | 37    | 0(0)  | 0(7) | 0(8) | M     | 109   | 114   | 0     |
| 11     | 293   | 253   | 7    | 163  | 168   | M     | 0(37) | 7     |
| 12     | 299   | 258   | 13   | 169  | 173   | 0(38) | M     | 13    |
| $d_j$  | 37    | 0     | 7    | 8    | 0     | 25    | 30    | 0     |

Наибольшая сумма констант приведения равна  $(63 + 0) = 63$  для ребра (3,7), значит, множество разбивается на два подмножества (3,7) и (3\*,7\*). В данном случае, исключаем ребро (3,7) путем замены элемента  $d_{37} = 0$  на  $M$ , после чего снова проводим приведение матрицы расстояний для образовавшегося подмножества (3\*,7\*), в результате получим редуцированную матрицу (таблица 35).

Нижняя граница гамильтоновых циклов этого подмножества равна:  $H(3^*,7^*) = 2145 + 63 = 2208$ . Далее включаем ребро (3,7) путем исключения всех элементов 3-ой строки и 7-го столбца, где элемент  $d_{73}$  заменяем на  $M$ , для исключения образования не гамильтонова цикла. Таким образом, получаем

другую сокращенную матрицу размером  $6 \times 6$ ), над которой необходимо провести операцию приведения (таблица 36).

Таблица – 35 Редуцированная матрица для подмножества  $(3^*, 7^*)$

| $ij$  | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | $d_i$ |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| 2     | 107 | 58  | M   | 71  | 0   | 25  | 30  | 0     |
| 3     | 86  | M   | 114 | M   | 63  | 172 | 178 | 63    |
| 6     | M   | 0   | 110 | 28  | 37  | 234 | 240 | 0     |
| 7     | 0   | M   | 75  | 8   | 0   | 194 | 199 | 0     |
| 10    | 37  | 0   | 0   | 0   | M   | 109 | 114 | 0     |
| 11    | 293 | 253 | 7   | 163 | 168 | M   | 0   | 0     |
| 12    | 299 | 258 | 13  | 169 | 173 | 0   | M   | 0     |
| $d_j$ | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 63    |

Таблица – 36 Сокращенная матрица после операции приведения

| $ij$  | 6   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | $d_i$ |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| 2     | 107 | M   | 71  | 0   | 25  | 30  | 0     |
| 6     | M   | 110 | 28  | 37  | 234 | 240 | 28    |
| 7     | 0   | 75  | 8   | 0   | 194 | 199 | 0     |
| 10    | 37  | 0   | 0   | M   | 109 | 114 | 0     |
| 11    | 293 | 7   | 163 | 168 | M   | 0   | 0     |
| 12    | 299 | 13  | 169 | 173 | 0   | M   | 0     |
| $d_j$ | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 28    |

Сумма констант приведения в сокращенной матрице определяет нижнюю границу  $H$ , при этом, нижняя граница подмножества  $(3, 7)$  равна:

$$H = \sum d_i + \sum d_j = 28,$$

$$H(3, 7) = 2145 + 28 = 2173 \leq 2208.$$

Для исключения подциклов запрещаем следующие переходы:  $(7, 9)$ ,  $(7, 13)$ ,  $(7, 1)$ ,  $(7, 5)$ ,  $(7, 4)$ . Так как нижняя граница этого подмножества  $(3, 7)$  меньше, чем подмножества  $(3^*, 7^*)$ , то включаем ребро  $(3, 7)$  в маршрут с новой границей  $H = 2173$ . Следующим шагом снова определяем ребро ветвления путем нахождения оценок для нулевых клеток (таблица 37):

$$d(2,10) = 25 + 0 = 25;$$

$$d(6,9) = 9 + 0 = 9;$$

$$d(7,6) = 0 + 37 = 37;$$

$$d(7,10) = 0 + 0 = 0;$$

$$d(10,8) = 0 + 7 = 7;$$

$$d(10,9) = 0 + 0 = 0;$$

$$d(11,12) = 7 + 30 = 37;$$

$$d(12,11) = 13 + 25 = 38.$$

Таблица – 37 Определение ребра ветвления

| $ij$  | 6     | 8    | 9    | 10    | 11    | 12    | $d_i$ |
|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| 2     | 107   | M    | 71   | 0(25) | 25    | 30    | 25    |
| 6     | M     | 82   | 0(9) | 9     | 206   | 212   | 9     |
| 7     | 0(37) | 75   | M    | 0(0)  | 194   | 199   | 0     |
| 10    | 37    | 0(7) | 0(0) | M     | 109   | 114   | 0     |
| 11    | 293   | 7    | 163  | 168   | M     | 0(37) | 7     |
| 12    | 299   | 13   | 169  | 173   | 0(38) | M     | 13    |
| $d_j$ | 37    | 7    | 0    | 0     | 25    | 30    | 0     |

Наибольшая сумма констант приведения равна  $(13 + 25) = 38$  для ребра  $(12,11)$ , значит, множество разбивается на два подмножества  $(12,11)$  и  $(12^*,11^*)$ . В данном случае, исключаем ребро  $(12,11)$  путем замены элемента  $d_{1211} = 0$  на  $M$ , после чего снова проводим приведение матрицы расстояний для образовавшегося подмножества  $(12^*,11^*)$ , в результате получим редуцированную матрицу (таблица 38).

Таблица – 38 Редуцированная матрица для подмножества  $(12^*,11^*)$

| $ij$  | 6   | 8  | 9   | 10  | 11  | 12  | $d_i$ |
|-------|-----|----|-----|-----|-----|-----|-------|
| 2     | 107 | M  | 71  | 0   | 25  | 30  | 0     |
| 6     | M   | 82 | 0   | 9   | 206 | 212 | 0     |
| 7     | 0   | 75 | M   | 0   | 194 | 199 | 0     |
| 10    | 37  | 0  | 0   | M   | 109 | 114 | 0     |
| 11    | 293 | 7  | 163 | 168 | M   | 0   | 0     |
| 12    | 299 | 13 | 169 | 173 | M   | M   | 13    |
| $d_j$ | 0   | 0  | 0   | 0   | 25  | 0   | 38    |

Нижняя граница гамильтоновых циклов этого подмножества равна:  $H(12^*,11^*) = 2173 + 38 = 2211$ . Далее включаем ребро  $(12,11)$  путем исключения всех элементов 12-ой строки и 11-го столбца, где элемент  $d_{1112}$  заменяем на

$M$ , для исключения образования не гамильтонова цикла. Таким образом, получаем другую сокращенную матрицу размером  $5 \times 5$ ), над которой необходимо провести операцию приведения (таблица 39).

Таблица – 39 Сокращенная матрица после операции приведения

| $i, j$ | 6   | 8  | 9   | 10  | 12  | $d_i$ |
|--------|-----|----|-----|-----|-----|-------|
| 2      | 107 | M  | 71  | 0   | 30  | 0     |
| 6      | M   | 82 | 0   | 9   | 212 | 0     |
| 7      | 0   | 75 | M   | 0   | 199 | 0     |
| 10     | 37  | 0  | 0   | M   | 114 | 0     |
| 11     | 293 | 7  | 163 | 168 | M   | 7     |
| $d_j$  | 0   | 0  | 0   | 0   | 30  | 37    |

Сумма констант приведения в сокращенной матрице определяет нижнюю границу  $H$ , при этом, нижняя граница подмножества (12,11) равна:

$$H = \sum d_i + \sum d_j = 37,$$

$$H(3,7) = 2173 + 37 = 2210 \leq 2211.$$

Так как  $22310 > 2208$ , то исключаем подмножество (3,7) для дальнейшего ветвления и возвращаемся к прежнему плану  $X_7$  (таблица 35), над которым выполняем операцию редукции по строкам и столбцам. В итоге получаем таблицу 40, по которой определяем очередное ребро ветвления путем расчета оценок нулевых клеток:

$$d(2,10) = 25 + 0 = 25;$$

$$d(10,7) = 0 + 0 = 0;$$

$$d(3,10) = 23 + 0 = 23;$$

$$d(10,8) = 0 + 7 = 7;$$

$$d(6,7) = 28 + 0 = 28;$$

$$d(10,9) = 0 + 8 = 8;$$

$$d(7,6) = 0 + 23 = 23;$$

$$d(11,12) = 7 + 30 = 37;$$

$$d(7,10) = 0 + 0 = 0;$$

$$d(12,11) = 13 + 25 = 38.$$

Таблица – 40 Определение ребра ветвления

| $ij$  | 6     | 7     | 8    | 9    | 10    | 11    | 12    | $d_i$ |
|-------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| 2     | 107   | 58    | M    | 71   | 0(25) | 25    | 30    | 25    |
| 3     | 23    | M     | 51   | M    | 0(23) | 109   | 115   | 23    |
| 6     | M     | 0(28) | 110  | 28   | 37    | 234   | 240   | 28    |
| 7     | 0(23) | M     | 75   | 8    | 0(0)  | 194   | 199   | 0     |
| 10    | 37    | 0(0)  | 0(7) | 0(8) | M     | 109   | 114   | 0     |
| 11    | 293   | 253   | 7    | 163  | 168   | M     | 0(37) | 7     |
| 12    | 299   | 258   | 13   | 169  | 173   | 0(38) | M     | 13    |
| $d_j$ | 23    | 0     | 7    | 8    | 0     | 25    | 30    | 0     |

Наибольшая сумма констант приведения равна  $(13 + 25) = 38$  для ребра  $(12,11)$ , значит, множество разбивается на два подмножества  $(12,11)$  и  $(12^*,11^*)$ . В данном случае, исключаем ребро  $(12,11)$  путем замены элемента  $d_{1211} = 0$  на  $M$ , после чего снова проводим приведение матрицы расстояний для образовавшегося подмножества  $(12^*,11^*)$ , в результате получим редуцированную матрицу (таблица 41).

Таблица – 41 Редуцированная матрица для подмножества  $(12^*,11^*)$

| $ij$  | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | $d_i$ |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| 2     | 107 | 58  | M   | 71  | 0   | 25  | 30  | 0     |
| 3     | 23  | M   | 51  | M   | 0   | 109 | 115 | 0     |
| 6     | M   | 0   | 110 | 28  | 37  | 234 | 240 | 0     |
| 7     | 0   | M   | 75  | 8   | 0   | 194 | 199 | 0     |
| 10    | 37  | 0   | 0   | 0   | M   | 109 | 114 | 0     |
| 11    | 293 | 253 | 7   | 163 | 168 | M   | 0   | 0     |
| 12    | 299 | 258 | 13  | 169 | 173 | M   | M   | 13    |
| $d_j$ | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 25  | 0   | 38    |

Нижняя граница гамильтоновых циклов этого подмножества равна:  $H(12^*,11^*) = 2208 + 38 = 2246$ . Далее включаем ребро  $(12,11)$  путем исключения всех элементов 12-ой строки и 11-го столбца, где элемент  $d_{1112}$  заменяем на  $M$ , для исключения образования не гамильтонова цикла. Таким образом, получаем другую сокращенную матрицу размером  $6 \times 6$ , над которой необходимо провести операцию приведения (таблица 42).

Сумма констант приведения в сокращенной матрице определяет нижнюю границу  $H$ , при этом, нижняя граница подмножества  $(12,11)$  равна:



$$H = \sum d_i + \sum d_j = 37,$$

$$H(3,7) = 2208 + 37 = 2245 \leq 2246.$$

Таблица – 42 Сокращенная матрица после операции приведения

| $ij$  | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 12  | $d_i$ |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| 2     | 107 | 58  | M   | 71  | 0   | 30  | 0     |
| 3     | 23  | M   | 51  | M   | 0   | 115 | 0     |
| 6     | M   | 0   | 110 | 28  | 37  | 240 | 0     |
| 7     | 0   | M   | 75  | 8   | 0   | 199 | 0     |
| 10    | 37  | 0   | 0   | 0   | M   | 114 | 0     |
| 11    | 293 | 253 | 7   | 163 | 168 | M   | 7     |
| $d_j$ | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 30  | 37    |

Для исключения подциклов запрещаем следующие переходы: (3,9), (3,13), (3,5), (3,4). Так как нижняя граница этого подмножества (12,11) меньше, чем подмножества (12\*,11\*), то включаем ребро (12,11) в маршрут с новой границей  $H = 2245$ . Следующим шагом снова определяем ребро ветвления путем нахождения оценок для нулевых клеток (таблица 43):

$$d(2,10) = 0 + 0 = 0;$$

$$d(7,10) = 0 + 0 = 0;$$

$$d(2,12) = 0 + 84 = 84;$$

$$d(10,7) = 0 + 0 = 0;$$

$$d(3,10) = 23 + 0 = 23;$$

$$d(10,8) = 0 + 0 = 0;$$

$$d(6,7) = 28 + 0 = 28;$$

$$d(10,9) = 0 + 8 = 8;$$

$$d(7,6) = 0 + 23 = 23;$$

$$d(11,8) = 156 + 0 = 156.$$

Таблица – 43 Определение ребра ветвления

| $ij$  | 6     | 7     | 8      | 9    | 10    | 12    | $d_i$ |
|-------|-------|-------|--------|------|-------|-------|-------|
| 2     | 107   | 58    | M      | 71   | 0(0)  | 0(84) | 0     |
| 3     | 23    | M     | 51     | M    | 0(23) | 85    | 23    |
| 6     | M     | 0(28) | 110    | 28   | 37    | 210   | 28    |
| 7     | 0(23) | M     | 75     | 8    | 0(0)  | 169   | 0     |
| 10    | 37    | 0(0)  | 0(0)   | 0(8) | M     | 84    | 0     |
| 11    | 286   | 246   | 0(156) | 156  | 161   | M     | 156   |
| $d_j$ | 23    | 0     | 0      | 8    | 0     | 84    | 0     |

Наибольшая сумма констант приведения равна  $(156 + 0) = 156$  для ребра  $(11,8)$ , значит, множество разбивается на два подмножества  $(11,8)$  и  $(11^*,8^*)$ . В данном случае, исключаем ребро  $(11,8)$  путем замены элемента  $d_{118} = 0$  на  $M$ , после чего снова проводим приведение матрицы расстояний для образовавшегося подмножества  $(11^*,8^*)$ , в результате получим редуцированную матрицу (таблица 44).

Таблица – 44 Редуцированная матрица для подмножества  $(11^*,8^*)$

| $ij$  | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 12  | $d_i$ |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| 2     | 107 | 58  | M   | 71  | 0   | 0   | 0     |
| 3     | 23  | M   | 51  | M   | 0   | 85  | 0     |
| 6     | M   | 0   | 110 | 28  | 37  | 210 | 0     |
| 7     | 0   | M   | 75  | 8   | 0   | 169 | 0     |
| 10    | 37  | 0   | 0   | 0   | M   | 84  | 0     |
| 11    | 286 | 246 | M   | 156 | 161 | M   | 156   |
| $d_j$ | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 156   |

Нижняя граница гамильтоновых циклов этого подмножества равна:  $H(11^*,8^*) = 2245 + 156 = 2401$ . Далее включаем ребро  $(11,8)$  путем исключения всех элементов 11-ой строки и 8-го столбца, где элемент  $d_{811}$  заменяем на  $M$ , для исключения образования не гамильтонова цикла. Таким образом, получаем другую сокращенную матрицу размером  $5 \times 5$ , над которой необходимо провести операцию приведения (таблица 45).

Таблица – 45 Сокращенная матрица после операции приведения

| $ij$  | 6   | 7  | 9  | 10 | 12  | $d_i$ |
|-------|-----|----|----|----|-----|-------|
| 2     | 107 | 58 | 71 | 0  | 0   | 0     |
| 3     | 23  | M  | M  | 0  | 85  | 0     |
| 6     | M   | 0  | 28 | 37 | 210 | 0     |
| 7     | 0   | M  | 8  | 0  | 169 | 0     |
| 10    | 37  | 0  | 0  | M  | 84  | 0     |
| $d_j$ | 0   | 0  | 0  | 0  | 0   | 0     |

Сумма констант приведения в сокращенной матрице определяет нижнюю границу  $H$ , при этом, нижняя граница подмножества  $(11,8)$  равна:

$$H = \sum d_i + \sum d_j = 0,$$

$$H(3,7) = 2245 + 0 = 2245 \leq 2401.$$

Для исключения подциклов запрещаем следующие переходы: (2,12), (2,11), (3,9), (3,13), (3,5), (3,4). Так как нижняя граница этого подмножества (11,8) меньше, чем подмножества (11\*,8\*), то включаем ребро (11,8) в маршрут с новой границей  $H = 2245$ . Следующим шагом снова определяем ребро ветвления путем нахождения оценок для нулевых клеток (таблица 46):

$$\begin{aligned} d(2,10) &= 58 + 0 = 58; & d(7,10) &= 0 + 0 = 0; \\ d(3,10) &= 1 + 0 = 1; & d(10,7) &= 0 + 0 = 0; \\ d(6,7) &= 28 + 0 = 28; & d(10,9) &= 0 + 8 = 8; \\ d(7,6) &= 0 + 23 = 23; & d(10,12) &= 0 + 1 = 1. \end{aligned}$$

Таблица – 46 Определение ребра ветвления

| $ij$  | 6     | 7     | 9    | 10    | 12   | $d_i$ |
|-------|-------|-------|------|-------|------|-------|
| 2     | 107   | 58    | 71   | 0(58) | M    | 58    |
| 3     | 23    | M     | M    | 0(1)  | 1    | 1     |
| 6     | M     | 0(28) | 28   | 37    | 126  | 28    |
| 7     | 0(23) | M     | 8    | 0(0)  | 85   | 0     |
| 10    | 37    | 0(0)  | 0(8) | M     | 0(1) | 0     |
| $d_j$ | 23    | 0     | 8    | 0     | 1    | 0     |

Наибольшая сумма констант приведения равна  $(58 + 0) = 58$  для ребра (2,10), значит, множество разбивается на два подмножества (2,10) и (2\*,10\*). В данном случае, исключаем ребро (2,10) путем замены элемента  $d_{210} = 0$  на  $M$ , после чего снова проводим приведение матрицы расстояний для образовавшегося подмножества (2\*,10\*), в результате получим редуцированную матрицу (таблица 47).

Нижняя граница гамильтоновых циклов этого подмножества равна:  $H(2^*,10^*) = 2245 + 58 = 2303$ . Далее включаем ребро (2,10) путем исключения всех элементов 2-ой строки и 10-го столбца, где элемент  $d_{102}$  заменяем на  $M$ , для исключения образования не гамильтонова цикла. Таким образом, получаем

другую сокращенную матрицу размером  $4 \times 4$ ), над которой необходимо провести операцию приведения (таблица 48).

Таблица – 47 Редуцированная матрица для подмножества  $(2^*, 10^*)$

| $ij$  | 6   | 7  | 9  | 10 | 12  | $d_i$ |
|-------|-----|----|----|----|-----|-------|
| 2     | 107 | 58 | 71 | М  | М   | 58    |
| 3     | 23  | М  | М  | 0  | 1   | 0     |
| 6     | М   | 0  | 28 | 37 | 126 | 0     |
| 7     | 0   | М  | 8  | 0  | 85  | 0     |
| 10    | 37  | 0  | 0  | М  | 0   | 0     |
| $d_j$ | 0   | 0  | 0  | 0  | 0   | 58    |

Таблица – 48 Сокращенная матрица после операции приведения

| $ij$  | 6  | 7 | 9  | 12  | $d_i$ |
|-------|----|---|----|-----|-------|
| 3     | 23 | М | М  | 1   | 1     |
| 6     | М  | 0 | 28 | 126 | 0     |
| 7     | 0  | М | 8  | 85  | 0     |
| 10    | 37 | 0 | 0  | 0   | 0     |
| $d_j$ | 0  | 0 | 0  | 0   | 1     |

Сумма констант приведения в сокращенной матрице определяет нижнюю границу  $H$ , при этом, нижняя граница подмножества  $(2, 10)$  равна:

$$H = \sum d_i + \sum d_j = 1,$$

$$H(2, 10) = 2245 + 1 = 2246 \leq 2303.$$

Для исключения подциклов запрещаем следующие переходы:  $(10, 8)$ ,  $(10, 11)$ ,  $(10, 12)$ ,  $(3, 13)$ ,  $(3, 5)$ ,  $(3, 4)$ . Так как нижняя граница этого подмножества  $(2, 10)$  меньше, чем подмножества  $(2^*, 10^*)$ , то включаем ребро  $(2, 10)$  в маршрут с новой границей  $H = 2246$ . Следующим шагом снова определяем ребро ветвления путем нахождения оценок для нулевых клеток (таблица 49):

$$d(3, 12) = 22 + 85 = 107;$$

$$d(10, 7) = 0 + 0 = 0;$$

$$d(6, 7) = 28 + 0 = 28;$$

$$d(10, 9) = 0 + 8 = 8.$$

$$d(7, 6) = 8 + 22 = 30;$$

Таблица – 49 Определение ребра ветвления

| $ij$  | 6     | 7     | 9    | 12     | $d_i$ |
|-------|-------|-------|------|--------|-------|
| 3     | 22    | M     | M    | 0(107) | 22    |
| 6     | M     | 0(28) | 28   | 126    | 28    |
| 7     | 0(30) | M     | 8    | 85     | 8     |
| 10    | 37    | 0(0)  | 0(8) | M      | 0     |
| $d_j$ | 22    | 0     | 8    | 85     | 0     |

Наибольшая сумма констант приведения равна  $(22 + 85) = 107$  для ребра  $(3,12)$ , значит, множество разбивается на два подмножества  $(3,12)$  и  $(3^*,12^*)$ . В данном случае, исключаем ребро  $(3,12)$  путем замены элемента  $d_{312} = 0$  на  $M$ , после чего снова проводим приведение матрицы расстояний для образовавшегося подмножества  $(3^*,12^*)$ , в результате получим редуцированную матрицу (таблица 50).

Таблица – 50 Редуцированная матрица для подмножества  $(3^*,12^*)$

| $ij$  | 6  | 7 | 9  | 12  | $d_i$ |
|-------|----|---|----|-----|-------|
| 3     | 22 | M | M  | M   | 22    |
| 6     | M  | 0 | 28 | 126 | 0     |
| 7     | 0  | M | 8  | 85  | 0     |
| 10    | 37 | 0 | 0  | M   | 0     |
| $d_j$ | 0  | 0 | 0  | 85  | 107   |

Нижняя граница гамильтоновых циклов этого подмножества равна:  $H(3^*,12^*) = 2246 + 107 = 2353$ . Далее включаем ребро  $(3,12)$  путем исключения всех элементов 3-ой строки и 12-го столбца, где элемент  $d_{123}$  заменяем на  $M$ , для исключения образования не гамильтонова цикла. Таким образом, получаем другую сокращенную матрицу размером  $3 \times 3$ , над которой необходимо провести операцию приведения (таблица 51).

Таблица – 51 Сокращенная матрица после операции приведения

| $ij$  | 6  | 7 | 9  | $d_i$ |
|-------|----|---|----|-------|
| 6     | M  | 0 | 28 | 0     |
| 7     | 0  | M | 8  | 0     |
| 10    | 37 | 0 | 0  | 0     |
| $d_j$ | 0  | 0 | 0  | 0     |

Сумма констант приведения в сокращенной матрице определяет нижнюю границу  $H$ , при этом, нижняя граница подмножества (3,12) равна:

$$H = \sum d_i + \sum d_j = 0,$$

$$H(2,10) = 2246 + 0 = 2246 \leq 2353.$$

Для исключения подциклов запрещаем следующие переходы: (10,1), (10,3), (10,4), (10,5), (10,8), (10,9), (10,11), (10,12), (10,13). Так как нижняя граница этого подмножества (3,12) меньше, чем подмножества (3\*,12\*), то включаем ребро (3,12) в маршрут с новой границей  $H = 2246$ . Следующим шагом снова определяем ребро ветвления путем нахождения оценок для нулевых клеток (таблица 52):

$$d(6,7) = 20 + 0 = 20; \quad d(7,9) = 0 + 20 = 20;$$

$$d(7,6) = 0 + 37 = 37; \quad d(10,7) = 37 + 0 = 37.$$

Таблица – 52 Определение ребра ветвления

| $ij$  | 6     | 7     | 9     | $d_i$ |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| 6     | M     | 0(20) | 20    | 20    |
| 7     | 0(37) | M     | 0(20) | 0     |
| 10    | 37    | 0(37) | M     | 37    |
| $d_j$ | 37    | 0     | 20    | 0     |

Наибольшая сумма констант приведения равна  $(0 + 37) = 37$  для ребра (7,6), значит, множество разбивается на два подмножества (7,6) и (7\*,6\*). В данном случае, исключаем ребро (7,6) путем замены элемента  $d_{76} = 0$  на  $M$ , после чего снова проводим приведение матрицы расстояний для образовавшегося подмножества (7\*,6\*), в результате получим редуцированную матрицу (таблица 53).

Нижняя граница гамильтоновых циклов этого подмножества равна:  $H(7^*,6^*) = 2246 + 37 = 2283$ . Далее включаем ребро (7,6) путем исключения

всех элементов 7-ой строки и 6-го столбца, где элемент  $d_{67}$  заменяем на  $M$ , для исключения образования не гамильтонова цикла. Таким образом, получаем другую сокращенную матрицу размером  $2 \times 2$ , над которой необходимо провести операцию приведения (таблица 54).

Таблица – 53 Редуцированная матрица для подмножества (7\*,6\*)

| $i, j$ | 6  | 7 | 9  | $d_i$ |
|--------|----|---|----|-------|
| 6      | M  | 0 | 20 | 0     |
| 7      | M  | M | 0  | 0     |
| 10     | 37 | 0 | M  | 0     |
| $d_j$  | 37 | 0 | 0  | 37    |

Таблица – 54 Сокращенная матрица после операции приведения

| $i, j$ | 7 | 9  | $d_i$ |
|--------|---|----|-------|
| 6      | M | 20 | 20    |
| 10     | 0 | M  | 0     |
| $d_j$  | 0 | 20 | 40    |

Сумма констант приведения в сокращенной матрице определяет нижнюю границу  $H$ , при этом, нижняя граница подмножества (7,6) равна:

$$H = \sum d_i + \sum d_j = 40,$$

$$H(7,6) = 2246 + 40 = 2286 > 2283.$$

Так как нижняя граница подмножества (7,6) больше границы подмножества (7\*,6\*), то в маршрут ребро (7,6) не включается. Следующим шагом в очередной раз определяем ребро ветвления путем нахождения оценок для нулевых клеток (таблица 55):

$$d(6,7) = 20 + 0 = 20;$$

$$d(7,9) = 0 + 20 = 20;$$

$$d(7,6) = 0 + 37 = 37;$$

$$d(10,7) = 37 + 0 = 37.$$

Таблица – 55 Определение ребра ветвления

| $ij$  | 6     | 7     | 9     | $d_i$ |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| 6     | M     | 0(20) | 20    | 20    |
| 7     | 0(37) | M     | 0(20) | 0     |
| 10    | 37    | 0(37) | M     | 37    |
| $d_j$ | 37    | 0     | 20    | 0     |

Наибольшая сумма констант приведения равна  $(37 + 0) = 37$  для ребра  $(10,7)$ , значит, множество разбивается на два подмножества  $(10,7)$  и  $(10^*,7^*)$ . В данном случае, исключаем ребро  $(10,7)$  путем замены элемента  $d_{107} = 0$  на  $M$ , после чего снова проводим приведение матрицы расстояний для образовавшегося подмножества  $(10^*,7^*)$ , в результате получим редуцированную матрицу (таблица 56).

Таблица – 56 Редуцированная матрица для подмножества  $(10^*,7^*)$

| $ij$  | 6  | 7 | 9  | $d_i$ |
|-------|----|---|----|-------|
| 6     | M  | 0 | 20 | 0     |
| 7     | 0  | M | 0  | 0     |
| 10    | 37 | M | M  | 37    |
| $d_j$ | 0  | 0 | 0  | 37    |

Нижняя граница гамильтоновых циклов этого подмножества равна:  $H(10^*,7^*) = 2246 + 37 = 2283$ . Далее включаем ребро  $(107)$  путем исключения всех элементов 10-ой строки и 7-го столбца, где элемент  $d_{710}$  заменяем на  $M$ , для исключения образования не гамильтонова цикла. Таким образом, получаем другую сокращенную матрицу размером  $2 \times 2$ , над которой необходимо провести операцию приведения (таблица 57).

Таблица – 57 Сокращенная матрица  $2 \times 2$  после операции приведения

| $ij$  | 6 | 9  | $d_i$ |
|-------|---|----|-------|
| 6     | M | 20 | 20    |
| 7     | 0 | 0  | 0     |
| $d_j$ | 0 | 0  | 20    |



Сумма констант приведения в матрице и нижняя граница подмножества (10,7) равна:

$$H = \sum d_i + \sum d_j = 20,$$

$$H(10,7) = 2246 + 20 = 2266 \leq 2283.$$

В связи с тем, что нижняя граница подмножества (10,7) меньше, чем подмножества (10\*,7\*), то ребро (10,7) включается в маршрут с новой границей  $H = 2266$ . Также в соответствии с данной матрицей в гамильтонов маршрут включаются ребра (6,9) и (7,6).

Таким образом, выполнив алгоритм Литтла дважды и вернувшись к прежнему плану X1, а затем проделав этот же алгоритм еще 8 раз и вернувшись уже к плану X7, мы, наконец-то, выполнив его еще 6 раз, пришли к матрице 2×2, после решения которой мы пришли к наилучшему варианту решения.

Таким образом, по дереву ветвлений гамильтонов цикл образуют следующие ребра (рисунок 3.2.1): (1,3), (3,12), (12,11), (11,8), (8,2), (2,10), (10,7), (7,6), (6,9), (9,13), (13,5), (5,4), (4,1), а длина маршрута составляет  $F(M_k) = 2668$  (мор. миль). Итоговый маршрут представлен в таблице 58 и на рисунке 13.

Таблица – 58 Итоговый маршрут судна по акваториям Баренцева и Белого морей

| Направление            | Пункт отправления | Пункт назначения | Расстояние, мор. мили |
|------------------------|-------------------|------------------|-----------------------|
| 1 → 3                  | Архангельск       | Н. Золотица      | 86                    |
| 3 → 12                 | Н. Золотица       | Рогачево         | 462                   |
| 12 → 11                | Рогачево          | Белушья          | 19                    |
| 11 → 8                 | Белушья           | Амдерма          | 253                   |
| 8 → 2                  | Амдерма           | Нарьян-Мар       | 301                   |
| 2 → 10                 | Нарьян-Мар        | Грибовая         | 255                   |
| 10 → 7                 | Грибовая          | Индига           | 78                    |
| 7 → 6                  | Индига            | Нижняя Пеша      | 106                   |
| 6 → 9                  | Нижняя Пеша       | м. Святой Нос    | 288                   |
| 9 → 13                 | м. Святой Нос     | Мурманск         | 188                   |
| 13 → 5                 | Мурманск          | Шойна            | 278                   |
| 5 → 4                  | Шойна             | Мезень           | 124                   |
| 4 → 1                  | Мезень            | Архангельск      | 230                   |
| ИТОГО КРУГОВОЙ МАРШРУТ |                   |                  | 2668                  |

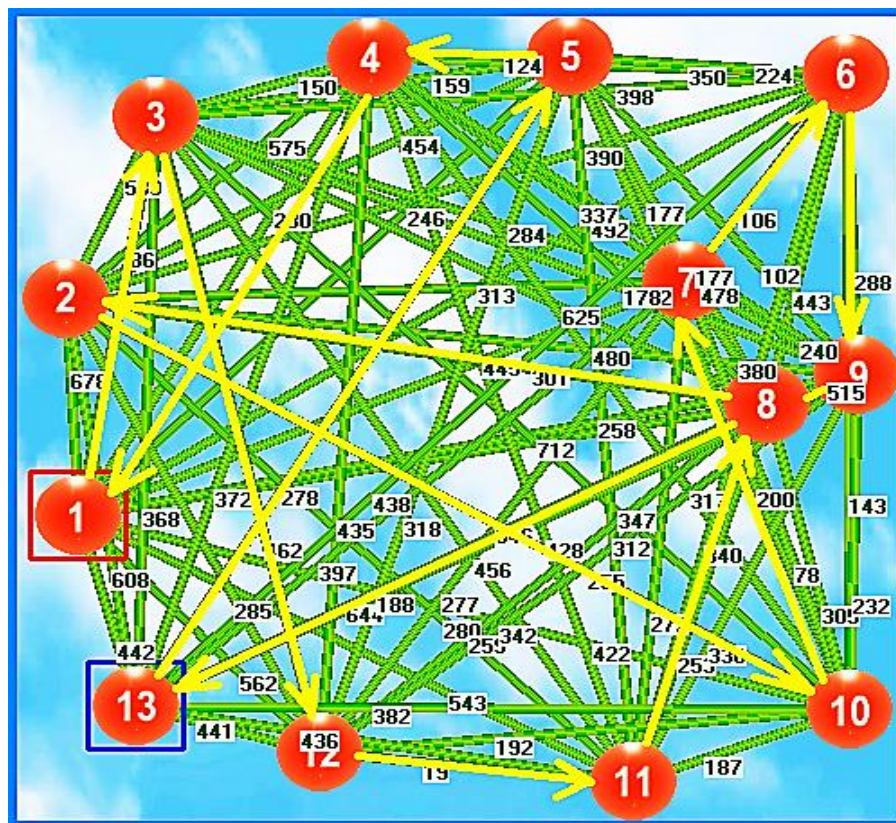


Рисунок 13 – Маршрут судна по решению задачи коммивояжера



Рисунок 14 – Итоговый маршрут судна по акваториям Баренцева и Белого морей

Таким образом, по сравнению с произвольным маршрутом  $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 5 \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow 8 \rightarrow 9 \rightarrow 10 \rightarrow 11 \rightarrow 12 \rightarrow 13 \rightarrow 1$  (Архангельск  $\rightarrow$  Нарьян-Мар  $\rightarrow$  Н. Золотица  $\rightarrow$  Мезень  $\rightarrow$  Шойна  $\rightarrow$  Нижняя Пеша  $\rightarrow$  Индига  $\rightarrow$  Амдерма  $\rightarrow$  м. Святой Нос  $\rightarrow$  Грибовая  $\rightarrow$  Белушья  $\rightarrow$  Рогачёво  $\rightarrow$  Мурманск  $\rightarrow$  Архангельск) длиной в 4087 мор. мили мы нашли наилучший маршрут ротации судна  $1 \rightarrow 3 \rightarrow 12 \rightarrow 11 \rightarrow 8 \rightarrow 2 \rightarrow 10 \rightarrow 7 \rightarrow 6 \rightarrow 9 \rightarrow 13 \rightarrow 5 \rightarrow 4 \rightarrow 1$  (Архангельск  $\rightarrow$  Н. Золотица  $\rightarrow$  Рогачёво  $\rightarrow$  Белушья  $\rightarrow$  Амдерма  $\rightarrow$  Нарьян-Мар  $\rightarrow$  Грибовая  $\rightarrow$  Индига  $\rightarrow$  Нижняя Пеша  $\rightarrow$  м. Святой Нос  $\rightarrow$  Мурманск  $\rightarrow$  Шойна  $\rightarrow$  Мезень) равный 2668 мор. миль (рисунок 14), что в 1,5 раза меньше по сравнению с произвольным. Данный метод позволит значительно сократить не только время фрахтователя, но и ресурсы, позволив тем самым сделать большее количество рейсов.

### 3 Формирование плана рейдовой выгрузки судна

#### 3.1 Особенности беспричальной обработки судов

Рейс судна-снабженца в пункты беспричальной обработки Арктического бассейна имеет ряд своих особенностей, таких как:

- большое количество пунктов захода;
- разнообразие перевозимого груза;
- необходимость использования бортовых плавучих (самоходных) рейдовых плавсредств (РПС);
- работа судна в ледовых условиях часто с обеспечением ледовой проводки;
- открытость мест грузовых работ и быстро меняющиеся погодные условия.

В связи с вышеизложенным, к судну-снабженцу выдвигаются следующие требования:

- такие качества, как ледопробиваемость и прочность корпуса, не должно уступать по своим характеристикам судам типа «Витус Беринг» (рисунок 15, таблица 59), которое далее мы будем использовать для расчётов;
- судно должно быть открытого типа и приспособлено к переработке грузов на рейде, на ледовый причал и в необорудованных пунктах;
- грузовые помещения судна должны быть приспособлены как для перевозки всей номенклатуры генеральных грузов, так и контейнеров международного стандарта;
- также судно должно иметь возможность: принять на борт, перевезти морем, спустить на воду и производить грузовую обработку у своего борта комплекта РПС. В связи с этим грузоподъемность судового грузового устройства для подъема и спуска плавсредств должна быть около 60 т (из расчета применения средств доставки грузоподъемностью 15 – 50 т);

– грузовые устройства судна должны быть рассчитаны на обработку грузовых мест вплоть до контейнеров ISO 1СС, 1С, 1СХ с максимальной брутто-массой;

– в случае разгрузки судна с помощью вертолета должна быть предусмотрена возможность грузообработки отдельных участков верхней грузовой палубы судна, оборудованных соответствующим образом [24].

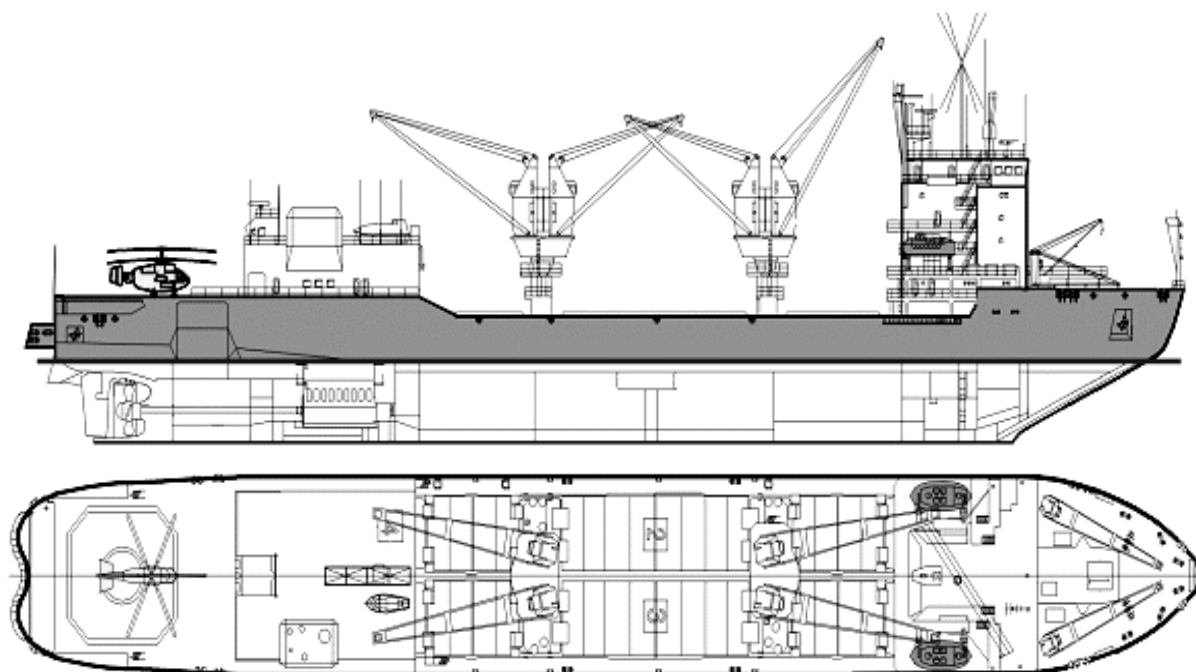



Рисунок 15 – Универсальное судно-снабженец типа «Витус Беринг»

При выборе судна-снабженца необходимо предусмотреть наличие на его борту соответствующего оборудования, способного обеспечить его эксплуатацию в экологически чистом режиме. Предпочтение отдается также судам-снабженцам, на которых базируется хотя бы один грузовой вертолет грузоподъемностью 5 т. Именно поэтому в данной работе выбран дизель-электроход «Витус Беринг» – головное многоцелевое ледокольно-транспортное судно-снабженец для Арктики.

Таблица – 59 Технические характеристики судна-снабженца «Витус Беринг» [41]

| № п/п | Параметр                                                             | Значение                                                                                                                                                         |
|-------|----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1     | Верфь-строитель                                                      | Херсонский судостроительный завод, СССР                                                                                                                          |
| 2     | Класс Регистра                                                       | РФ КМ  УПА <span style="border: 1px solid black; padding: 0 2px;">1</span> А2 |
| 3     | Длина наибольшая                                                     | 166,3 м                                                                                                                                                          |
| 4     | Ширина                                                               | 22,60 м                                                                                                                                                          |
| 5     | Осадка                                                               | 9,00 м                                                                                                                                                           |
| 6     | Валовая вместимость, т                                               | 13 514                                                                                                                                                           |
| 7     | Водоизмещение, т                                                     | 20 200                                                                                                                                                           |
| 8     | Дедвейт                                                              | 10 700 т                                                                                                                                                         |
| 9     | Грузоподъемность                                                     | 8900 т                                                                                                                                                           |
| 10    | Грузовместимость трюмов                                              | 15060 м <sup>3</sup>                                                                                                                                             |
| 11    | Контейнеровместимость                                                | 334 контейнеров (20-футовых)<br>(в т.ч. 28 рефрижераторных)                                                                                                      |
| 12    | Мощность                                                             | 13200 кВт (17920 э. л.с.)                                                                                                                                        |
| 13    | Эксплуатационная скорость                                            | 14 узлов                                                                                                                                                         |
| 14    | Район плавания                                                       | неограничен                                                                                                                                                      |
| 15    | Количество палуб / переборок                                         | 2 / 9                                                                                                                                                            |
| 16    | Количество и (суммарная) кубатура сухогрузных трюмов, м <sup>3</sup> | 1×3530; 1×3180; 1×3780; 1×4810                                                                                                                                   |
| 17    | Количество и (суммарная) кубатура наливных танков, м <sup>3</sup>    | 2×212                                                                                                                                                            |
| 18    | Экипаж (запасных мест), чел.                                         | 43 (14)                                                                                                                                                          |
| 19    | Дальность плавания, миль                                             | 10 000                                                                                                                                                           |

Строительство судов подобного типа было вызвано тем, что необходимо было заменить устаревшие суда типа «Амгуэма», а также тем, что суда типа «Норильск» из-за большой осадки не могли осуществлять снабженческие операции в некоторых районах Арктики. Судно «Витус Беринг» спроектировано специально для плавания во льдах за ледоколами таких типов, как «Капитан Сорокин» и «Арктика», а также самостоятельного плавания в сплошном ровном льду толщиной до 0,8 м при скорости в 1,5 узлов, также обеспечена возможность буксировки и толкания судна ледоколами.

Судно-снабженец «Витус Беринг» (тип судна) – это одновинтовой, двухпалубный, четырехтрюмный, ледокольно-транспортный дизель-электроход с баком и квартердеком, с носовым расположением надстройки и машинно-котельного отделения, приспособленное как для вертикальной, так и для горизонтальной грузообработки с помощью грузовых кранов, аппарели, судового вертолета, платформ на воздушной подушке, а также плавучих средств (РПС).

Данное судно предназначено для перевозки следующей номенклатуры грузов: генеральные, накатная техника (массой до 43,5 т); крупногабаритные (до 7×18 м) и тяжеловесные (массой до 48 т); рефрижераторные; жидкие грузы (два сорта дизельного топлива, в том числе с температурой вспышки ниже 43°С); каменный уголь, руда; горюче-смазочные и легковоспламеняющиеся материалы в таре; контейнеры международного стандарта; взрывоопасные.

На судне для осуществления грузовых операций установлены краны, предназначенные для работы при низких температурах наружного воздуха (до – 40°С): один для обслуживания рефрижераторных трюмов и трюма №1 – типа КЭГ 12518, электрогидравлический, грузоподъемностью 12,5/4,8 т, с вылетом стрелы за борт 6,8 м; и два сдвоенных крана для обслуживания трюмов № 2, 3, 4 типа 2КЭГ 12518, грузоподъемностью 25/9,6 т. Погрузка и выгрузка платформы на воздушной подушке, а также тяжеловесных грузов массой до 50 т осуществляются при помощи двух кранов типа 2КЭГ 12518 на траверсе.

Помимо этого, судно также укомплектовано рамами для погрузки 20- и 40-футовых контейнеров. Также к грузовым устройствам судна относится вер-

толетный комплекс, который состоит из двух вертолетов типа Ка-32 грузоподъемностью по 5 т и соответствующего оборудования.

Для проведения грузовых операций вертолетами имеются грузовые площадки, расположенные в носовой части (площадка № 1) и на палубе второго яруса ангара (площадки № 2 и 3). Подача грузов на площадки осуществляется с помощью грузовых кранов из всех трюмов и твиндеков, кроме трюма и твиндека № 2.

На люковых закрытиях трюмов № 2 и 3 данного судна можно РПС, а именно: платформы на воздушной подушке, плашкоуты или баржи типа «Славянка», не входящие в комплектацию судна [41].

Определим объем и количество погруженного груза в трюма судна-снабженца «Витус Беринг» (таблица 60). Данные объемы необходимы для решения расстановочной задачи. Рассчитаем показатели для каждого груза.

Таблица – 60 Распределение перевозимых грузов по трюмам

| Наименование груза            | № трюма | Объем трюма, м <sup>3</sup> | Количество погруженного груза |         |       |
|-------------------------------|---------|-----------------------------|-------------------------------|---------|-------|
|                               |         |                             | м <sup>3</sup>                | т       | шт    |
| Техимущество в ящиках         | 1       | 3530                        | 3529,9875                     | 651,69  | 7241  |
| Вещевое имущество в тюках     | 2       | 3180                        | 3180                          | 795     | 5300  |
|                               | 3       | 3780                        | 3780                          | 945     | 6300  |
| Бензин в металлических бочках | 4       | 4810                        | 4809,9                        | 2885,94 | 16033 |
| ИТОГО                         |         | 15300                       | 15299,8875                    | 5277,63 | 34874 |

1) Стандартный ящик с техимуществом имеет следующие габариты: 1500×500×650 мм и вес 90 кг. Тогда объем одного ящика составляет:

$$V = l \times b \times h = 1,5 \times 0,5 \times 0,65 = 0,4875 \text{ (м}^3\text{)}$$

Количество вмещаемых ящиков в трюм № 1:

$$N_1 = W / V = 3530 / 0,4875 = 7241,02564 = 7241 \text{ (шт)}$$



Количество погруженного груза в трюм № 1:

$$M_{gp} = N \times m = 7241 \times 90 / 1000 = 651,69 \text{ (т)}$$

Объем погруженного груза в трюм № 1:

$$V_{gp} = N \times V = 7241 \times 0,4875 = 3529,9875 \text{ (м}^3\text{)}$$

2) УПО данного груза – 4,0 м<sup>3</sup>/т. Чтобы определить количество погруженного груза необходимо объем трюма ( $W$ ) разделить на УПО погружаемого груза ( $v = V/m$ ), таким образом, получаем:

$$Q_2 = W/v = 3180 / 4 = 795 \text{ (т)}$$

$$Q_3 = W/v = 3780 / 4 = 945 \text{ (т)}$$

При этом вес одного тюка составляет  $m = 150 \text{ кг} = 0,15 \text{ т}$ , тогда объем одного тюка будет равен:

$$V = v * m = 4 \times 0,15 = 0,6 \text{ (м}^3\text{)}$$

Тогда в трюма № 2 и № 3 поместится следующее количество груза:

$$N_2 = W/V = 3180 / 0,6 = 5300 \text{ (шт.)}$$

$$N_3 = W/V = 3780 / 0,6 = 6300 \text{ (шт.)}$$

3) Габариты металлической бочки с бензином: диаметр наружный – 594 ± 3 мм, высота бочки – 845 ± 5 мм. Вес около 180 кг. Тогда объем одного грузового места:

$$V = d \times h = 0,594 \times 0,594 \times 0,845 = 0,29814642 = 0,3 \text{ (м}^3\text{)}$$

Количество вмещаемых бочек в трюм № 4:

$$N_4 = W / V = 4810 / 0,3 = 16033,33 = 16033 \text{ (шт.)}$$

Количество погруженного груза в трюм № 4:

$$M_{gp} = N \times m = 16033 \times 180 / 1000 = 2885,94 \text{ (т)}$$

Объем погруженного груза в трюм № 4:

$$V_{gp} = N \times V = 16033 \times 0,3 = 4809,9 \text{ (м}^3\text{)}$$

Таким образом, загрузка судна была произведена с учетом его грузоподъемности.

### 3.2 Организация и технология обработки судна на рейде

На судах устанавливаются различные грузовые устройства, а также приспособления и иные специальные технологические средства для производства погрузочно-разгрузочных работ, передачи грузов на рейдах и в необорудованных портах. При контактном способе передачи грузов, то есть непосредственно с борта на борт, применяются судовые краны и грузовые стрелы.

Этот способ является самым быстрым и удобным при стоянке на тихой воде. На ошвартованных друг к другу судах передача грузов осуществляется в трех вариантах, используя для передачи грузов судовые стрелы: при стоянке на якоре, в дрейфе и на ходу.

Но при обработке судна на рейде из-за сложности использования даже при небольшом волнении обычно не применяются средства внутритрюмной механизации. В береговом и складском звеньях используются передвижные

краны на колесном или гусеничном ходу, конвейеры, автопогрузчики, рольганги и др.

Причалное оборудование состоит из временных причалов (плашкоуты, понтоны, баржи-площадки), которые предназначены для стоянки РПС у берега во время проведения на них погрузо-разгрузочных работ.

Транспортные средства на берегу (грузовые автомобили, транспортеры повышенной проходимости) используют для перевозки грузов на участке «берег – склад» или обратно.

Расстановка РПС у борта зависит от наличия волнения на рейде, при котором РПС швартуются с подветренного борта судна. В этом случае стремятся максимально использовать судовые грузовые устройства, для чего на каждый люк устанавливают по одному РПС, если позволяет их длина и не затруднены условия их подхода и отхода от судна (рисунок 16, а). При достаточной длине РПС возможна их установка на два смежных люка (рисунок 16, б). При отсутствии волнения на рейде возможна установка РПС с обоих бортов судна в шахматном порядке (рисунок 16, в) [24].

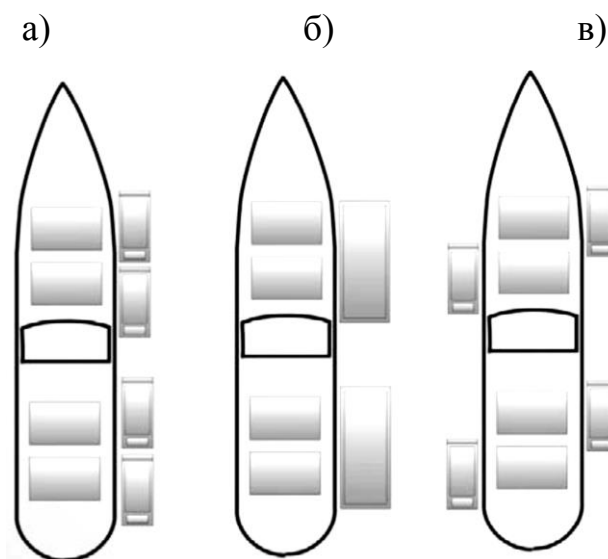


Рисунок 16 – Схемы расположения РПС у борта обрабатываемого транспортного судна: а – с одного борта на каждый люк; б – с одного борта на смежные люки; в – с обоих бортов

С учетом местных условий, наличия подвижных технических средств, типа и конструктивных особенностей судна, а также вида перегружаемых грузов определяется организация и технология обработки сухогрузного судна на рейде. На основании технологической схемы перегрузки грузов рассчитывается количество подвижных технических средств (ПТС), необходимое для обработки судна. Так, в обеспечении заданной (расчетной) интенсивности грузовых работ во всех звеньях и участках перегрузочного процесса заключается общий принцип расчета потребности в ПТС.

При рейдовой выгрузке данного груза будут использованы самоходные плашкоуты (рисунок 17, таблица 61), которые носом выходят на песчаный или галечный берег для разгрузки тарно-штучных грузов или техники и осыхают по отливу. Вне периодов навигации плашкоуты могут храниться на берегу [24].

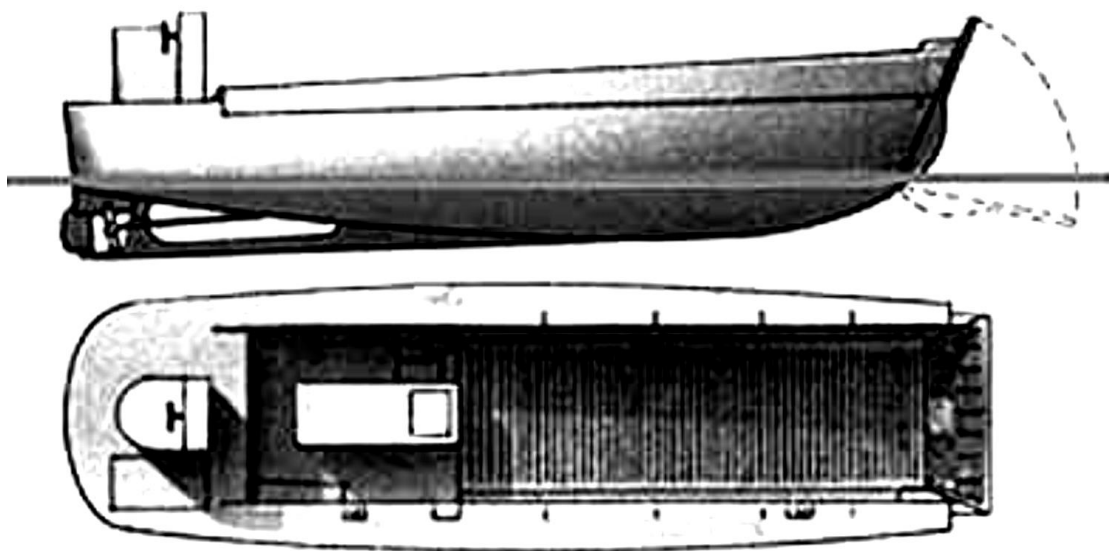


Рисунок 17 – Самоходный плашкоут

Так как нам необходимо выгрузить на берег  $V_{gp} = 15299,8875 \approx 15300 \text{ м}^3$  груза, что соответствует 5277,63 т. С учетом характеристики плашкоута и необходимого количества груза, нам необходимо будет выполнить следующее ко-

личество ездов (или столько плашкоутов потребуется для выгрузки данного груза):

$$N = V_{гр.} / V_{плашкоута} = 15300 / 264 = 57,95454545 \approx 58 \text{ (ед.)}$$

Таблица – 61 Основные характеристики самоходного плашкоута [41]

| № п/п | Показатель                                           | Значение |
|-------|------------------------------------------------------|----------|
| 1     | Длина, м                                             | 24,8     |
| 2     | Ширина, м                                            | 6,5      |
| 3     | Высота борта, м                                      | 2,20     |
| 4     | Осадка наибольшая, м                                 | 1,4      |
| 5     | Мощность дизельного или бензинового двигателя, л.с.  | 250      |
| 6     | Скорость (в грузу), уз.                              | 8        |
| 7     | Чистая грузоподъемность, т                           | 100      |
| 8     | Вес, т                                               | 40       |
| 9     | Грузовместимость ( $V_{плашкоута}$ ), м <sup>3</sup> | 264      |

При планировании рейдовой обработки судов необходимо произвести расстановку судов по рейдовым причалам, а РПС по обрабатываемым судам, определить время начала и окончания их обработки, распределить рабочих, транспортные средства и перегрузочное оборудование по причалам, судам и технологическим линиям, а также порядок завоза (вывоза) грузов и т. д.

Для ряда отдельных морских бассейнов одним из самых распространенных способов обработки судов является обработка судна на рейде, в виду того что у судов отсутствует возможность подхода непосредственно к берегу, на котором не оборудованы временные причалы из-за сложности их установки и устройства или нехватки средств на их сооружение. Крайне редко данный способ применяется на речных бассейнах. В основном его используют только для разгрузки судов на устьевых участках рек [24].

### 3.3 Построение оптимального плана для функционирования транспортной сети путем описания объекта планирования через систему взаимосвязанных экономико-математических моделей планирования работы отдельных звеньев на видах транспорта

На основе системы взаимосвязанных экономико-математических моделей планирования работы отдельных звеньев на видах транспорта может быть организован многоступенчатый процесс планирования. Данный процесс подразумевает, что на каждой ступени будет обрабатываться лишь часть информации и решаться локальные задачи функционирования транспортной системы [42].

Ученым А.П. Тронем был проведен ряд исследований, которые показали, что определение количественных показателей производственного процесса локальных транспортных систем целесообразно производить путем решения остановочных задач на транспортной сети, основывающихся, как правило, на транспортной задаче об оптимальном плане перевозок однородной продукции из пунктов производства в пункты потребления. Очевидно, что, поскольку вновь формируемые локальные транспортные системы (ЛТС) являются по своему уникальными и планирование работы их элементов предусматривает разработку отдельных математических моделей представляется необходимым синтезировать базовую, то есть опорную, математическую модель остановочных задач для систем рассматриваемых уровней сложности. В этом случае для обоснования решений в каждом конкретном случае достаточно будет произвести модификацию базовой модели с учётом особенностей ЛТС и её внешней среды [42].

Анализ особенностей функционирования больших и особо больших транспортных систем позволяет сделать вывод о необходимости совместного решения в интересах грузовладельца двух взаимосвязанных задач – остановочной (распределительной) и определение позиции распределительных центров.

Указанная установочная задача в общем виде представляет собой модификацию транспортной и может быть задана исходными матрицами [42]:

– провозной способности транспортных средств (с учетом пропускных способностей перегрузочных пунктов и подпунктов сообщения):  $\Pi = \{\pi_{ij}\}$ ,  $m/сут$ ;

– транспортных издержек  $C = \{c_{ij}\}$  – для транспортных средств каждого  $i$ -го типа при их эксплуатации на любом  $j$ -ом направлении ( $i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m$ ), руб.;

– объемов перевозок грузов  $g$ -ой номенклатуры на направлениях:  $Q = \{q_{gj}\}$  ( $g = 1, \dots, p$ ), руб.;

– вектор-бюджетом времени транспортных средств  $T = (T_1, \dots, T_n)$ , сут.

При этом  $\pi_{ij} \geq 0$ ,  $c_{ij} \geq 0$ ,  $q_{gj} \geq 0$ .

Обычная последовательность действий, направленных на подготовку исходных данных и машинное решение оптимизационной задачи, определяемой моделью, представляет собой методику определения качественных показателей производственного процесса ЛТС.

Вместе с тем, задаваемые в качестве исходных данных значения объемов перевозок в функциональные периоды, определяющие соответствующие их порционность и ритмичность, обуславливаются потребностями грузополучателей и взаимозависят как от общих возможностей транспорта, так и от возможностей грузоотправителя и грузополучателя по временному хранению груза. Таким образом, требуется определение общей технологии производственного процесса ЛТС, взаимоувязывающей потребности грузополучателей, а также технологии перевозки, грузопереработки и хранения [42].

Итак, нам необходимо в заданные сроки развести заданные объёмы груза по заданным направлениям, то есть используется базово-кустовая транспортно-логистическая система (далее – ТЛС). Ключевая цель – это постановка и решение поставленных задач в интересах грузовладельца. Борьба за грузоотправителя всегда была главной функцией портов и любых других транспортных организаций.

Для этого необходимо разработать общую математическую модель, которая будет походить для каждого пункта выгрузки.

Для того чтобы это сделать прибегнем к линейному программированию.

Во-первых, сформируем систему условных обозначений (далее – СУО), которая делится на три составляющих, а именно: признаки, показатели и переменные.

Признаком в данной модели называется индекс (т.е. порядковый номер), обозначающий показатель одного рода, при этом признак обозначается прописной буквой латинского алфавита. Показатели обозначаются одной заглавной буквой латинского алфавита.

Во-вторых, сформируем математическую систему задач (формулы).

В-третьих, представляем численные данные в матрицу из программы M<sub>IX</sub> Integer 88, соблюдая физический смысл переменных.

В-четвертых, получаем машинное решение задачи.

И наконец, в-пятых, интерпретируем машинное решение на русский язык.

Итак, перейдем непосредственно к построению самой модели. В таблице 62 приведена система условных обозначений.

Таблица – 62 Система условных обозначений

| СИСТЕМА УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ |                                                                          |                        |                                                         |                        |                                                    |
|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|------------------------|---------------------------------------------------------|------------------------|----------------------------------------------------|
| ПРИЗНАКИ                     |                                                                          | ПОКАЗАТЕЛИ             |                                                         | ПЕРЕМЕННЫЕ             |                                                    |
| <i>s</i>                     | транспортное средство (ТС)                                               | <i>Q</i>               | заданный объем перевозки, т                             | <i>r</i>               | количество круговых рейсов, обрабатываемых ТС, ед. |
|                              |                                                                          | <i>D<sub>s</sub></i>   | грузоподъемность ТС, т                                  |                        |                                                    |
| <i>p</i>                     | пункта (района) завоза (потребления), т.е. направление перевозки         | <i>α</i>               | коэффициент использования грузоподъемности, дес. дробь  |                        |                                                    |
|                              |                                                                          | <i>t<sup>p</sup></i>   | время кругового рейса, обрабатываемого ТС, сут.         |                        |                                                    |
| <i>g</i>                     | номенклатура груза                                                       | <i>T<sup>ПЕР</sup></i> | заданный период выполнения перевозки, сут.              | <i>n<sup>ОТП</sup></i> | количество отправок необрабатываемых ТС, ед.       |
|                              |                                                                          | <i>R</i>               | возможное количество рейсов обрабатываемого ТС, ед.     |                        |                                                    |
| <i>h</i>                     | технологии перевозки                                                     | <i>N<sup>ОТП</sup></i> | возможное количество отправок необрабатываемых ТС, ед.  |                        |                                                    |
| <i>f</i>                     | форма привлечения ТС ( <i>f</i> = 1 – арендная; <i>f</i> = 2 – рейсовая) | <i>Φ</i>               | стоимость кругового рейса обрабатываемого ТС, руб./рейс |                        |                                                    |
|                              |                                                                          | <i>Φ<sup>ОТП</sup></i> | стоимость отправки необрабатываемого ТС, руб./отправку  |                        |                                                    |
|                              |                                                                          | <i>Φ<sup>ПР</sup></i>  | стоимость суток простоя ТС, руб./сут.                   |                        |                                                    |



Математическая модель расстановочной задачи принимает следующий вид (формулы 2 – 11):

1) Заданное количество груза, которое должно быть перевезено:

$$\sum_s \sum_f \sum_h D_{spfgh} \cdot \alpha_{sgh} \cdot r_{spfgh} + \sum_s \sum_h D_{spfgh} \cdot \alpha_{sgh} \cdot n_{spgh}^{OT\Pi} \geq Q_{pg}, \quad (2)$$

2) Бюджет времени транспортных средств, который необходимо выдержать:

$$\sum_p \sum_f \sum_g \sum_h t_{sp f=1 gh}^P \cdot r_{spfgh} + t_{s f=1}^{PP} = T_s^{ПЕР} \cdot n_{s f=1}, \quad (3)$$

$$\sum_p \sum_f \sum_g \sum_h t_{sp f=2 gh}^P \cdot r_{spfgh} \leq T_s^{ПЕР} \cdot n_{s f=2}. \quad (4)$$

3) Обращаемые транспортные средства должны быть привлечены на альтернативной основе:

$$n_{s f=1} + n_{s f=2} \geq 1, \quad (5)$$

$$n_{sf} = \begin{cases} 0 \\ 1 \end{cases} \quad (6)$$

4) Возможности транспортных средств не должны быть превышены:

$$r_{spfgh} \leq R_{spgh}, \quad (7)$$

$$n_{spgh}^{OT\Pi} \leq N_{spgh}^{OT\Pi}. \quad (8)$$

5) Физический смысл переменных предполагает их неотрицательность и целочисленность:

$$r_{spfgh} \geq 0, n_{spgh}^{OT\Pi} \geq 0, t_{s f=1 gh}^{PP} \geq 0, \quad (9)$$

$$r_{spfgh} \in Z, n_{spgh}^{OT\Pi} \in Z. \quad (10)$$

б) Целевая функция модели минимизирует общие расходы на выполнение перевозки и принимает вид:

$$\sum_s \sum_p \sum_f \sum_g \sum_h \Phi_{spfgh} \cdot r_{spfgh} + \sum_s \sum_p \sum_g \sum_h \Phi_{spgh}^{\text{ОТП}} \cdot n_{spgh}^{\text{ОТП}} +$$

$$+ \sum_s \Phi_{sf=1}^{\text{ПП}} \cdot t_{sf=1}^{\text{ПП}} \rightarrow \min \quad (11)$$

Приведенная модель решается с помощью современной версии MS Excel методами смешанного целочисленного линейного программирования.

Цель моделирования – это комплексное описание процесса в производственной деятельности ЛТС для решения оптимизационной задачи по выбору транспортных средств, форм их привлечения, технология перевозки грузов различных номенклатур и распределительных центров (РЦ), расстановки транспортных средств на маршрутах между РЦ с учетом их согласованного взаимодействия, обеспечивающего как выполнение объемов перевозок в заданные сроки, так и минимизации потерь провозной и пропускной способности элементов ЛТС. Полученное значение представляет собой количественные показатели производственного процесса ЛТС [42].

Таким образом, мы рассмотрели на данном этапе две возможности для оптимизации – это оптимизация рейсовых заданий и оптимизация технологических процессов при рейдовой выгрузке судна, что позволяет нам сэкономить, в первую очередь, время, так как суда, эксплуатируемые для данных целей в районах Арктики, находятся в арендной форме привлечения.

#### 4 Мероприятия по обеспечению безопасной жизнедеятельности и охране окружающей среды

Для работы на СМП необходимы специализированные суда ледового класса: для зимнего сезона – это суда усиленного ледового класса и танкеры только с двойным корпусом. Кроме того, суда, эксплуатируемые в Арктике, должны иметь дополнительное аварийное снабжение и управляться командным составом, который специально подготовлен для работы в данном регионе.

Перед началом любых работ в пункте погрузки/выгрузки администрация транспортного судна проводит с членами бригад, которые сформированы из членов экипажей транспортного судна, а также экипажей средств доставки грузов и рабочих клиентуры, внеочередной инструктаж по безопасным методам производства погрузочно-разгрузочных работ. При производстве грузовых операций рабочими клиентуры инструктаж с членами бригад, в том числе с экипажами средств доставки грузов, проводит представитель клиентуры. Ответственность за безопасность труда работающих и учет несчастных случаев руководство возлагает на каждую сторону (т.е. на администрацию транспортного судна, администрацию плавсредства и клиентуру) за ту часть грузовых работ, которую они должны выполнять по технологической схеме, что фиксируется в протоколе согласовательного совещания. Непосредственное руководство и обеспечение требований безопасности труда при производстве грузовых работ возлагается на руководителей судовой и береговой бригад.

Вахтенная служба транспортного судна осуществляет оперативное руководство транспортной операцией, а непосредственное руководство, обеспечение выполнения требований техники безопасности, качества и сохранности груза в пути от борта судна до берега – возложено на капитана РПС.

Ответственность за техническую эксплуатацию плавсредств и перегрузочной техники (самоходный плашкоут, платформа на воздушной подушке, самоходная баржа, катер-буксировщик с понтоном, ПТС, трактор с саями и контейнером и т.д.) возлагается на членов их экипажей. На экипаж судна возлагается ответственность за техническую эксплуатацию средств технологической

оснастки, используемой на борту транспортного судна (стропы, захваты, подвески крановые, грейферы и т.д.) в процессе грузовых работ. Технологическая оснастка и средства укрупнения грузовых мест доставляются в рабочую зону кранами (грузовыми стрелами), причем средства укрупнения (поддоны, контейнеры, ковши, сетки и т.д.) доставляются в ограниченном количестве с тем, чтобы не загромождать рабочую площадку.

После осмотра и оценки состояния груза производится снятие крепления, а сам крепежный материал немедленно удаляется в специально отведенное для него место. При этом раскрепление груза в трюме и на палубе производится в таком количестве, какое могут принять на себя одновременно подаваемые к борту судна средства доставки грузов на берег. По мере подачи плавсредств к борту судна происходит дальнейшее раскрепление груза, чтобы избежать излишних операций по креплению-раскреплению груза в случае неожиданного снятия судна с якоря по метеорологическим причинам [43].

Непосредственное руководство транспортной операцией и контроль за соблюдением правил техники безопасности осуществляют: руководитель судовой бригады, назначенный капитаном судна и выполняющий погрузку средств доставки (на этапе перегрузки и крепления груза); капитан РПС (в пути от борта транспортного судна до берега); руководитель береговой бригады, которая была сформирована капитаном судна из членов экипажа и привлечена к работам по договору (трудовому соглашению) с клиентурой или непосредственно сформированной клиентурой (на этапе раскрепления и выгрузки на берег).

При передаче грузов с судна на необорудованный берег, когда судно снабжения должно быть неподвижным относительно места приема груза на берегу, необходимо: обеспечить неподвижность судна при сильном ветре и наличии течения; учесть приливные и отливные явления; установить приемное устройство на берегу; опустить груз без удара у берегового приемного устройства; выполнить переброску и съем несущего и тягового канатов; осуществить быстрый переход от передачи сухих грузов к передаче жидких и т.д. [24].

В данной работе перевозятся три номенклатуры грузов, две из которых относятся к опасным грузам (ОГ). Свойства ОГ требуют четкой регламентации условия перевозки, которая производится путем разработки международных соглашений и национальных правил. Таким образом, перевозка ОГ на судах морского флота производится с обязательным соблюдением требований следующих нормативных документов: гл. VII Международной конвенции по охране человеческой жизни на море 1974 г. (СОЛАС – 74) [21]; Международный кодекс морской перевозки опасных грузов, ИМО, 1977 г. [44], МК МПОГ с учетом последующих дополнений [22]; Правил безопасной перевозки радиоактивных веществ, МАГАТЭ, 1973 г. [45]; Правил морской перевозки опасных грузов (МОПОГ), 1977 г. [16]; Правила безопасности при транспортировании радиоактивных веществ (ПБТРВ – 73) 1974 г. [46]; Нормы радиоактивной безопасности (НРБ – 69) 1972 г. [47]; Основные санитарные правила работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений (ОСП – 72) 1973 г. [48]; ГОСТ 19433 – 81 «Грузы опасные. Классификация и знаки опасности» [49].

С учетом этих документов, при перевозке опасных грузов особые требования предъявляются не только к техническому оборудованию судов, но также предъявляется и комплекс требований к подготовке судового экипажа. Экипаж судна, на котором должны перевозить ОГ, обязан заблаговременно пройти инструктаж по технике безопасности и производственной санитарии в соответствии с Положением об инструктаже и обучении безопасным приемам и методам работы на морском транспорте. При этом работников инструктируют об опасности груза, мерах предосторожности, обучают безопасным методам работы, методам оказания первой помощи пострадавшим и пользованию средствами индивидуальной защиты. Кроме того, лица, привлекаемые к работе с ОГ, должны быть старше 18 лет и проходить предварительно медицинский осмотр. К работе с ОГ не допускаются лица с больной кожей, ссадинами, ожогами и лица в нетрезвом состоянии. В местах производства работ с ОГ должна быть аптечка первой доврачебной помощи.

Администрация судна обязательно обеспечивает членов экипажа индивидуальными средствами защиты, которые должны включать средства защиты органов дыхания, глаз и защитную одежду. Члены аварийной партии проходят специальное обучение приемам и методам аварийных работ с ОГ, применению средств защиты и использованию приборов контроля. После обучения специальной комиссией определяется готовность членов аварийной партии к работе с ОГ и после прохождения данной проверки выдает удостоверение установленного образца [13].

В процессе перевозки и перегрузки ОГ необходимо строго выполнять весь комплекс требований Правил МОПОГ, который предъявляется к экипажу, оборудованию судна и его снабжению и делится на три группы: меры предупреждения возникновения опасности; действия экипажа в аварийной ситуации; ликвидация последствий аварийного происшествия. К общим мерам относятся: исключение возможности образования взрыво- и огнеопасных смесей перевозимого вещества с воздухом, окисляющими и другими веществами, способствующими возгоранию; обеспечение условий для быстрой ликвидации очагов возгорания; хранение горючих материалов вдали от любых источников воспламенения и нагревания; немедленная передача на берег груза в поврежденной таре со следами утечки или рассыпания; предотвращение случайных повреждений упаковок; размещение ОГ таким образом, чтобы в случае пожара к ним можно было легко подойти и перенести их в безопасное место; категорическое запрещение курения в огнеопасных зонах; предотвращение возможности замыканий и искрений электросети. Работающий с огнеопасными грузами плавсостав и портовые рабочие не должны иметь при себе спичек и зажигалок. Комингсы люков, пайолы под просветом люков и палубы в районах производства грузовых работ покрывают матами или обшивают досками, чтобы не могли образоваться искры от трения тросов или обручей. Для грузовых работ используют стропы только из растительных или синтетических волокон. Грузовые места с огнеопасным грузом располагают равномерно по всему пайолу трюма и

надежно крепят, чтобы они не могли перемещаться при толчках или качке и ударяться друг о друга или о набор судна.

Капитан несет полную ответственность за соблюдение в процессе перевозки всех требований Правил МОПОГ, и поэтому до начала погрузки он проверяет готовность судна к перевозке данной категории ОГ и наличие исправных средств защиты экипажа от соответствующих видов опасности; производит инструктаж и проверяет знания членами экипажа характера опасности и правил обращения с данным ОГ, мерах предосторожности, техники безопасности и противопожарной техники; проверяет исправность всех систем пожаротушения и выставляет обученную вахту на посты управления системами пожаротушения; проверяет правильность составления грузового плана и утверждает его; следит за точным соблюдением технологии ПРР всеми участниками перегрузочного процесса; обеспечивает проверку правильности оформления грузовых документов и получение необходимых инструкций от грузоотправителя; обеспечивает постоянное наблюдение за грузом в процессе перевозки и готовности как экипажа, так и судовых средств к немедленному действию в случае аварийной ситуации. Капитан лично руководит операциями по ликвидации аварийных происшествий. Старший помощник капитана вместе со старшим механиком разрабатывают план мероприятий на случай ликвидации аварийных ситуаций и проводят учебные тренировки личного состава. Старший механик обеспечивает готовность судовых систем и средств к борьбе с пожаром или ликвидации последствий аварийных происшествий на протяжении всего рейса. Кроме того, старший помощник капитана вместе с судовым врачом и специалистами СЭС до начала погрузки ОГ определяют комплекс мероприятий по санитарной безопасности применительно к перевозимым грузам, доводят до сведения членов экипажа меры первой медицинской помощи при несчастных случаях, имеют в готовности все необходимые медицинские препараты и средства, следят за соблюдением санитарных правил в жилых и служебных помещениях и всегда готовы оказать немедленную медицинскую помощь пострадавшему. Второй помощник капитана отвечает за правильную приемку, размещение, перевозку и

выгрузку ОГ. То есть все мероприятия, которые проводятся на судне при подготовке к перевозке ОГ, следует оформлять приказом капитана по судну с указанием ответственных лиц за их выполнение [16].

Грузить ОГ необходимо в хорошо вентилируемые грузовые помещения, а также вывешивать у вытяжных отверстий таких помещений предупредительные знаки и надписи: «Взрывоопасно!», «Огнеопасно!» и т.п. Режим вентиляции грузовых помещений должен обеспечивать в трюмах допустимый уровень концентрации газов или паров. Поэтому в воздушной среде грузовых помещений на судах, перевозящих ОГ, для контроля концентрации паров и газов устанавливается стационарная система газоанализаторов. Если такой системы нет, то используются переносные газоанализаторы типа «УГ-2», «ГХ-4», «ШИ-3».

Так как одним из опасных грузов выступает техимущество, относящееся к 1 классу опасности – взрывоопасные вещества (ВВ), а вторым – бензин в бочках, относящийся к 3 классу опасности (3.1) – ЛВЖ, то соблюдение техники безопасности и правил перевозки обязательны. Требования к перевозке ВВ более строгие, и требуют для своей перевозки специально оборудованных судов. Поэтому рассмотрим данные требования более подробно.

Определенный комплекс подготовительных мероприятий выполняется перед постановкой судна под погрузку, а именно: грузовые трюмы зачищают, моют и сушат; проверяют в действии всё оборудование грузовых помещений (осушительную систему, системы пожаротушения и системы пожарной сигнализации); обесточивают всю электропроводку, проходящую через грузовые помещения; приказом капитана устанавливаются места курения и объявляется состав пожарной вахты; проверяется техническое состояние грузовых средств и наличие документов на право их использования; переборки трюмов, смежные с машинным отделением, должны иметь огнестойкую противопожарную изоляцию класса А-60; для определения концентрации паров и газов предусматривается возможность взятия проб воздуха из грузовых помещений; на дымовых трубах котлов и выхлопных трубах двигателей устанавливаются соответствующие искрогасители; оборудуется система орошения и затопления под верхней



палубой и палубой твиндека; освобождаются от заглушек кингстоны затопления трюмов; выполняются расчеты остойчивости и плавучести судна в различных вариантах загрузки ВВ, учитывая возможную необходимость затопления грузовых помещений при возникновении пожаров; устанавливаются системы объемно-химического пожаротушения; входные и выходные отверстия вентиляционных каналов защищаются пламяпрерывающими сетками, рассчитанными на конкретные взрывоопасные пары и газы.

Непосредственно привлекаемые к работе с ВВ командный состав и члены экипажа должны твердо знать правила их перегрузки и транспортировки. Проверка этих знаний (особенно знание свойств груза, особенности упаковки, методы крепления, способы тушения пожара и ликвидации других видов опасности) членами экипажа оформляется актом.

Старший помощник капитана совместно со специалистом пожарной охраны проводит с членами экипажа инструктаж. До начала погрузки составляется оперативный план пожаротушения ВВ, проверяется состав и обеспечение аварийных партий, назначают пожарных матросов. Также грузоотправитель обязан ознакомить капитана со всеми свойствами ВВ до начала погрузки. Перед погрузкой ВВ во главе со старшим помощником судовая администрация осматривает все грузовые помещения на предмет их готовности к погрузке, по результатам которой составляет акт о готовности судна к погрузке ВВ.

Только после того, как судно полностью подготовлено к рейсу и на него погружены все другие неопасные грузы можно производить погрузку ВВ. Выгрузку ВВ производят в первую очередь. В период погрузки, выгрузки и нахождения ВВ на борту судна запрещены следующие действия: бункеровка судна; швартовка к судну других судов, за исключением буксиров-толкачей, пожарных и спасательных катеров; выполнение ремонтных работ с применением открытого огня, клепки, сварки и т.д.; пользование на судне открытым огнем, кроме котельного отделения; производство грузовых операций без ограждения, безыскровыми материалами комингсов люков, фальшбортов и т.д.; работа двигателей и котлов без системы искрогашения дымовых и выхлопных труб;

использование в районе грузового помещения с ВВ механизации с ДВС; допуск к борту посторонних лиц на расстояние ближе 50 м.

Погрузка ВВ не производится во время грозových разрядов, а также, если не обеспечена согласно установленным нормам пожарная безопасность судна. Любой тип и вид автоматической пожарной сигнализации в грузовых помещениях постоянно должен находиться в рабочем состоянии от начала погрузки до конца выгрузки. На период грузовых операций с ВВ на судне выполняется ряд предупредительных мероприятий, а именно: задраены все закрытия с маркировкой «Т», на иллюминаторах, которые расположены со стороны грузовых помещений и борта погрузки, поставлены металлические щитки затемнения; отрегулированы взрывозащищенные датчики электрической пожарной сигнализации для подачи сигнала тревоги при температуре 40°С в грузовых помещениях с ВВ; проложены рукавные линии к грузовым помещениям со стволами от водопожарной судовой магистрали с расчетом отбора всей производительности пожарных насосов для тушения пожара и затопления грузовых помещений, подготовлены кингстоны затопления трюмов с грузом ВВ; в грузовых помещениях выставлены вахтенные по обеспечению пожарной безопасности, вооруженные углекислотными огнетушителями и умеющие пользоваться ими.

Вентиляционная система грузовых помещений должна обеспечивать пятикратный обмен воздуха в час. Все вентиляционные трубы, которые ведут в грузовые помещения с ВВ, должны быть защищены сетками, предохраняющими от попадания в них пламени. Перед каждой погрузкой ВВ проверяется исправность вентиляционной системы. После выгрузки ВВ вентиляционные каналы осматривают на наличие пыли или иных остатков ВВ. На весь период пребывания ВВ на судне устанавливается определенный регламент работы радио- и радиолокационных установок. На расстоянии не менее 3 м должны быть уложены ВВ от радиорубки, РЛС, радиоантенны и вводного кабеля. С целью своевременного обнаружения первичных признаков возгорания ВВ постоянно контролируется температура воздуха, концентрация газа, появление дыма в трюмах и т.д. В грузовых трюмах температура воздуха должна быть не более +

40°C. Вентиляция трюмов возможна и при отрицательных температурах, если разность температур трюмного и наружного воздуха не более 10°C.

Крепление груза должно быть надежным и исключать трение, удары и образование искр. После загрузки с трюмы ВВ закрывают и опломбировывают в присутствии специалиста по ВВ, при необходимости выставляют вахтенных. Судно с ВВ отводят от причала и останавливают на безопасном расстоянии от других судов и портовых сооружений в указанной ему точке.

При пожаре с ВВ необходимо в первую очередь использовать основные силы аварийных партий и средств пожаротушения там, где распространение огня может вызвать взрыв. Затем незамедлительно организовать разведку непосредственно в аварийном и смежных с ним отсеках по всему периметру водонепроницаемых переборок очагов пожара. После всего этого по всему судну привести в действие систему водяных завес. Кроме того, в первую очередь, из аварийного отсека по возможности удаляют детонирующие ВВ. Одновременно с тушением пожара в аварийном отсеке охлаждают все водонепроницаемые переборки со стороны смежного отсека из пожарных стволов с производительностью не менее 12 л/мин на 1 м<sup>2</sup>. При тушении пожара следует учитывать также появление продуктов разложения ВВ в грузовых помещениях, которые несут в себе опасность для жизни экипажа. По этой причине члены аварийной партии в закрытых помещениях должны работать в изолирующих противогазах. Наиболее эффективными средствами пожаротушения ВВ являются вода, галогенопроизводные углеводороды и сухие порошкообразные составы «ПС» [16].

В данной работе, исходя из всех требований по безопасности при перевозке ОГ, в том числе и ВВ, было выбрано судно-снабженец «Витус Беринг», предназначенное для перевозки всех необходимых в работе номенклатур груза.

Выбранное судно отвечает всем требованиям для перевозки ОГ и ВВ. Противопожарная защита судна обеспечивается различными системами, такими как: система паротушения; система пенотушения, в которой вручную осуществляется дозировка пенообразователя; система углекислотного тушения для тушения пожара в машинном отделении и грузовых помещениях; система угле-

кислотного тушения местного назначения; для тушения пожара на посадочной площадке есть лафетный комбинированный отвод ЛС-С40; отдельная станция для тушения пожара в помещении гребного электродвигателя и ангара; система водотушения, в которой установлены два водоподогревателя производительностью по 10 т/ч, обеспечивающие подогрев от – 2 до +5°C при расходе воды на один рожок, и которая обслуживается двумя насосами (НЦВ 160/100 А подачей по 160 м<sup>3</sup>/ч при давлении 0,98 МПа и аварийным электронасосом НЦВ 100/100 А подачей 100 м<sup>3</sup>/ч при давлении 0,98 МПа (есть дистанционный пуск насосов)). Станция пожарной сигнализации установлена в навигационной рубке.

Также на выбранном судне имеется спасательное устройство, состоящее из двух пластмассовых закрытых моторных шлюпок ЗСШРЗМ вместимостью по 66 чел. и рабочего пластмассового катера, шести спасательных плотов ПСН-10М. Плоты со штатными пластмассовыми контейнерами хранятся в контейнерах с подогревом, рассчитанных на температуру окружающего воздуха до – 50°C. Кроме того, на судне есть двухъярусный рабочий плот [41].

Для обеспечения экологической безопасности, был принят ряд нормативных документов, обязательных для соблюдения морским перевозчиком, а именно: Международная конвенция по предотвращению загрязнения моря нефтью 1954 г. с внесенными поправками (1962, 1969 гг.) [50]; Международная конвенция по предотвращению загрязнения с судов 1973 г. (МАРПОЛ – 73/78) [51]; постановление Совета Министров СССР «Об усилении борьбы с загрязнением моря веществами, вредными для здоровья людей или живых ресурсов моря» 1974 г. [52] и ряд других. Все эти документы устанавливают меры по предотвращению преднамеренного слива в пределах запретных зон нефти и нефтяной смеси, сброса вредных веществ, сточных вод и бытового мусора, а также устанавливают допустимые пределы для сброса мусора и слива нефтяной смеси в других регионах мирового океана.

Каждое судно, попадающее под действие Конвенции МАРПОЛ – 73/78 обязано иметь журнал регистрации вредных веществ. При факте сброса вредного вещества капитан должен без промедления сообщить всю необходимую ин-

формацию соответствующему должностному лицу или компетентной организации о потере или вынужденном сбрасывании вредного вещества, произведенного без соблюдения требуемых условий. Также согласно данной конвенции судам запрещается в пределах 4 миль от ближайшего берега сброс сточных вод, если у них отсутствует соответствующее оборудование по переработке и очистке этих вод. Разрешается в пределах 4 – 12 миль от берега сбрасывание предварительно тончайшим образом размельченных и продезинфицированных отбросов и отходов. Запрещен сброс в море всех видов пластика. Нарушение положений конвенции МАРПОЛ – 73/78 влечет за собой в установленном законом порядке ответственность перевозчика [53]. Однако, в данной работе у судна-снабженца «Витус Беринг» имеются удовлетворяющие положениям Конвенции МАРПОЛ – 73/78 накопительная цистерна льяльных вод и сепарационная установка «Аквамарин», автоматически прекращающая слив воды за борт при превышении допустимых пределов содержания нефтепродуктов в воде.

Любая человеческая деятельность оказывает определенное влияние на окружающую среду. Так, обеспечение снабжением небольших, но при этом многочисленных пунктов регионов Арктики и Крайнего Севера возможно только путём экспедиционного завоза, который предусматривает рейдовую выгрузку транспортных судов и ввиду технологической необустроенности берегового звена не предполагает обратных грузопотоков. Но, так как мелководность прибрежных арктических вод не позволяет осуществлять завоз жидкого топлива наливом, в виду того, что расстояние от безопасных изобат до береговой черты в ряде пунктов выгрузки (т.е. необходимая длина шланголинии при рейдовой выгрузке) составляет несколько километров, то большинству получателей ГСМ в течение продолжительного периода доставлялись в бочкотаре [54].

Указанные многолетние особенности завоза материальных средств в необорудованные пункты Арктики и Крайнего Севера РФ обусловили серьёзную степень засорения побережья этих пунктов порожней бочкотарой из-под топлива и технических масел. Именно этот вид тары вызывает наибольшую экологическую опасность, ведь он содержит токсичные остатки топлива, например,

технические масла с высоким уровнем содержания полихлорированных бифенилов (ПХБ), которые являются сильным ядом, способным накапливаться в организме и не выводиться. Согласно последним данным Экспедиционного центра Русского географического общества, даже незначительные дозы ПХБ могут привести к серьезному мутационному эффекту. В организм людей и животных яд попадает через пищеварительную систему от других животных и растений, в которых он был накоплен. Русским географическим обществом в Арктике был проведен ряд исследований (делали отбор крови у медведей, проводили определение уровня концентрации ПХБ в крови у биоты, животных и у людей), который показал, что у коренных жителей северных регионов (алеуты, чукчи, эскимосы), промысляющих охотой на морского зверя, концентрация ПХБ в крови значительно превышает пределы допустимой концентрации, что, в свою очередь, сказывается на рождаемости и продолжительности жизни [55].

В настоящее время многие организации осуществляют масштабную программу по сбору, вывозу и утилизации бочкотары из пунктов Арктики, как с побережья ряда островов, так и с материка. К числу таких организаций относятся: Федеральное государственное бюджетное учреждение Национальный парк «Русская Арктика», Всероссийская общественная организация «Русское географическое общество», Федеральное государственное бюджетное научно-исследовательское учреждение «Совет по изучению производительных сил» Минэкономразвития России и РАН (СОПС) и ряд других организаций.

Технологический процесс подготовки к вывозу порожней бочкотары достаточно сложен (рисунок 18). Во-первых, проводится химический анализ содержимого каждой бочки, так как маркировка в подавляющем большинстве случаев не сохраняется или заранее неизвестно до каких компонентов, возможно высокотоксичных, разложилось содержимое. Во-вторых, у бочек электроножницами срезают крышку, сливают в вакуумную машину (бензовоз с насосом) имеющуюся там жидкость (остатки). В-третьих, в мобильной печи высокотемпературного обжига с помощью факела выжигают остатки нефтепродуктов. И, в-четвертых, бочку «компактифицируют», то есть помещают под 45-

тонный пресс. В случаях, когда в бочках находятся отравляющие вещества, во избежание трансформации отравляющих веществ в опасные диоксиды их сжигают в плазменной дуге при температуре не менее 1000°C (плазменные печи используются с 2013 г.). Спрессованные бочки складывают на побережье для последующего вывоза самоходными накатными баржами. Сортированные жидкости из различных вакуумных машин сливают в отдельные ёмкости, которые так же подготавливаются для вывоза [24].



Рисунок 18 – Процесс подготовки к вывозу использованной бочкотары:  
а – сбор нефтепродуктов из бочек; б – прессование металлических отходов

Таким образом, технологически лимитирующим звеном является обратный вывоз порожней тары, а также металлолома – техники, оборудования и бытового мусора, которые пришли в негодность в ходе выполнения навигационного завоза материальных средств. Отсутствие портового перегрузочного оборудования в пунктах внепортовой обработки судов обуславливает низкий уровень механизации погрузочных работ рейдовых плавсредств (автокраном либо вручную).

В отдельных случаях, погрузка бочек, которые являются пригодными к дальнейшей эксплуатации, может производиться обратными рейсами вертолёта, но в таком случае, это существенно отразится на стоимости перевозок в отношении экологической безопасности.



## Заключение

Большая часть территории Российской Федерации относится к районам Арктики и Крайнего Севера, которые характеризуются суровыми климатическими условиями, относительно слабой заселенности, удаленность от экономических и культурных центров страны, отсутствием круглогодичных транспортной сети и т.п. На этой территории находится большая часть естественных ресурсов и полезных ископаемых страны. В настоящее время требует решения вопрос, связанный с завозом продовольствия в северные регионы России, так как по подсчетам данные регионы приносят стране до 60% национального дохода, а обратно получают не более 10%.

Для поддержания районов Крайнего Севера и Дальнего Востока государство располагает таким стратегическим инструментом как навигационный завоз. Навигационный завоз – комплекс государственных мероприятий, проводимых ежегодно с целью обеспечения территории Крайнего Севера РФ основными жизненно необходимыми товарами в преддверии зимнего сезона.

Одними из основных проблем, связанных с навигационным завозом, выступают относительно короткий период навигации, а также неудовлетворительное состояние пунктов завоза (большая часть пунктов – не оборудованы). В районы Крайнего Севера перевозится большая номенклатура грузов, каждый из которых имеет свои транспортные характеристики и особенности, которые нужно учитывать при перевозке, погрузке/выгрузке и хранении. В настоящее время навигационный завоз также используется и для военных целей. Он выполняется в интересах флотов и военных округов, воинские части и учреждения которых дислоцированы в непосредственной близости от водных путей сообщения. Воинские грузы перевозятся назначением в 224 пункта, большая часть из которых – небольшие и слабо оборудованные портопункты и рядовые пункты. Проведя ретроспективный анализ открытых статистических данных, было выявлено, что основную массу воинских грузов-снабжения в период 2002 – 2004 гг. составляли твёрдое топливо и горючее. А большая часть пунктов завоза

за и основной объем перевозимых грузов приходился на Тихоокеанский флот в морском сообщении.

В настоящее время, исходя из данного анализа и опыта перевозок, открываются новые базы, такие как: база «Темп» (на о. Котельный), п. Нагурская (на о. Земля Александры), о. Средний и о. Врангеля. Кроме того, создана компания ООО «Оборонлогистика», работающая в структуре Военно-строительного комплекса Минобороны РФ. Постоянно выполняются перевозки военных грузов в Арктике, происходит наращивание объемов, и совершенствуются технологии погрузо-разгрузочных работ. В общем объеме воинских перевозок преобладают именно перевозки в межпортовом сообщении, которое составляет 61,3% от объема перевозок, в то время как оборудованные порты составляют только 11,2% от перечня всех пунктов назначения.

Основными видами транспорта, обеспечивающими навигационный завоз, являются морской и речной, но возможности их использования ограничены коротким сроком навигации (в среднем от 2 до 3 месяцев северного лета). Арктическая транспортная система включает в себя комплекс транспортных средств морского и речного флота, авиации, трубопроводного, железнодорожного и автомобильного транспорта, Северный Морской Путь, а также береговую инфраструктуру. Доставка продовольствия в удалённые районы Крайнего Севера сопряжена с преодолением множество трудностей, так как Арктическая зона характеризуется экстремальными природными условиями, а также сложной ледовой обстановкой. Еще одной проблемой является неудовлетворительное состояние флота и портовой инфраструктуры. Но в настоящее время идут работы по восстановлению, реконструкции и модернизации действовавших ранее, а также строительство новых портов и портовых и гидротехнических сооружений на внутренних водных путях. Реализация таких проектов, как «Ямал СПГ» по освоению природных богатств региона напрямую связано с развитием Северного морского пути. Пополнение арктического флота РФ также будет способствовать увеличению грузопотока через трассу СМП, а пополнение линейного ледокольного флота позволит увеличить период навигации.

В основном в районах Крайнего Севера процесс погрузки/выгрузки осуществляется на рейде. В период погрузки/выгрузки грузов в зависимости от местонахождения судна на перегрузочном рейде выделяют следующие основные способы его обработки у побережья: на рейде, у временного причала или у необорудованного берега (припая), на выбор которых оказывает влияние ряд факторов. Определённое влияние на выбор способа обработки оказывает также и тип судна. Для доставки грузов с судна на берег или обратно используются различные виды рейдовых транспортных средств: рейдовые плавучие, амфибийный и воздушные средства.

На данный момент времени достойной альтернативы водным маршрутам для массовой доставки грузов в отдаленные районы Крайнего Севера на сегодняшний момент и в обозримой перспективе не предвидеться, поэтому их сохранение и развитие должны стать основным стратегическим направлением государственной транспортной политики России.

Как показывает многолетняя практика, расстановка судов по направлениям и составление графика выступают одними из самых важных и сложных вопросов организации движения флота. Составление графика судна начинается с изучения грузопотока (его объема и характера), пунктов захода, а также условий эксплуатации судов на данном направлении. В данной работе был рассмотрен условный график, разработанный на основе статистических данных, который задает наиболее эффективный вариант движения флота, что в итоге может лечь в основу рациональной работы флота на данном направлении. Для расчёта были выбраны пункты завоза в акватории Баренцева и Белого морей, почти все из которых являются необорудованными. Поэтому основным требованием к судам – это наличие грузовых устройств для самовыгрузки и РПС.

Наиболее удобным методом определения ротации является «задача Коммивояжера», имеющая множество способов решения. Оптимизационная версия данной задачи является NP-трудной, в связи с чем получить оптимальное решение возможно либо полным перебором, либо оптимизированным полным перебором, т.е. методом ветвей и границ. Для расчёта были взяты также пункты,

расположенные на пп. Новой Земли, так как данный сектор лидирует по объемам перевозок (а именно Белушья Губа и Рогачёво). Завоз осуществлялся круговым рейсом из Архангельска. После решения задачи «коммивояжера», выполнив алгоритм Литтла дважды и вернувшись к прежнему плану X1, а затем проделав этот же алгоритм еще 8 раз и вернувшись уже к плану X7, и, наконец-то, выполнив его еще 6 раз, мы пришли к матрице  $2 \times 2$ , после решения которой был получен наилучший вариант ротации судна.

Таким образом, по сравнению с произвольным маршрутом  $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 5 \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow 8 \rightarrow 9 \rightarrow 10 \rightarrow 11 \rightarrow 12 \rightarrow 13 \rightarrow 1$  (Архангельск  $\rightarrow$  Нарьян-Мар  $\rightarrow$  Н. Золотица  $\rightarrow$  Мезень  $\rightarrow$  Шойна  $\rightarrow$  Нижняя Пеша  $\rightarrow$  Индига  $\rightarrow$  Амдерма  $\rightarrow$  м. Святой Нос  $\rightarrow$  Грибовая  $\rightarrow$  Белушья  $\rightarrow$  Рогачёво  $\rightarrow$  Мурманск  $\rightarrow$  Архангельск) длиной в 4087 мор. миль мы нашли наилучший маршрут ротации судна  $1 \rightarrow 3 \rightarrow 12 \rightarrow 11 \rightarrow 8 \rightarrow 2 \rightarrow 10 \rightarrow 7 \rightarrow 6 \rightarrow 9 \rightarrow 13 \rightarrow 5 \rightarrow 4 \rightarrow 1$  (Архангельск  $\rightarrow$  Н. Золотица  $\rightarrow$  Рогачёво  $\rightarrow$  Белушья  $\rightarrow$  Амдерма  $\rightarrow$  Нарьян-Мар  $\rightarrow$  Грибовая  $\rightarrow$  Индига  $\rightarrow$  Нижняя Пеша  $\rightarrow$  м. Святой Нос  $\rightarrow$  Мурманск  $\rightarrow$  Шойна  $\rightarrow$  Мезень) равный 2668 мор. миль, что в 1,5 раза меньше по сравнению с произвольным. Данный метод позволяет значительно сократить не только время фрахтователя, но и ресурсы, позволив тем самым сделать большее количество рейсов.

В основном в районы Крайнего Севера грузы доставляются судами-снабженцами, которые имеют ряд своих особенностей и к которым в связи с этим предъявляются особые требования, как: ледопробиваемость и прочность корпуса; открытый тип судна; приспособленность судна к переработке грузов на рейде, на ледовый причал и в необорудованных пунктах; возможность перевозки РПС и т.д. Поэтому при выборе судна-снабженца необходимо предусмотреть все эти требования, а также условия его эксплуатации. В связи с этим в данной работе выбран дизель-электроход «Витус Беринг» – головное многоцелевое ледокольно-транспортное судно-снабженец для Арктики. Данное судно предназначено для перевозки широкой номенклатуры грузов, а также оборудовано различными грузовыми устройствами, приспособлениями и иными специ-

альными технологическими средствами для производства ПРР, передачи грузов на рейде и в необорудованные порты, включая РПС и вертолет.

Контактный способ передачи грузов является самым быстрым и удобным при стоянке на тихой воде. Но для ряда отдельных морских бассейнов одним из самых распространенных способов обработки судов является обработка судна именно на рейде, при которой из-за сложности использования даже при небольшом волнении не применяются средства внутритрюмной механизации.

Причалное оборудование состоит из временных причалов, предназначенных для стоянки РПС у берега во время проведения на них погрузо-разгрузочных работ. Расстановка РПС у борта зависит от наличия волнения на рейде, при котором РПС швартуются с подветренного борта судна: на каждый люк по одному РПС; при достаточной длине РПС – на два смежных люка; при отсутствии волнения на рейде – с обоих бортов судна в шахматном порядке.

С учетом местных условий, наличия подвижных технических средств (ПТС), типа и конструктивных особенностей судна, а также вида перегружаемых грузов определяется организация и технология обработки судна на рейде. На основании технологической схемы перегрузки грузов рассчитывается количество ПТС, необходимое для обработки судна. Таким образом, при планировании рейдовой обработки судов необходимо произвести расстановку судов по рейдовым причалам, а РПС по обрабатываемым судам, определить время начала и окончания их обработки, распределить рабочих, транспортные средства и перегрузочное оборудование по причалам, судам и технологическим линиям, а также порядок завоза (вывоза) грузов и т. д.

Таким образом, на данном этапе мы рассмотрели две возможности для оптимизации – это оптимизация рейсовых заданий и оптимизация технологических процессов при рейдовой выгрузке судна, что позволяет нам сэкономить, в первую очередь, время, так как суда, эксплуатируемые для данных целей в районах Арктики, находятся в арендной форме привлечения.

Для работы на СМП необходимы специализированные суда ледового класса. Кроме того, суда, эксплуатируемые в Арктике, должны иметь дополни-

тельное аварийное снабжение и управляться командным составом, который специально подготовлен для работы в данном регионе.

Перед началом работ в пункте погрузки/выгрузки администрация транспортного судна проводит с членами бригад, которые сформированы из членов экипажей судна, а также экипажей средств доставки грузов и рабочих клиентуры, внеочередной инструктаж по безопасным методам производства ПРР. Ответственность за техническую эксплуатацию РПС и перегрузочной техники в процессе грузовых работ возлагается на членов их экипажей. При передаче грузов с судна на необорудованный берег также должны соблюдаться определенные условия, обеспечивающие безопасность проводимых работ.

В данной работе перевозятся три номенклатуры грузов, две из которых относятся к опасным грузам (ОГ). Свойства ОГ требуют четкой регламентации условия перевозки, которая производится путем разработки международных соглашений и национальных правил. Таким образом, перевозка ОГ на судах морского флота производится с обязательным соблюдением требований указанных в данных документах, которые предъявляются к техническому оборудованию судов и к подготовке судового экипажа. Экипаж судна, на котором должны перевозить ОГ, обязан заблаговременно пройти инструктаж по технике безопасности и производственной санитарии, при этом работников инструктируют об опасности груза, мерах предосторожности, обучают безопасным методам работы, методам оказания первой помощи пострадавшим и пользованию средствами индивидуальной защиты. В процессе перевозки и перегрузки ОГ необходимо строго выполнять весь комплекс требований Правил МОПОГ, который предъявляется к экипажу, оборудованию судна и его снабжению и делится на три группы: меры предупреждения возникновения опасности; действия экипажа в аварийной ситуации; ликвидация последствий аварийного происшествия. Капитан несет полную ответственность за соблюдение в процессе перевозки всех требований Правил МОПОГ по погрузке, выгрузке, хранению и перевозке ОГ. Так как одним из опасных грузов выступает техимущество, относящееся к 1 классу опасности – взрывоопасные вещества (ВВ), а вто-

рым – бензин в бочках, относящийся к 3 классу опасности (3.1) – ЛВЖ, то соблюдение техники безопасности и правил перевозки обязательны. Требования к перевозке ВВ более строгие, и требуют для своей перевозки специально оборудованных судов. В данной работе, исходя из всех требований по безопасности при перевозке ОГ, в том числе и ВВ, было выбрано судно-снабженец «Витус Беринг», предназначенное для перевозки всех необходимых в работе номенклатур груза. Выбранное судно отвечает всем требованиям для перевозки ОГ и ВВ. Также на выбранном судне имеются спасательные устройства.

Для обеспечения экологической безопасности, был принят ряд нормативных документов, которые устанавливают меры по предотвращению преднамеренного слива в пределах запретных зон нефти и нефтяной смеси, сброса вредных веществ, сточных вод и бытового мусора, а также устанавливают допустимые пределы для сброса мусора и слива нефтяной смеси в других регионах мирового океана. В данной работе у судна-снабженца «Витус Беринг» имеются удовлетворяющие положениям Конвенции МАРПОЛ – 73/78 накопительная цистерна льяльных вод и сепарационная установка «Аквамарин», позволяющая автоматически прекратить слив воды за борт при превышении допустимых пределов содержания нефтепродуктов в воде.

Кроме того, обеспечение снабжением небольших, но многочисленных пунктов Арктики возможно только путём экспедиционного завоза, который предусматривает рейдовую выгрузку транспортных судов. Но, так как мелководность прибрежных арктических вод не позволяет осуществлять завоз жидкого топлива наливом, то большинству получателей ГСМ в течение продолжительного периода доставлялись в бочкотаре, что обусловило серьёзную степень засорения побережья этих пунктов порожней бочкотарой из-под топлива и технических масел. В настоящее время многие организации осуществляют масштабную программу по сбору, вывозу и утилизации бочкотары из пунктов Арктики. Таким образом, технологически лимитирующим звеном является обратный вывоз порожней тары, так как технологический процесс подготовки к вывозу порожней бочкотары достаточно сложен.

## Список использованных источников

1 Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики (Росстат): <http://www.gks.ru>. Дата обращения: 25.03.2019 г.

2 Официальный Интернет-ресурс Министерства транспорта Российской Федерации: <https://www.mintrans.ru>. Дата обращения: 05.04.2019 г.

3 Постановление Совмина СССР от 03.01.1983 г. № 12 (в ред. от 27.02.2018 г.) «О внесении изменений и дополнений в Перечень районов Крайнего Севера и местностей, приравненных к районам Крайнего Севера, утвержденный Постановлением Совета Министров СССР от 10 ноября 1967 г. № 1029» (вместе с «Перечнем районов Крайнего Севера и местностей, приравненных к районам Крайнего Севера, на которые распространяется действие Указов Президиума Верховного Совета СССР от 10 февраля 1960 г. и от 26 сентября 1967 г. о льготах для лиц, работающих в этих районах и местностях», утв. Постановлением Совмина СССР от 10.11.1967 г № 1029) // «СП СССР», 1983, № 5, ст. 21.

4 Юшкин Н. П. Арктика в стратегии реализации топливно-энергетических перспектив / Под ред. В.Е. Фортова, Ю.Г. Леонова. М.: Наука, 2006.

5 Истомин А., Павлов К., Селин В. Экономика арктической зоны России // Общество и экономика. 2008. № 7. с.158 – 172.

6 Научные труды: Ин-т народнохозяйственного прогнозирования РАН / Гл. ред. А.Г. Коровкин. – М.: МАКС Пресс, 2015. – 640 с.

7 Постановление Правительства РФ от 18.01.2017 г. № 24 (в ред. от 31.08.2017 г.) «Об утверждении перечня товаров, для целей закупки и доставки которых в субъекты Российской Федерации, на территориях которых расположены районы Крайнего Севера и приравненные к ним местности с ограниченным сроком завоза грузов, могут предоставляться бюджетные кредиты юридическим лицам за счет средств бюджетов субъектов Российской Федерации, на



территориях которых расположены такие районы и местности» // «Собрание законодательства РФ», 30.01.2017 г., № 5, ст. 784.

8 Постановление Правительства РФ от 23.05.2000 г. № 402 (в ред. от 06.12.2016 г.) «Об утверждении Перечня районов Крайнего Севера и приравненных к ним местностей с ограниченными сроками завоза грузов (продукции)» // «Собрание законодательства РФ», 29.05.2000 г., № 22, ст. 2316.

9 Портал для специалистов архитектурно-строительной отрасли. Строительство в высоких широтах. Принципы, возможности и перспективы: <https://ardexpert.ru/article/5072>. Дата обращения: 10.04.2019 г.

10 Официальный сайт Министерства обороны РФ: <http://mil.ru>. Дата обращения: 17.04.2019 г.

11 Официальный сайт ООО «ОБОРОНЛОГИСТИКА»: <http://obl.ru>. Дата обращения: 23.04.2019 г.

12 Федеральный закон от 21.07.2005 г. № 94-ФЗ (в ред. от 30.12.2012 г.) «О размещении заказов на поставки товаров, выполнение работ, оказание услуг для государственных и муниципальных нужд» (с изм. и доп., вступающими в силу с 01.01.2013 г.) // «Собрание законодательства РФ», 25.07.2005 г., № 30 (ч. 1), ст. 3105.

13 Жуков Е. И., Письменный М. Н. Технология морских перевозок: Учеб. для вузов морск. Трансп. – 6-е изд., перераб. И доп. – М.: Транспорт, 2018. – 335 с.

14 Джежер Е. В., Ярмолович Р. П. Транспортные характеристики грузов: Учебное пособие. – М.: Феникс, 2017. – 272 с.

15 ГОСТ В 9.001 – 72. Единая система защиты от коррозии и старения. Военная техника. Упаковка для транспортирования и хранения. Общие требования.

16 5-М. Правила морской перевозки опасных грузов (Правила МОПОГ), РД 31.15.01-89; том 1 и том 2.

17 «ГОСТ 19433-88. Грузы опасные. Классификация и маркировка» (утв. Постановлением Госстандарта СССР от 19.08.1988 г. № 2957) (в ред. от 01.09.1992 г.). – М.: ИПК Издательство стандартов, 1996.

18 «ГОСТ Р 51858-2002. Государственный стандарт Российской Федерации. Нефть. Общие технические условия» (принят и введен в действие Постановлением Госстандарта России от 08.01.2002 г. № 2-ст) (в ред. от 26.11.2009 г.). – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002.

19 «ГОСТ 13950-91. Межгосударственный стандарт. Бочки стальные сварные и закатные с гофрами на корпусе. Технические условия» (утв. и введен в действие Постановлением Госстандарта СССР от 16.12.1991 г. № 1954) (в ред. от 09.10.2003 г.). – М.: ИПК Издательство стандартов, 1999.

20 «ГОСТ 14192-96. Межгосударственный стандарт. Маркировка грузов» (введен в действие Постановлением Госстандарта РФ от 18.06.1997 г. № 219) (в ред. от 03.08.2012 г.). – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001.

21 Международная Конвенция по охране человеческой жизни на море, 1974 г. (Консолидированный текст Конвенции СОЛАС-74, 1993).

22 Международный Кодекс морской перевозки опасных грузов, 1990 г. с дополнениями (МК МПОГ).

23 Андронов Л. П. Перевозка опасных грузов морем. М.: Транспорт, 1971. 208 с.

24 Кириченко, А.В., Изотов, О.А., Мегалинская, А.Ю. Организация и технология внепортовой обработки судов: учеб. пособие / под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. А.В. Кириченко. – СПб.: Изд-во ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова, 2013. – 208 с.

25 Официальный сайт ФГБУ «Администрация морских портов Западной Арктики»: <http://www.marpm.ru/Administration/SeaPorts>. Дата обращения: 27.03.2019 г.

26 Галин А. В. Внутренние водные пути России как часть транспортной инфраструктуры страны / А. В. Галин // Вестник Государственного университе-

та морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. - 2014. - №1(23). – С. 120 – 124. DOI: 10.21821/2309-5180-2014-6-1-120-124.

27 Официальный сайт ФГУП «Росморфлот»: <http://www.rosmorport.ru>. Дата обращения: 28.04.2019 г.

28 Проект «Концепция развития внутренних водных путей Российской Федерации на период до 2024 года».

29 Федеральный закон от 20.12.2005 г. № 168-ФЗ (в ред. от 29.12.2017 г.) «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в связи с созданием Российского международного реестра судов» // «Собрание законодательства РФ», 26.12.2005 г., № 52 (1 ч.), ст. 5581.

30 Распоряжение Правительства РФ от 22.11.2008 г. № 1734-р (в ред. от 12.05.2018 г.) «О Транспортной стратегии Российской Федерации» // «Собрание законодательства РФ», 15.12.2008 г., № 50, ст. 5977.

31 Официальный сайт государственной корпорации по атомной энергии «Росатом»: <https://www.rosatom.ru>. Дата обращения: 01.06.2019 г.

32 Официальный сайт издательства «Морские вести России»: <http://morvesti.ru>. Дата обращения: 19.05.2019 г.

33 Правила плавания в Акватории Северного морского пути [Электронный ресурс]. – <http://www.rg.ru/2012/07/30/more-dok.html>. Дата обращения: 05.06.2019 г.

34 Приказ Минтранса России от 17.01.2013 г. № 7 (в ред. от 09.01.2017 г.) «Об утверждении Правил плавания в акватории Северного морского пути» (Зарегистрировано в Минюсте России 12.04.2013 г. № 28120) // «Российская газета», № 86, 19.04.2013 г.

35 Об утверждении тарифов на ледакольную проводку судов, оказываемую ФГУП «Атомфлот» в акватории северного морского пути. [Электронный ресурс]. –<http://www.nsra.ru/files/fileslist/20140422101458ru>. Дата обращения: 26.03.2019 г.

36 Специальные судовые устройства. Часть 2. Судовые грузовые и спускоподъемные устройства: учебное пособие / О.А. Изотов, А.В. Кириченко, О.В. Соляков, А.Е. Слицан. – М.: МОРКНИГА, 2018. – 402 с.

37 . Kendall L. C. The Business Of Shipping / L. C. Kendall. — Cambridge: Cornell Maritime Press, Inc., 1983.

38 Официальный портал Единой государственной системы информации об обстановке в Мировом океане: <http://data.oceaninfo.ru/index.jsp>. Дата обращения: 14.05.2019 г.

39 Ахо А., Хопкрофт Дж., Ульман Дж. Структуры данных и алгоритмы. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2001.

40 Кормен Т., Лейзерсон Ч., Ривест Р. Алгоритмы: построение и анализ. – М.: МЦНМО, 2001.

41 Интернет-сайт «Водный транспорт»: <http://fleetphoto.ru>. Дата обращения: 03.06.2019 г.

42 Перевозка экспортно-импортных грузов. Организация логистических систем. 2-е изд., доп. и перераб. / Под ред. А. В. Кириченко. – СПб.: Питер, 2004. – 506 с.: ил.

43 Общие требования и положения. РД 31.11.21.16-96. Правила безопасности морской перевозки тарно-штучных грузов.

44 Международный кодекс морской перевозки опасных грузов, ИМО, 1977 г.

45 Правила безопасной перевозки радиоактивных веществ, МАГАТЭ, 1973 г.

46 Правила безопасности при транспортировании радиоактивных веществ (ПБТРВ – 73) 1974 г.

47 Нормы радиоактивной безопасности (НРБ – 69) 1972 г.

48 Основные санитарные правила работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений (ОСП – 72) 1973 г.

49 ГОСТ 19433 – 81. «Грузы опасные. Классификация и знаки опасности».

50 Международная конвенция по предотвращению загрязнения моря нефтью 1954 г. с внесенными поправками (1962, 1969 гг.).

51 Международная конвенция по предотвращению загрязнения с судов 1973 г. (МАРПОЛ – 73/78).

52 Постановление Совета Министров СССР «Об усилении борьбы с загрязнением моря веществами, вредными для здоровья людей или живых ресурсов моря» 1974 г.

53 Технология и организация перевозок: учебное пособие / В.Я. Шевелев, С.А. Лутков, А.А. Сапунов. – Новороссийск: МГА им. адм. Ф.Ф.Ушакова, 2011. – 156 с.

54 ГОСТ 12.1.007-76. «Система стандартов безопасности труда. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности».

55 ГН 2.2.5.3532-18. «Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны».

56 Грузоведение: практикум / А.В. Кириченко, О.А. Деняк, Н.А. Слободчиков, О.А. Изотов; под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. А.В. Кириченко. — СПб.: Изд-во ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова, 2015. — 72 с.

57 Магамадов А. Р. Вопросы повышения эффективности взаимодействия предприятий морского транспортного узла при оперативном управлении / А. Р. Магамадов. — М.: ЦРИА «Морфлот», 1978.

58 Методическое руководство по разработке графика движения флота с применением электронных вычислительных машин. — М.: Транспорт, 1970.

59 Онлайн-версия приложения Google Планета Земля: <https://earth.google.com>. Дата обращения: 21.05.2019 г.

60 Консультант Плюс: Высшая школа: <http://www.consultant.ru>. Дата обращения: 08.06.2019 г.

61 Система ГАРАНТ: <http://base.garant.ru>. Дата обращения: 09.06.2019 г.

62 Интернет библиотека: <http://BIBLIOTCLUB.RU>. Дата обращения: 11.06.2019 г.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

## Приложение А

Таблица – А.1 Перечень товаров, для целей закупки и доставки которых в субъекты РФ, на территориях которых расположены районы Крайнего Севера и приравненные к ним местности с ограниченным сроком завоза грузов [7]

| Наименование товара                                                                                                                   | ОКПД         |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Ваниль обработанная                                                                                                                   | 10.84.23.120 |
| Изделия макаронные и аналогичные мучные изделия                                                                                       | 10.73.11     |
| Капуста белокочанная                                                                                                                  | 01.13.12.120 |
| Картофель столовый ранний                                                                                                             | 01.13.51.110 |
| Картофель столовый поздний                                                                                                            | 01.13.51.120 |
| Кислота лимонная                                                                                                                      | 20.14.34.231 |
| Консервы молочные, молочные составные сухие, сублимированные                                                                          | 10.51.56.200 |
| Консервы молокосодержащие. Продукты сухие, сублимационной сушки                                                                       | 10.51.56.330 |
| Консервы мясные                                                                                                                       | 10.13.15.110 |
| Консервы мясорастительные с использованием мяса и субпродуктов птицы                                                                  | 10.13.15.140 |
| Консервы рыбные                                                                                                                       | 10.20.25.110 |
| Крупа гречневая                                                                                                                       | 10.61.32.113 |
| Лук репчатый                                                                                                                          | 01.13.43.110 |
| Молоко (частично обезжиренное, цельное) сухое                                                                                         | 10.51.22.110 |
| Молоко сухое частично обезжиренное, от более 1,5% до менее 26% жирности                                                               | 10.51.22.111 |
| Молоко сублимированное цельное, от 26% до 41,9% жирности                                                                              | 10.51.22.122 |
| Морковь столовая                                                                                                                      | 01.13.41.110 |
| Мука и порошок горчичные                                                                                                              | 10.84.12.160 |
| Овощи бобовые сушеные (культуры зернобобовые)                                                                                         | 01.11.7      |
| Пряности обработанные                                                                                                                 | 10.84.2      |
| Пшено                                                                                                                                 | 10.61.32.114 |
| Рис шелушенный                                                                                                                        | 10.61.11.000 |
| Сахар белый свекловичный или тростниковый и химически чистая сахароза в твердом состоянии без вкусоароматических или красящих добавок | 10.81.12     |
| Соль пищевая                                                                                                                          | 10.84.3      |
| Чай зеленый (неферментированный), чай черный (ферментированный) и чай частично ферментированный в упаковках массой не более 3 кг      | 10.83.13     |

Таблица – А.2 План перевозок по военным округам за 2002 – 2004 года [10]

| Пункты завоза                                                        | 2002     |                     |                      |                     |                      |         |          | 2003     |                     |                      |                     |                      |         |          | 2004     |                     |                      |                     |                      |        |          |
|----------------------------------------------------------------------|----------|---------------------|----------------------|---------------------|----------------------|---------|----------|----------|---------------------|----------------------|---------------------|----------------------|---------|----------|----------|---------------------|----------------------|---------------------|----------------------|--------|----------|
|                                                                      | Горючее  | Продоволь-<br>ствие | Вещевое<br>имущество | Мед. имуще-<br>ство | Твердое топ-<br>ливо | Прочие  | Итого    | Горючее  | Продоволь-<br>ствие | Вещевое<br>имущество | Мед. имуще-<br>ство | Твердое топ-<br>ливо | Прочие  | Итого    | Горючее  | Продоволь-<br>ствие | Вещевое<br>имущество | Мед. имуще-<br>ство | Твердое топ-<br>ливо | Прочие | Итого    |
| 1                                                                    | 2        | 3                   | 4                    | 5                   | 6                    | 7       | 8        | 9        | 10                  | 11                   | 12                  | 13                   | 14      | 15       | 16       | 17                  | 18                   | 19                  | 20                   | 21     | 22       |
| Всего за округа                                                      | 50441,9  | 3702,9              | 103,5                | 26,5                | 63866,0              | 3744,2  | 121885,0 | 55162,4  | 3779,4              | 162,1                | 61,4                | 44330,0              | 16627,1 | 120122,4 | 61094,6  | 8188,0              | 1330,2               | 42,9                | 49160,0              | 6670,7 | 126486,4 |
| Всего за флоты                                                       | 86982,6  | 6380,5              | 24,0                 | 5,0                 | 150234,0             | 7606,7  | 251232,8 | 66821,5  | 4131,1              | 32,5                 |                     | 164256,0             | 3042,0  | 238283,1 | 130696,7 |                     |                      |                     | 71541,5              | 120,2  | 202358,4 |
| Всего за МО РФ                                                       | 137424,5 | 10083,4             | 127,5                | 31,5                | 214100,0             | 11350,9 | 373117,8 | 121983,9 | 7910,5              | 194,6                | 61,4                | 208586,0             | 19669,1 | 358405,5 | 191791,3 | 8188,0              | 1330,2               | 42,9                | 120701,5             | 6790,9 | 328844,8 |
| Всего за Ленинградский воен-<br>ный округ (в морском сообще-<br>нии) | 5714,0   | 461,0               |                      |                     | 5000,0               | 1840,0  | 13015,0  | 4132,8   | 619,4               | 0,6                  | 1,8                 | 5380,0               | 208,5   | 10343,1  | 3911,7   | 680,3               | 0,8                  | 1,2                 | 3700,0               | 123,6  | 8417,6   |
| Зим. Золотица                                                        | 337,0    | 34,0                |                      |                     | 350,0                | 30,0    | 751,0    | 330,5    | 21,7                | 0,1                  | 0,3                 | 350,0                | 24,9    | 727,5    | 424,2    | 25,8                | 0,1                  | 0,1                 | 350,0                | 96,3   | 896,5    |
| Лет. Наволок                                                         | 551,0    | 36,0                |                      |                     | 250,0                | 3,0     | 840,0    |          |                     |                      |                     |                      |         |          |          |                     |                      |                     |                      |        |          |



Продолжение таблицы А.2

| 1                 | 2      | 3     | 4 | 5 | 6      | 7      | 8      | 9      | 10    | 11  | 12  | 13     | 14   | 15     | 16     | 17    | 18  | 19  | 20     | 21   | 22     |
|-------------------|--------|-------|---|---|--------|--------|--------|--------|-------|-----|-----|--------|------|--------|--------|-------|-----|-----|--------|------|--------|
| Кашкаранцы        |        |       |   |   |        |        |        |        |       |     |     | 250,0  |      | 250,0  | 445,4  | 62,5  |     |     | 250,0  |      | 757,9  |
| Шойна             | 757,0  | 89,0  |   |   | 1500,0 | 30,0   | 2376,0 | 736,5  | 60,7  | 0,1 | 0,2 | 600,0  | 63,2 | 1460,7 | 450,2  | 40,1  | 0,2 | 0,2 | 900,0  | 18,7 | 1409,4 |
| Мезень            | 532,0  | 30,0  |   |   | 300,0  | 3,0    | 865,0  | 228,2  | 31,5  | 0,1 | 0,2 | 400,0  | 3,0  | 663,0  | 224,4  | 28,4  | 0,1 | 0,2 | 400,0  | 2,4  | 655,5  |
| Индига            | 405,0  | 43,0  |   |   | 500,0  | 5,0    | 953,0  | 422,1  | 28,4  | 0,1 | 0,2 | 300,0  | 67,7 | 818,5  | 215,8  | 32,9  | 0,1 | 0,2 | 200,0  | 2,2  | 451,2  |
| Нижняя Пеша       | 351,0  | 35,0  |   |   | 1500,0 | 15,0   | 1901,0 | 320,2  | 44,0  |     |     | 1200,0 | 2,7  | 1566,9 | 336,2  | 23,2  | 0,2 | 0,2 | 600,0  | 3,3  | 963,1  |
| Нарьян-Мар        | 2781,0 | 187,0 |   |   | 600,0  | 36,0   | 3604,0 | 1454,9 | 224,4 | 0,2 | 0,2 | 1600,0 | 22,0 | 3301,7 | 1287,9 | 199,0 |     |     | 1000,0 |      | 2486,9 |
| Амдерма           |        |       |   |   |        |        |        |        | 3,1   |     |     |        |      | 3,1    |        |       |     |     |        |      |        |
| Умба              |        |       |   |   |        |        |        |        |       |     |     | 600,0  |      | 600,0  |        |       |     |     |        |      |        |
| Канин Нос         |        |       |   |   |        |        |        |        |       |     |     | 20,0   |      | 20,0   |        |       |     |     |        |      |        |
| о. Панкратьева    |        | 7,0   |   |   |        | 1,0    | 8,0    | 640,4  | 7,0   |     | 0,7 |        | 25,0 | 673,1  | 527,6  | 10,4  | 0,1 | 0,3 |        | 0,7  | 539,1  |
| Архангельск вывоз |        |       |   |   |        | 1717,0 | 1717,0 |        |       |     |     |        |      |        |        |       |     |     |        |      |        |

Продолжение таблицы А.2

| 1                                                         | 2       | 3 | 4 | 5 | 6       | 7 | 8       | 9       | 10    | 11 | 12  | 13      | 14     | 15      | 16      | 17    | 18 | 19  | 20      | 21  | 22      |
|-----------------------------------------------------------|---------|---|---|---|---------|---|---------|---------|-------|----|-----|---------|--------|---------|---------|-------|----|-----|---------|-----|---------|
| Терско-Орловский                                          |         |   |   |   |         |   |         |         |       |    |     | 40,0    | 20,0   |         |         |       |    |     |         |     |         |
| Сосновецкий                                               |         |   |   |   |         |   |         |         |       |    |     | 40,0    |        | 40,0    |         |       |    |     |         |     |         |
| Северодвинск                                              |         |   |   |   |         |   |         |         | 198,6 |    |     |         |        | 198,6   |         | 258,0 |    |     |         |     | 258,0   |
| Всего за Ленинградский военный округ (в речном сообщении) |         |   |   |   | 2800,0  |   | 2800,0  | 125,8   | 26,6  |    | 0,3 | 160,0   | 1803,0 | 2115,7  | 140,0   | 18,3  |    | 0,1 | 1960,0  | 2,0 | 2120,4  |
| Усть-Пинега                                               |         |   |   |   | 150,0   |   | 150,0   |         |       |    |     |         |        |         |         |       |    |     |         |     |         |
| Двинский Березник                                         |         |   |   |   | 150,0   |   | 150,0   | 125,8   | 26,6  |    | 0,3 | 160,0   | 3,0    | 315,7   | 140,0   | 18,3  |    | 0,1 | 160,0   | 2,0 | 320,4   |
| Черный Яр                                                 |         |   |   |   | 1800,0  |   | 1800,0  |         |       |    |     |         | 1800,0 | 1800,0  |         |       |    |     | 1800,0  |     | 1800,0  |
| Верх. Тойма                                               |         |   |   |   | 700,0   |   | 700,0   |         |       |    |     |         |        |         |         |       |    |     |         |     |         |
| Всего за Северный флот (в морском сообщении)              | 49000,0 |   |   |   | 11450,0 |   | 60450,0 | 26000,0 |       |    |     | 12000,0 |        | 38000,0 | 38600,0 |       |    |     | 10020,0 |     | 48620,0 |
| Белушья                                                   | 14000,0 |   |   |   |         |   | 14000,0 | 10000,0 |       |    |     |         |        | 10000,0 | 9100,0  |       |    |     |         |     | 9100,0  |
| Маточкин Шар                                              | 4000,0  |   |   |   |         |   | 4000,0  | 2000,0  |       |    |     |         |        | 2000,0  | 4000,0  |       |    |     |         |     | 4000,0  |

Продолжение таблицы А.2

| 1              | 2       | 3 | 4 | 5 | 6      | 7 | 8       | 9      | 10 | 11 | 12 | 13     | 14 | 15     | 16      | 17 | 18 | 19 | 20     | 21 | 22      |
|----------------|---------|---|---|---|--------|---|---------|--------|----|----|----|--------|----|--------|---------|----|----|----|--------|----|---------|
| Рогачево       | 1000,0  |   |   |   |        |   | 1000,0  | 4000,0 |    |    |    |        |    | 4000,0 | 4000,0  |    |    |    |        |    | 4000,0  |
| г. Оленья      |         |   |   |   | 3000,0 |   | 3000,0  |        |    |    |    | 3000,0 |    | 3000,0 | 50,0    |    |    |    | 3000,0 |    | 3050,0  |
| Полярный       | 2000,0  |   |   |   | 4000,0 |   | 6000,0  | 2000,0 |    |    |    | 4000,0 |    | 6000,0 | 2000,0  |    |    |    | 3500,0 |    | 5500,0  |
| Русская гавань |         |   |   |   |        |   |         |        |    |    |    |        |    |        | 100,0   |    |    |    |        |    | 100,0   |
| Мишуково       |         |   |   |   | 3500,0 |   | 3500,0  |        |    |    |    | 3500,0 |    | 3500,0 | 300,0   |    |    |    | 2500,0 |    | 2800,0  |
| Западная Лица  | 20000,0 |   |   |   |        |   | 20000,0 | 3000,0 |    |    |    | 1000,0 |    | 4000,0 | 10000,0 |    |    |    | 500,0  |    | 10500,0 |
| Видяево        |         |   |   |   | 500,0  |   | 500,0   | 5000,0 |    |    |    | 500,0  |    | 5500,0 |         |    |    |    | 500,0  |    | 500,0   |
| губа Ягельная  | 4000,0  |   |   |   |        |   | 4000,0  |        |    |    |    |        |    |        | 6000,0  |    |    |    |        |    | 6000,0  |
| Чижа           |         |   |   |   | 450,0  |   | 450,0   |        |    |    |    |        |    |        |         |    |    |    | 20,0   |    | 20,0    |
| губа Ара       | 2000,0  |   |   |   |        |   | 2000,0  |        |    |    |    |        |    |        | 3000,0  |    |    |    |        |    | 3000,0  |
| губа Ура       | 2000,0  |   |   |   |        |   |         |        |    |    |    |        |    |        |         |    |    |    |        |    |         |

Продолжение таблицы А.2

| 1                                                     | 2 | 3     | 4    | 5   | 6      | 7   | 8      | 9       | 10     | 11    | 12   | 13      | 14    | 15      | 16      | 17     | 18   | 19   | 20 | 21 | 22      |
|-------------------------------------------------------|---|-------|------|-----|--------|-----|--------|---------|--------|-------|------|---------|-------|---------|---------|--------|------|------|----|----|---------|
| Озерко                                                |   |       |      |     | 2000,0 |     | 2000,0 |         |        |       |      |         |       |         |         |        |      |      |    |    |         |
| губа Грибовая                                         |   |       |      |     |        |     |        |         |        |       |      |         |       |         | 50,0    | 50,0   |      |      |    |    | 50,0    |
| мал. Кармакулы                                        |   |       |      |     |        |     |        |         |        |       |      |         |       |         | 50,0    |        |      |      |    |    | 50,0    |
| Всего за Северный флот (в речном сообщении)           |   |       |      |     | 3500,0 |     | 3500,0 |         |        |       |      | 2500,0  |       | 2500,0  |         |        |      |      |    |    | 2980,0  |
| Кашкаранцы                                            |   |       |      |     |        |     |        |         |        |       |      |         |       |         |         |        |      |      |    |    | 250,0   |
| Умба                                                  |   |       |      |     |        |     |        |         |        |       |      |         |       |         |         |        |      |      |    |    | 500,0   |
| Шойна                                                 |   |       |      |     |        |     |        |         |        |       |      |         |       |         |         |        |      |      |    |    | 80,0    |
| Терско-Орловский                                      |   |       |      |     |        |     |        |         |        |       |      |         |       |         |         |        |      |      |    |    | 30,0    |
| Канин Нос                                             |   |       |      |     |        |     |        |         |        |       |      |         |       |         |         |        |      |      |    |    | 40,0    |
| Сосновецкий                                           |   |       |      |     |        |     |        |         |        |       |      |         |       |         |         |        |      |      |    |    | 80,0    |
| Рембуево                                              |   |       |      |     | 3500,0 |     | 3500,0 |         |        |       |      | 2500,0  |       | 2500,0  |         |        |      |      |    |    | 2000,0  |
| Всего за Сибирский военный округ (в речном сообщении) |   | 368,8 | 26,6 | 2,5 | 4000,0 | 6,0 | 4403,9 | 29361,6 | 1406,8 | 100,1 | 16,3 | 21660,0 | 624,0 | 53168,8 | 28826,1 | 2104,4 | 49,2 | 41,6 |    |    | 27400,0 |
| Гыда                                                  |   | 4,3   |      |     |        |     | 4,3    |         | 3,4    |       |      |         |       | 3,4     |         |        |      |      |    |    |         |
| м. Каменный                                           |   | 20,8  | 0,5  |     |        |     | 21,3   |         | 5,0    |       |      |         |       | 5,0     |         |        |      |      |    |    |         |

Продолжение таблицы А.2

| 1              | 2 | 3     | 4    | 5   | 6      | 7   | 8      | 9       | 10    | 11   | 12  | 13     | 14    | 15      | 16      | 17     | 18   | 19   | 20      | 21   | 22      |
|----------------|---|-------|------|-----|--------|-----|--------|---------|-------|------|-----|--------|-------|---------|---------|--------|------|------|---------|------|---------|
| Салехард       |   |       |      |     |        |     |        |         |       |      |     |        |       |         |         |        |      |      |         |      |         |
| Ханты-Мансийск |   | 12,1  |      |     |        |     | 12,1   |         | 12,1  |      |     |        |       | 12,1    |         | 3,0    |      |      |         |      | 3,0     |
| Тара           |   |       |      |     |        |     |        |         |       |      |     |        |       |         |         |        |      |      |         |      |         |
| Колпашево      |   |       | 17,3 | 0,6 | 4000,0 |     | 4017,9 | 175,0   |       | 60,0 | 0,6 | 4400,0 |       | 4635,6  | 368,8   |        | 10,8 | 2,4  | 10500,0 |      | 10882,0 |
| Дудинка        |   | 244,7 | 8,3  | 1,9 |        | 6,0 | 260,9  | 1910,0  | 191,1 | 12,0 | 1,4 |        |       | 2114,5  | 1678,0  | 122,3  | 8,6  | 7,2  |         |      | 1816,1  |
| Игарка         |   | 17,6  |      |     |        |     | 17,6   |         | 17,6  |      |     |        |       | 17,6    |         | 5,4    |      |      |         |      | 5,4     |
| Туруханск      |   | 34,8  |      |     |        |     | 34,8   |         | 34,8  |      |     |        |       | 34,8    |         | 3,4    |      |      |         |      | 3,4     |
| Сумароково     |   | 15,9  |      |     |        |     | 15,9   |         | 15,9  |      |     |        |       | 15,9    |         | 2,7    |      |      |         |      | 2,7     |
| Зеленый Мыс    |   |       |      |     |        |     |        | 334,6   | 35,3  | 1,0  | 2,4 |        |       | 373,3   | 251,0   | 52,3   | 1,1  | 2,4  |         |      | 306,8   |
| Пеледуй        |   |       |      |     |        |     |        | 767,3   | 93,3  | 1,0  | 2,4 |        | 212,0 | 1076,0  | 732,3   | 70,5   | 0,4  | 2,4  |         | 12,0 | 817,6   |
| Таймырлыр      |   |       |      |     |        |     |        | 2560,0  |       |      | 0,6 |        |       | 2560,6  | 2125,0  |        |      | 6,2  |         |      | 2131,2  |
| Якутск         |   |       |      |     |        |     |        | 512,0   | 645,0 | 12,0 | 4,2 |        | 51,0  | 1224,2  | 559,0   | 1200,5 | 13,2 | 8,6  |         | 45,0 | 1826,3  |
| Тикси          |   |       |      |     |        |     |        | 23102,7 | 315,3 | 8,0  | 4,7 |        | 355,0 | 23785,7 | 23112,0 | 554,2  | 15,1 | 12,4 |         | 48,0 | 23741,7 |

Продолжение таблицы А.2

| 1                                                            | 2       | 3      | 4    | 5    | 6       | 7      | 8       | 9       | 10     | 11   | 12   | 13      | 14      | 15      | 16      | 17     | 18      | 19  | 20 | 21     | 22      |
|--------------------------------------------------------------|---------|--------|------|------|---------|--------|---------|---------|--------|------|------|---------|---------|---------|---------|--------|---------|-----|----|--------|---------|
| Чокурдах                                                     |         |        |      |      |         |        |         |         | 11,7   | 7,7  |      |         |         |         |         |        |         |     |    |        |         |
| Черский                                                      |         |        |      |      |         |        |         |         | 11,7   | 1,4  |      |         |         |         |         | 51,6   | 21,6    |     |    |        |         |
| Норильск                                                     |         |        |      |      |         |        |         |         |        |      |      |         | 6,0     |         |         |        |         |     |    |        | 6,0     |
| Нижнеянск                                                    |         |        |      |      |         |        |         |         |        | 2,1  |      |         |         |         |         |        |         |     |    |        |         |
| Енисейск                                                     |         |        |      |      |         |        |         |         |        |      |      | 17260,0 |         |         |         |        |         |     |    |        | 16900,0 |
| Хатанга                                                      |         | 18,6   | 0,5  |      |         |        | 19,1    |         | 18,6   | 1,2  |      |         |         |         |         | 19,8   | 17260,0 | 2,1 |    |        | 6,0     |
| Всего за Дальневосточный военный округ (в морском сообщении) | 17819,5 | 1751,6 | 45,9 | 13,0 | 36966,0 | 1779,6 | 58375,6 | 21338,5 | 1726,6 | 60,9 | 43,0 | 3300,0  | 13471,6 | 39940,6 | 28216,8 | 5385,0 | 1280,2  |     |    | 3500,0 | 6424,1  |
| Магадан                                                      | 279,4   | 45,0   | 3,0  |      | 3500,0  | 55,0   | 3882,4  |         |        | 2,0  | 3,0  |         |         | 5,0     |         |        | 2,4     |     |    | 1,8    | 4,2     |
| Петропавловск                                                |         |        |      |      |         |        |         |         |        |      |      |         |         |         |         |        |         |     |    |        | 5,3     |
| Корсаков                                                     | 5800,0  |        |      |      | 30000,0 |        | 35800,0 | 3700,0  |        |      |      |         |         | 3700,0  | 5200,0  | 2555,0 |         |     |    |        | 110,0   |
| Крильон                                                      | 469,3   |        |      |      |         | 76,5   | 545,8   | 524,8   |        |      |      |         |         | 524,8   | 340,0   |        |         |     |    |        |         |
| Буревестник                                                  | 10004,2 | 970,1  | 30,0 | 8,0  |         | 681,1  | 11693,4 |         |        |      |      |         |         |         |         |        |         |     |    |        | 340,0   |

Продолжение таблицы А.2

| 1              | 2     | 3     | 4    | 5   | 6      | 7     | 8      | 9       | 10    | 11   | 12   | 13     | 14     | 15      | 16      | 17     | 18    | 19 | 20     | 21     | 22      |
|----------------|-------|-------|------|-----|--------|-------|--------|---------|-------|------|------|--------|--------|---------|---------|--------|-------|----|--------|--------|---------|
| Ванино         |       |       |      |     |        | 315,0 | 315,0  |         |       |      | 15,0 |        | 7975,6 | 7990,6  |         |        | 210,0 |    |        | 3006,0 | 3216,0  |
| Южно-Сахалинск |       |       |      |     |        |       |        |         |       |      |      |        |        |         |         |        | 805,0 |    |        | 206,0  | 1011,0  |
| Южно-Курильск  | 279,4 | 722,5 | 12,0 | 5,0 | 150,0  | 335,0 | 1503,9 |         |       |      |      |        |        |         |         |        |       |    |        |        |         |
| о. Русский     |       |       |      |     | 280,0  |       | 280,0  |         |       |      |      | 280,0  |        | 280,0   |         |        |       |    | 280,0  |        | 280,0   |
| Поворотный     | 372,2 |       |      |     |        | 55,0  | 427,2  | 318,4   |       |      |      |        |        |         |         |        |       |    |        |        |         |
| Валентин       | 20,4  |       |      |     | 480,0  |       | 500,4  | 115,7   |       |      |      | 480,0  |        | 595,7   | 85,0    |        |       |    | 480,0  |        | 565,0   |
| Тимофеевка     | 32,3  |       |      |     | 2016,0 | 36,0  | 2084,3 | 230,5   |       |      |      | 2000,0 |        | 2230,5  |         |        |       |    | 2000,0 |        | 2000,0  |
| Гамово         |       |       |      |     |        |       |        |         |       |      |      |        |        |         |         |        |       |    |        |        |         |
| Терней         | 222,5 |       |      |     |        | 34,0  | 256,5  | 192,0   |       |      |      |        |        | 192,0   | 105,0   |        |       |    |        |        | 105,0   |
| Кема           | 31,3  |       |      |     | 540,0  | 5,0   | 576,3  | 555,9   |       |      |      | 540,0  |        | 1095,9  | 390,0   |        |       |    | 540,0  |        | 930,0   |
| Светлая        | 308,5 | 14,0  | 0,9  |     |        | 67,0  | 390,4  | 261,0   | 34,0  | 0,9  |      |        |        | 295,9   | 203,0   | 50,0   |       |    |        |        | 253,0   |
| Итуруп         |       |       |      |     |        | 60,0  | 60,0   | 11187,3 | 970,1 | 40,0 | 10,0 |        | 2909,0 | 15116,4 | 15630,0 | 1880,0 | 141,3 |    |        | 1815,0 | 19466,3 |

Продолжение таблицы А.2

| 1                                                           | 2       | 3      | 4    | 5    | 6       | 7     | 8       | 9      | 10    | 11   | 12   | 13      | 14     | 15      | 16     | 17    | 18    | 19 | 20      | 21     | 22      |
|-------------------------------------------------------------|---------|--------|------|------|---------|-------|---------|--------|-------|------|------|---------|--------|---------|--------|-------|-------|----|---------|--------|---------|
| Кунашир                                                     |         |        |      |      |         | 60,0  | 60,0    | 4252,9 | 722,5 | 18,0 | 15,0 |         | 2587,0 | 7595,4  | 6143,8 | 900,0 | 121,5 |    | 200,0   | 1280,0 | 8645,3  |
| Всего за Дальневосточный военный округ (в речном сообщении) | 26908,4 | 1121,5 | 31,0 | 11,0 | 15100,0 | 118,6 | 43290,5 | 203,7  |       | 0,5  |      | 13830,0 | 520,0  | 14554,2 |        |       |       |    | 12600,0 | 10,0   | 12610,0 |
| Билибино                                                    | 319,6   | 35,3   | 1,0  | 0,5  |         | 0,6   | 357,0   |        |       |      |      |         |        |         |        |       |       |    |         |        |         |
| Вятское                                                     |         |        |      |      | 8420,0  |       | 8420,0  |        |       |      |      | 7720,0  |        | 7720,0  |        |       |       |    | 8010,0  |        | 8010,0  |
| Мариинское                                                  |         |        | 0,5  |      | 1500,0  |       | 1500,5  | 203,7  |       | 0,5  |      | 930,0   |        | 1134,2  |        |       |       |    | 930,0   |        | 930,0   |
| Николаевск                                                  |         |        |      |      |         | 10,0  | 10,0    |        |       |      |      |         | 10,0   | 10,0    |        |       |       |    |         | 10,0   | 10,0    |
| Норск                                                       |         |        |      |      | 3500,0  |       | 3500,0  |        |       |      |      | 3500,0  |        | 3500,0  |        |       |       |    | 2000,0  |        | 2000,0  |
| Пеледуй                                                     | 701,5   | 93,3   | 1,0  | 1,0  |         | 12,0  | 808,8   |        |       |      |      |         | 200,0  | 200,0   |        |       |       |    |         |        |         |
| Синда                                                       |         |        |      |      | 1680,0  |       | 1680,0  |        |       |      |      | 1680,0  |        | 1680,0  |        |       |       |    | 1660,0  |        | 1660,0  |
| Таймырлыр                                                   | 2560,0  |        |      | 0,6  |         |       | 2560,6  |        |       |      |      |         |        |         |        |       |       |    |         |        |         |
| Тикси                                                       | 23102,7 | 311,2  | 12,5 | 4,7  |         | 48,0  | 23479,1 |        |       |      |      |         | 310,0  | 310,0   |        |       |       |    |         |        |         |



Продолжение таблицы А.2

| 1                                                 | 2       | 3      | 4    | 5   | 6        | 7      | 8        | 9       | 10     | 11   | 12 | 13       | 14     | 15       | 16      | 17 | 18 | 19 | 20      | 21      | 22       |
|---------------------------------------------------|---------|--------|------|-----|----------|--------|----------|---------|--------|------|----|----------|--------|----------|---------|----|----|----|---------|---------|----------|
| Хатанга                                           |         | 16,8   |      |     |          |        | 16,8     |         |        |      |    |          |        |          |         |    |    |    |         |         |          |
| Черский                                           |         | 11,7   | 0,4  |     |          |        | 12,1     |         |        |      |    |          |        |          |         |    |    |    |         |         |          |
| Чокурдах                                          |         | 7,7    | 0,4  |     |          |        | 8,1      |         |        |      |    |          |        |          |         |    |    |    |         |         |          |
| Якутск                                            | 224,6   | 645,5  | 15,2 | 4,2 |          | 48,0   | 937,5    |         |        |      |    |          |        |          |         |    |    |    |         |         |          |
| Всего за Тихоокеанский Флот (в морском сообщении) | 35282,6 | 6380,5 | 24,0 | 5,0 | 120284,0 | 7606,7 | 169582,8 | 37821,5 | 4131,1 | 32,5 |    | 131756,0 | 3042,0 | 176783,1 | 88096,7 |    |    |    | 58541,5 | 120,2   | 146758,4 |
| Анадырь                                           | 2266,0  | 740,4  | 4,0  | 3,0 |          | 325,0  | 3338,4   | 8050,0  | 17,3   | 12,5 |    |          | 300,0  | 8379,8   | 8245,0  |    |    |    |         |         | 8245,0   |
| Беринговский                                      | 1363,8  | 86,3   | 20,0 | 2,0 |          | 190,0  | 1662,1   | 1300,0  |        |      |    |          |        | 1300,0   |         |    |    |    |         |         |          |
| Сиреники                                          | 493,2   |        |      |     |          |        | 493,2    | 482,0   |        |      |    |          |        | 482,0    |         |    |    |    |         |         |          |
| Усть-Камчатск                                     | 14200,0 |        |      |     | 6300,0   | 55,0   | 20555,0  | 13550,0 | 833,1  | 20,0 |    | 7500,0   | 870,0  | 22773,1  | 13449,0 |    |    |    |         | 5916,0  | 19365,0  |
| П-Камчатский                                      |         | 4790,0 |      |     | 86700,0  | 6868,0 | 98358,0  | 13000,0 | 2825,0 |      |    | 95000,0  | 1872,0 | 112697,0 | 66350,0 |    |    |    |         | 39000,0 | 105350,0 |
| п. Никольское                                     | 19,0    |        |      |     | 150,0    |        | 169,0    | 20,0    |        |      |    | 250,0    |        | 270,0    | 14,0    |    |    |    |         | 225,0   | 97,1     |

Продолжение таблицы А.2

| 1              | 2       | 3     | 4 | 5 | 6     | 7     | 8       | 9     | 10    | 11 | 12 | 13    | 14 | 15    | 16 | 17 | 18 | 19 | 20    | 21  | 22    |
|----------------|---------|-------|---|---|-------|-------|---------|-------|-------|----|----|-------|----|-------|----|----|----|----|-------|-----|-------|
| Чаплино        | 279,7   |       |   |   |       |       | 279,7   | 302,0 |       |    |    |       |    | 302,0 |    |    |    |    |       |     |       |
| Ратманова      | 344,4   |       |   |   |       |       | 344,4   | 151,5 |       |    |    |       |    | 151,5 |    |    |    |    |       |     |       |
| Рыбачий        |         |       |   |   |       |       |         |       |       |    |    | 600,0 |    | 600,0 |    |    |    |    |       |     |       |
| Северокурильск | 100,0   |       |   |   |       |       | 100,0   |       |       |    |    |       |    |       |    |    |    |    |       |     |       |
| Уэлен          | 142,9   |       |   |   |       |       | 142,9   | 83,0  |       |    |    |       |    | 83,0  |    |    |    |    |       |     |       |
| Первый         | 3,4     |       |   |   | 320,0 |       | 323,4   |       |       |    |    | 320,0 |    | 320,0 |    |    |    |    |       |     |       |
| Провидения     | 2223,0  | 93,0  |   |   |       |       | 2316,0  | 813,0 | 165,0 |    |    |       |    | 978,0 |    |    |    |    |       |     |       |
| Лаврентия      | 105,0   |       |   |   |       |       | 105,0   |       |       |    |    |       |    |       |    |    |    |    |       |     |       |
| Лорино         | 33,0    |       |   |   |       |       | 33,0    |       |       |    |    |       |    |       |    |    |    |    |       |     |       |
| Ключи          | 13370,0 | 425,8 |   |   |       | 150,0 | 13945,8 |       |       |    |    |       |    |       |    |    |    |    |       |     |       |
| м. Алевина     | 65,5    | 3,2   |   |   | 100,0 | 2,4   | 171,1   |       | 4,3   |    |    | 86,0  |    | 90,3  |    |    |    |    | 100,0 |     | 100,0 |
| м. Таран       | 38,5    | 2,7   |   |   | 100,0 | 0,8   | 142,0   |       | 3,5   |    |    | 85,0  |    | 88,5  |    |    |    |    | 100,0 |     | 100,0 |
| м. Желтый      |         |       |   |   |       |       |         |       |       |    |    |       |    |       |    |    |    |    | 30,0  | 0,1 | 30,1  |

Продолжение таблицы А.2

| 1              | 2   | 3 | 4 | 5 | 6      | 7 | 8      | 9   | 10 | 11 | 12 | 13     | 14 | 15     | 16  | 17 | 18 | 19 | 20     | 21  | 22     |
|----------------|-----|---|---|---|--------|---|--------|-----|----|----|----|--------|----|--------|-----|----|----|----|--------|-----|--------|
| РТП Круглый    | 6,0 |   |   |   | 55,0   |   | 61,0   | 6,0 |    |    |    | 55,0   |    | 61,0   | 0,2 |    |    |    | 30,0   | 5,0 | 35,2   |
| м. Круглый     | 2,4 |   |   |   | 20,0   |   | 22,4   | 2,7 |    |    |    | 124,0  |    | 126,7  | 2,5 |    |    |    | 30,0   | 1,0 | 33,5   |
| м. Налычево    | 4,8 |   |   |   | 200,0  |   | 204,8  | 4,8 |    |    |    | 200,0  |    | 204,8  |     |    |    |    | 200,0  |     | 200,0  |
| Козьино        |     |   |   |   | 60,0   |   | 60,0   |     |    |    |    |        |    |        |     |    |    |    |        |     |        |
| м. Карагинский | 4,0 |   |   |   | 12,0   |   | 16,0   | 5,2 |    |    |    | 196,0  |    | 201,2  |     |    |    |    | 27,0   | 0,3 | 27,3   |
| РНС Подгорная  | 5,2 |   |   |   | 90,0   |   | 95,2   | 4,4 |    |    |    | 153,0  |    | 157,4  |     |    |    |    | 110,0  | 0,5 | 110,5  |
| б. Павловского |     |   |   |   | 1933,0 |   | 1933,0 |     |    |    |    | 1329,0 |    | 1329,0 |     |    |    |    | 1329,0 |     | 1329,0 |
| м. Васильева   |     |   |   |   | 72,0   |   | 72,0   | 3,0 |    |    |    | 81,0   |    | 84,0   | 7,7 |    |    |    | 60,0   | 0,5 | 68,2   |
| м. Чибуйный    | 2,0 |   |   |   | 60,0   |   | 62,0   | 2,0 |    |    |    | 163,0  |    | 165,0  | 1,5 |    |    |    | 60,0   | 0,6 | 62,1   |
| м. Курбатова   | 3,5 |   |   |   | 70,0   |   | 73,5   | 3,5 |    |    |    | 183,0  |    | 186,5  | 3,5 |    |    |    | 60,0   | 1,1 | 64,6   |
| РСН Ловцова    | 4,7 |   |   |   |        |   | 4,7    |     |    |    |    |        |    |        |     |    |    |    |        |     |        |
| м.Ловцова      | 1,0 |   |   |   | 35,0   |   | 36,0   |     |    |    |    |        |    |        |     |    |    |    |        |     |        |
| м.Ломанон      |     |   |   |   | 80,0   |   | 80,0   |     |    |    |    |        |    |        |     |    |    |    |        |     |        |
| м. Лопатка     |     |   |   |   | 100,0  |   | 100,0  | 2,0 |    |    |    | 150,0  |    | 152,0  | 1,5 |    |    |    | 60,0   | 0,4 | 61,9   |

Продолжение таблицы А.2

| 1                | 2    | 3 | 4 | 5 | 6       | 7 | 8       | 9    | 10 | 11 | 12 | 13      | 14 | 15      | 16   | 17 | 18 | 19 | 20     | 21  | 22     |
|------------------|------|---|---|---|---------|---|---------|------|----|----|----|---------|----|---------|------|----|----|----|--------|-----|--------|
| РТП Шипунский    | 10,5 |   |   |   |         |   | 10,5    | 10,5 |    |    |    |         |    | 10,5    | 10,5 |    |    |    |        | 5,0 | 15,5   |
| м. Шипунский     | 4,0  |   |   |   | 15,0    |   | 19,0    | 5,0  |    |    |    | 15,0    |    | 20,0    | 4,0  |    |    |    | 15,0   | 1,9 | 20,9   |
| м. Кроноцкий     | 1,0  |   |   |   | 40,0    |   | 41,0    | 2,0  |    |    |    | 81,0    |    | 83,0    | 1,5  |    |    |    | 20,0   | 0,3 | 21,8   |
| м.Африка         | 5,0  |   |   |   | 108,0   |   | 113,0   | 4,6  |    |    |    | 239,0   |    | 243,6   |      |    |    |    | 120,0  | 0,3 | 120,3  |
| б. Березовая     | 10,5 |   |   |   |         |   | 10,5    | 10,5 |    |    |    |         |    | 10,5    |      |    |    |    |        |     |        |
| о.Русский        |      |   |   |   | 15000,0 |   | 15000,0 |      |    |    |    | 15000,0 |    | 15000,0 |      |    |    |    | 3100,0 |     | 3100,0 |
| м. Русская Кошка | 1,4  |   |   |   |         |   | 1,4     | 1,4  |    |    |    |         |    | 1,4     |      |    |    |    |        |     |        |
| 213 УГС Ольга    | 2,4  |   |   |   | 280,0   |   | 282,4   |      |    |    |    |         |    |         |      |    |    |    |        |     |        |
| 195 РСН Ольга    | 4,5  |   |   |   |         |   | 4,5     |      |    |    |    |         |    |         |      |    |    |    |        |     |        |
| Озерно-Западный  | 1,4  |   |   |   | 85,0    |   | 86,4    |      |    |    |    |         |    |         | 4,3  |    |    |    |        |     | 4,3    |
| Усть-Большерецк  | 28,0 |   |   |   |         |   | 28,0    |      |    |    |    |         |    |         |      |    |    |    |        | 5,0 | 5,0    |
| м. Большерецкий  |      |   |   |   | 20,0    |   | 20,0    |      |    |    |    | 108,0   |    | 108,0   |      |    |    |    |        | 0,5 | 0,5    |
| м. Крутогорова   | 1,0  |   |   |   | 80,0    |   | 81,0    | 2,0  |    |    |    | 89,0    |    | 91,0    | 1,5  |    |    |    | 25,0   | 0,2 | 26,7   |
| м. Озерко-Запад. | 1,4  |   |   |   | 85,0    |   | 86,4    | 0,4  |    |    |    | 95,0    |    | 95,4    |      |    |    |    | 60,0   |     | 60,0   |

Продолжение таблицы А.2

| 1                  | 2   | 3     | 4 | 5 | 6     | 7   | 8     | 9 | 10    | 11 | 12 | 13    | 14 | 15    | 16 | 17 | 18 | 19 | 20    | 21 | 22    |
|--------------------|-----|-------|---|---|-------|-----|-------|---|-------|----|----|-------|----|-------|----|----|----|----|-------|----|-------|
| Магадан            |     | 227,3 |   |   |       |     | 227,3 |   | 267,0 |    |    |       |    | 267,0 |    |    |    |    |       |    |       |
| м. Марекан         | 2,6 | 3,2   |   |   | 100,0 | 2,5 | 108,3 |   | 4,3   |    |    | 68,0  |    | 72,3  |    |    |    |    | 100,0 |    | 100,0 |
| м. Спафарьева      | 4,9 | 2,7   |   |   | 100,0 | 6,5 | 114,1 |   | 3,0   |    |    | 64,0  |    | 67,0  |    |    |    |    | 100,0 |    | 100,0 |
| Корсаков 1977 ОМИС |     |       |   |   |       |     |       |   |       |    |    | 500,0 |    | 500,0 |    |    |    |    | 40,0  |    | 40,0  |
| Корсаков 63846-В   |     |       |   |   | 110,0 |     | 110,0 |   |       |    |    |       |    |       |    |    |    |    |       |    |       |
| м. Таран           | 1,5 |       |   |   | 100,0 |     | 101,5 |   |       |    |    |       |    |       |    |    |    |    |       |    |       |
| м. Алевина         | 2,6 |       |   |   | 100,0 |     | 102,6 |   |       |    |    |       |    |       |    |    |    |    |       |    |       |
| м. Чирикова        | 1,7 | 3,2   |   |   | 100,0 | 5,0 | 109,9 |   | 4,3   |    |    | 70,0  |    | 74,3  |    |    |    |    | 100,0 |    | 100,0 |
| м. Дуга Восточ.    | 6,2 | 2,7   |   |   |       | 1,5 | 10,4  |   | 4,3   |    |    |       |    | 4,3   |    |    |    |    |       |    |       |
| м. Чайво           |     |       |   |   | 47,0  |     | 47,0  |   |       |    |    | 50,0  |    | 50,0  |    |    |    |    |       |    | 52,0  |
| м. Песчаный        |     |       |   |   | 250,0 |     | 250,0 |   |       |    |    | 200,0 |    | 200,0 |    |    |    |    |       |    | 260,0 |
| РНС Белкина        |     |       |   |   | 190,0 |     | 190,0 |   |       |    |    |       |    |       |    |    |    |    |       |    |       |
| РТП Белкина        |     |       |   |   | 90,0  |     | 90,0  |   |       |    |    | 110,0 |    | 110,0 |    |    |    |    |       |    | 80,0  |
| м. Скрыплева       | 2,9 |       |   |   |       |     | 2,9   |   |       |    |    |       |    |       |    |    |    |    |       |    |       |

Продолжение таблицы А.2

| 1                 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6     | 7 | 8     | 9 | 10 | 11 | 12 | 13    | 14 | 15    | 16 | 17 | 18 | 19 | 20    | 21 | 22    |
|-------------------|---|---|---|---|-------|---|-------|---|----|----|----|-------|----|-------|----|----|----|----|-------|----|-------|
| м. Белкина        |   |   |   |   | 40,0  |   | 40,0  |   |    |    |    | 180,0 |    | 180,0 |    |    |    |    |       |    |       |
| м. Сосунова       |   |   |   |   | 20,0  |   | 20,0  |   |    |    |    | 20,0  |    | 20,0  |    |    |    |    | 20,0  |    | 20,0  |
| м.Золотой         |   |   |   |   | 120,0 |   | 120,0 |   |    |    |    | 110,0 |    | 110,0 |    |    |    |    | 120,0 |    | 120,0 |
| РТП Золотой       |   |   |   |   | 90,0  |   | 90,0  |   |    |    |    |       |    |       |    |    |    |    | 110,0 |    | 110,0 |
| м.Датта           |   |   |   |   |       |   |       |   |    |    |    | 60,0  |    | 60,0  |    |    |    |    |       |    |       |
| м. Орлова         |   |   |   |   | 200,0 |   | 200,0 |   |    |    |    | 160,0 |    | 160,0 |    |    |    |    | 200,0 |    | 200,0 |
| м. Пронге         |   |   |   |   | 60,0  |   | 60,0  |   |    |    |    | 70,0  |    | 70,0  |    |    |    |    | 75,0  |    | 75,0  |
| м. Пильтун        |   |   |   |   | 45,0  |   | 45,0  |   |    |    |    | 60,0  |    | 60,0  |    |    |    |    | 50,0  |    | 50,0  |
| м. Елизавета      |   |   |   |   | 103,0 |   | 103,0 |   |    |    |    | 103,0 |    | 103,0 |    |    |    |    | 113,0 |    | 113,0 |
| м. Литке          |   |   |   |   | 20,0  |   | 20,0  |   |    |    |    | 20,0  |    | 20,0  |    |    |    |    | 25,0  |    | 25,0  |
| м. Меньшиков      |   |   |   |   | 30,0  |   | 30,0  |   |    |    |    | 30,0  |    | 30,0  |    |    |    |    | 38,0  |    | 38,0  |
| м. Уарке          |   |   |   |   | 50,0  |   | 50,0  |   |    |    |    | 50,0  |    | 50,0  |    |    |    |    | 55,0  |    | 55,0  |
| Гс.СНО Валуевские |   |   |   |   | 30,0  |   | 30,0  |   |    |    |    | 30,0  |    | 30,0  |    |    |    |    | 58,0  |    | 58,0  |
| Гр.СНО Джоаре     |   |   |   |   | 15,0  |   | 15,0  |   |    |    |    | 15,0  |    | 15,0  |    |    |    |    | 20,0  |    | 20,0  |
| м. Лазарева       |   |   |   |   | 50,0  |   | 50,0  |   |    |    |    | 50,0  |    | 50,0  |    |    |    |    | 55,0  |    | 55,0  |

Продолжение таблицы А.2

| 1                | 2   | 3 | 4 | 5 | 6     | 7 | 8     | 9 | 10 | 11 | 12 | 13    | 14 | 15    | 16 | 17 | 18 | 19 | 20    | 21 | 22    |
|------------------|-----|---|---|---|-------|---|-------|---|----|----|----|-------|----|-------|----|----|----|----|-------|----|-------|
| м.Жонкиер        |     |   |   |   | 20,0  |   | 20,0  |   |    |    |    | 20,0  |    | 20,0  |    |    |    |    |       |    |       |
| РТП Утесное      |     |   |   |   | 110,0 |   | 110,0 |   |    |    |    |       |    |       |    |    |    |    |       |    |       |
| Гр.СНО Уюзютские |     |   |   |   | 10,0  |   | 10,0  |   |    |    |    | 10,0  |    | 10,0  |    |    |    |    | 13,0  |    | 13,0  |
| м. Кастрикум     | 1,6 |   |   |   | 32,0  |   | 33,6  |   |    |    |    | 35,0  |    | 35,0  |    |    |    |    | 32,0  |    | 32,0  |
| РНС Ловцова      | 1,7 |   |   |   |       |   | 1,7   |   |    |    |    | 35,0  |    | 35,0  |    |    |    |    |       |    |       |
| м. Ловцова       | 4,7 |   |   |   | 35,0  |   | 39,7  |   |    |    |    |       |    |       |    |    |    |    | 34,0  |    | 34,0  |
| м. Шпанберга     | 3,0 |   |   |   | 30,0  |   | 33,0  |   |    |    |    |       |    |       |    |    |    |    | 34,0  |    | 34,0  |
| Гр.СНО Терпения  |     |   |   |   | 35,0  |   | 35,0  |   |    |    |    | 36,0  |    | 36,0  |    |    |    |    | 35,0  |    | 35,0  |
| м. Терпения      |     |   |   |   | 46,0  |   | 46,0  |   |    |    |    | 47,0  |    | 47,0  |    |    |    |    | 46,0  |    | 46,0  |
| РТП Маячный      | 8,5 |   |   |   | 120,0 |   | 128,5 |   |    |    |    |       |    |       |    |    |    |    |       |    |       |
| м. Монерон,.БРАС |     |   |   |   | 26,0  |   | 26,0  |   |    |    |    | 26,0  |    | 26,0  |    |    |    |    | 70,0  |    | 70,0  |
| РТП Крильон      |     |   |   |   | 70,0  |   | 70,0  |   |    |    |    | 70,0  |    | 70,0  |    |    |    |    | 70,0  |    | 70,0  |
| м. Тык-Виахту    |     |   |   |   | 200,0 |   | 200,0 |   |    |    |    | 200,0 |    | 200,0 |    |    |    |    | 170,0 |    | 170,0 |
| м. Ван-Дер-Линда | 1,0 |   |   |   | 35,0  |   | 36,0  |   |    |    |    | 35,0  |    | 35,0  |    |    |    |    | 30,0  |    | 30,0  |
| м. Кроличий      | 0,1 |   |   |   | 29,0  |   | 29,1  |   |    |    |    |       |    |       |    |    |    |    | 24,0  |    | 24,0  |

Продолжение таблицы А.2

| 1                   | 2   | 3 | 4 | 5 | 6     | 7 | 8     | 9 | 10 | 11 | 12 | 13    | 14 | 15    | 16 | 17 | 18 | 19 | 20   | 21 | 22   |
|---------------------|-----|---|---|---|-------|---|-------|---|----|----|----|-------|----|-------|----|----|----|----|------|----|------|
| Николаевск-на-Амуре |     |   |   |   | 400,0 |   | 400,0 |   |    |    |    | 220,0 |    | 220,0 |    |    |    |    |      |    |      |
| РТП Гамова          | 6,0 |   |   |   | 100,0 |   | 106,0 |   |    |    |    |       |    |       |    |    |    |    | 80,0 |    | 80,0 |
| м. Гамова           | 3,0 |   |   |   | 25,0  |   | 28,0  |   |    |    |    |       |    |       |    |    |    |    | 16,0 |    | 16,0 |
| м. о.Аскольд        | 5,0 |   |   |   | 30,0  |   | 35,0  |   |    |    |    |       |    |       |    |    |    |    | 30,0 |    | 30,0 |
| м. Дальний          | 0,7 |   |   |   | 60,0  |   | 60,7  |   |    |    |    |       |    |       |    |    |    |    | 60,0 |    | 60,0 |
| РТП Низменный       | 7,3 |   |   |   | 60,0  |   | 67,3  |   |    |    |    |       |    |       |    |    |    |    | 96,5 |    | 96,5 |
| м. Низменный        | 0,3 |   |   |   | 55,0  |   | 55,3  |   |    |    |    |       |    |       |    |    |    |    | 55,0 |    | 55,0 |
| м. Назимова         | 3,4 |   |   |   | 40,0  |   | 43,4  |   |    |    |    |       |    |       |    |    |    |    | 40,0 |    | 40,0 |
| РТП Сысоева         | 4,3 |   |   |   | 60,0  |   | 64,3  |   |    |    |    |       |    |       |    |    |    |    | 80,0 |    | 80,0 |
| м. Сысоева          | 1,5 |   |   |   | 40,0  |   | 41,5  |   |    |    |    |       |    |       |    |    |    |    | 50,0 |    | 50,0 |
| РТП Поворотный      | 3,4 |   |   |   | 80,0  |   | 83,4  |   |    |    |    |       |    |       |    |    |    |    |      |    |      |
| м. Поворотный       | 1,3 |   |   |   | 99,0  |   | 100,3 |   |    |    |    |       |    |       |    |    |    |    |      |    |      |
| РТП Островной       | 7,4 |   |   |   | 60,0  |   | 67,4  |   |    |    |    |       |    |       |    |    |    |    |      |    |      |
| м. Островной        | 4,8 |   |   |   | 40,0  |   | 44,8  |   |    |    |    |       |    |       |    |    |    |    | 40,0 |    | 40,0 |
| м. Орехова          | 2,0 |   |   |   |       |   | 2,0   |   |    |    |    |       |    |       |    |    |    |    | 15,0 |    | 15,0 |



Продолжение таблицы А.2

| 1                     | 2    | 3 | 4 | 5 | 6      | 7 | 8      | 9 | 10 | 11 | 12 | 13     | 14 | 15     | 16 | 17 | 18 | 19 | 20     | 21  | 22     |
|-----------------------|------|---|---|---|--------|---|--------|---|----|----|----|--------|----|--------|----|----|----|----|--------|-----|--------|
| РТП Орехова           | 1,0  |   |   |   | 200,0  |   | 201,0  |   |    |    |    |        |    |        |    |    |    |    | 60,0   |     | 60,0   |
| 213 УГС Ольга, РНС    |      |   |   |   | 290,0  |   | 290,0  |   |    |    |    |        |    |        |    |    |    |    | 300,0  |     | 300,0  |
| м. Чихачева           | 0,4  |   |   |   | 60,0   |   | 60,4   |   |    |    |    |        |    |        |    |    |    |    | 60,0   |     | 60,0   |
| РТП Березовая         | 10,5 |   |   |   |        |   | 10,5   |   |    |    |    |        |    |        |    |    |    |    |        | 0,4 | 0,4    |
| м.Брюса               | 0,8  |   |   |   | 15,0   |   | 15,8   |   |    |    |    |        |    |        |    |    |    |    | 15,0   |     | 15,0   |
| м. Балюзек            | 0,6  |   |   |   | 60,0   |   | 60,6   |   |    |    |    |        |    |        |    |    |    |    | 60,0   |     | 60,0   |
| м. Рудный             | 0,3  |   |   |   | 100,0  |   | 100,3  |   |    |    |    |        |    |        |    |    |    |    | 100,0  |     | 100,0  |
| м. Опричник           | 0,4  |   |   |   | 60,0   |   | 60,4   |   |    |    |    |        |    |        |    |    |    |    | 60,0   |     | 60,0   |
| СНО Пластун           | 0,2  |   |   |   | 50,0   |   | 50,2   |   |    |    |    |        |    |        |    |    |    |    | 50,0   |     | 50,0   |
| м. Егорова            | 0,3  |   |   |   | 100,0  |   | 100,3  |   |    |    |    |        |    |        |    |    |    |    | 100,0  |     | 100,0  |
| м. Пашенцева          | 1,7  |   |   |   | 22,0   |   | 23,7   |   |    |    |    |        |    |        |    |    |    |    | 22,0   |     | 22,0   |
| б. Абрек Упр.         |      |   |   |   |        |   |        |   |    |    |    |        |    |        |    |    |    |    | 260,0  |     | 260,0  |
| п. Тимофеевка         |      |   |   |   | 1500,0 |   | 1500,0 |   |    |    |    | 1500,0 |    | 1500,0 |    |    |    |    | 2709,0 |     | 2709,0 |
| м. Пуятин (б.Широкая) |      |   |   |   | 190,0  |   | 190,0  |   |    |    |    |        |    |        |    |    |    |    |        |     |        |

Продолжение таблицы А.2

| 1                                             | 2      | 3 | 4 | 5 | 6       | 7 | 8       | 9      | 10 | 11 | 12 | 13      | 14 | 15      | 16     | 17 | 18 | 19 | 20    | 21 | 22     |
|-----------------------------------------------|--------|---|---|---|---------|---|---------|--------|----|----|----|---------|----|---------|--------|----|----|----|-------|----|--------|
| РТП п. Анна                                   | 3,6    |   |   |   | 360,0   |   | 363,6   |        |    |    |    |         |    |         |        |    |    |    | 257,0 |    | 257,0  |
| п. Анна ВВС                                   | 4,8    |   |   |   | 260,0   |   | 264,8   |        |    |    |    |         |    |         |        |    |    |    | 170,0 |    | 170,0  |
| РБВ Врангеля                                  | 9,3    |   |   |   | 760,0   |   | 769,3   |        |    |    |    |         |    |         |        |    |    |    | 700,0 |    | 700,0  |
| УГС п.Врангеля                                | 0,7    |   |   |   |         |   | 0,7     |        |    |    |    |         |    |         |        |    |    |    | 60,0  |    | 60,0   |
| СНО Н-Курильск                                | 0,2    |   |   |   |         |   | 0,2     |        |    |    |    |         |    |         |        |    |    |    |       |    |        |
| 504 УГС М-Курильск                            | 1,0    |   |   |   |         |   | 1,0     |        |    |    |    |         |    |         |        |    |    |    |       |    |        |
| РТП Ватовского                                | 1,3    |   |   |   | 80,0    |   | 81,3    |        |    |    |    |         |    |         |        |    |    |    | 90,0  |    | 90,0   |
| Всего за Балтийский флот (в речном сообщении) | 2700,0 |   |   |   | 15000,0 |   | 17700,0 | 3000,0 |    |    |    | 18000,0 |    | 21000,0 | 4000,0 |    |    |    |       |    | 4000,0 |
| Кронштадт                                     |        |   |   |   | 15000,0 |   | 15000,0 |        |    |    |    | 18000,0 |    | 18000,0 |        |    |    |    |       |    |        |
| Приозерск                                     | 2700,0 |   |   |   |         |   | 2700,0  | 3000,0 |    |    |    |         |    | 3000,0  | 4000,0 |    |    |    |       |    | 4000,0 |

Таблица – А.3 Характеристика основных арктических портов [25].

| Порт                           | Период навигации                                                                                                    | Суда, заходящие в порт                                                                                                                                                                                                                  |
|--------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Баренцево море</b>          |                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                         |
| Варандей                       | с середины июня по середину ноября (на Внутренней акватории), круглогодичное обслуживание танкеров на внешнем рейде | наливной флот ледового класса: длиной до 258 м, шириной до 34 м и осадкой до 14 м; также используется для перевалки генеральных грузов в летний период и способен принимать суда с осадкой до 2.6 м., длиной до 120 м., шириной до 15 м |
| Мурманск                       | круглый год                                                                                                         | максимальные габариты судов, по осадке, длине, ширине – не ограничены                                                                                                                                                                   |
| Нарьян-Мар                     | 4 – 5 месяцев, начиная с середины июня по октябрь, а до середины ноября возможна ледокольная проводка               | суда с осадкой до 3,6 м, длиной не более 114 м, шириной до 16 м                                                                                                                                                                         |
| <b>Белое море</b>              |                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                         |
| Архангельск                    | круглый год                                                                                                         | максимальные габариты судов, заходящих в морской порт: по осадке – 9,2 м, по длине – 190 м, по ширине – 30 м                                                                                                                            |
| Беломорск                      | май – октябрь                                                                                                       | суда с осадкой до 3,5 метров.                                                                                                                                                                                                           |
| Кандалакша                     | круглый год (май – ноябрь), в зимний период с помощью ледоколов                                                     | суда длиной до 200 м, шириной до 30 м и осадкой до 9,8 м; максимальные габариты судов, обрабатываемых у морского терминала: осадка – 7,6 м, длина – 200 м, ширина – 30 м                                                                |
| Кемь                           | май – октябрь                                                                                                       | прием морских судов с осадкой до 6,4 м.                                                                                                                                                                                                 |
| Мезень                         | июнь – ноябрь                                                                                                       | предельная осадка судов колеблется обычно от 3,9 м до 4,2 м при полной воде                                                                                                                                                             |
| Онега                          | с мая по январь                                                                                                     | максимальные габариты судов, обрабатываемых у морского терминала: осадка – 5,3 м, длина – 120 м, ширина – 30 м                                                                                                                          |
| Соловки                        | май – ноябрь                                                                                                        | максимальные габариты судов, обрабатываемых у морского терминала: осадка – 5 м, длина – 90 м, ширина – 12 м; суда, в том числе под иностранным флагом до 100 м длиной с осадкой не более 5,5 м                                          |
| <b>Восточно-Сибирское море</b> |                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                         |
| Певек                          | с 3 июля по 25 октября                                                                                              | суда с осадкой до 13 м; максимальные габариты судов, обрабатываемых у морского терминала: осадка – 9 м, длина – 117,2 м, ширина – 24,55 м                                                                                               |

Продолжение таблицы А.3

| Порт           | Период навигации                                                                                                                       | Суда, заходящие в порт                                                                                                                                                                                  |
|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Карское море   |                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                         |
| Диксон         | июнь – октябрь                                                                                                                         | максимальные габариты судов, обрабатываемых у морского терминала: осадка – 8,0 м, длина – 100 м, ширина – 20 м                                                                                          |
| Дудинка        | круглогодично, за исключением паводкового периода: с 01 января по 20 мая, с 15 июня по 31 декабря (310 – 325 суток)                    | суда длиной до 260,3 м, шириной до 32,2 м, и осадкой до 11,8 м.                                                                                                                                         |
| Игарка         | июнь – сентябрь/октябрь (90 дней)                                                                                                      | принимаемые суда могут иметь осадку до 8 м                                                                                                                                                              |
| Море Лаптевых  |                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                         |
| Тикси          | 15 июля – 30 сентября                                                                                                                  | максимальные габариты судов, обрабатываемых у морского терминала: осадка – 3,9 м, длина – 129,5 м, ширина – 15,8 м                                                                                      |
| Хатанга        | замерзающий порт, ледокольная проводка не осуществляется, навигация осуществляется в период с 1 июня по 1 октября (до 180 – 200 суток) | суда с осадкой до 4,6 м; суда типа река-море, обрабатываемые у морского терминала, с максимальными габаритами: осадка – 4,17 м, длина – 136 м, ширина – 16,5 м; суда других типов разгружаются на рейде |
| Берингово Море |                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                         |
| Анадырь        | с 1 июля по 1 октября                                                                                                                  | суда с осадкой 7,5 м; максимальная длина судов, обрабатываемых у морского терминала, составляет 177 м, максимальная ширина – 25 м                                                                       |
| Беринговский   | с 1 июля по 1 октября                                                                                                                  | рейдовый порт, доступный для захода судов с любой осадкой                                                                                                                                               |
| Провидения     | с мая по январь (в среднем 225 суток, из которых 45 суток – с проводкой судов ледоколами)                                              | суда с осадкой 9 м                                                                                                                                                                                      |
| Эгвекино       | с 25 июня по 10 ноября                                                                                                                 | суда с осадкой 8,2 м; максимальная длина судов, обрабатываемых у морского терминала составляет 177 м, максимальная ширина – 25 м                                                                        |

Таблица – А.4 Характеристика основных арктических портов [25;38].

| Пункт отправления             |                  | Пункт назначения                                                               | Условия выгрузки                                                                        | Требования к судну                                                                 | Период навигационного завоза              | Примечание                                                                                                                                                                       |
|-------------------------------|------------------|--------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| п.п. Новой Земли              | Мурманск         | Белушья                                                                        | плавпричал                                                                              | Q до 5000 тонн, ЛЗ, грузовые устройства для самовыгрузки                           | август – сентябрь                         | Рогачево это аэропорт, для слива танкеров оборудовалось отдельное место                                                                                                          |
|                               |                  | Рогачево                                                                       | плавпричал                                                                              |                                                                                    |                                           |                                                                                                                                                                                  |
|                               |                  | Маточкин Шар                                                                   | плавпричал                                                                              |                                                                                    |                                           |                                                                                                                                                                                  |
|                               |                  | Кармакулы                                                                      |                                                                                         |                                                                                    |                                           |                                                                                                                                                                                  |
|                               |                  | Грибовая                                                                       | открытый берег                                                                          | Q до 5000 тонн, ЛЗ, грузовые устройства для самовыгрузки, возможность доставки РПС |                                           |                                                                                                                                                                                  |
|                               |                  | Панкратьева                                                                    | открытый берег                                                                          |                                                                                    |                                           |                                                                                                                                                                                  |
| Чиракино                      | открытый берег   |                                                                                |                                                                                         |                                                                                    |                                           |                                                                                                                                                                                  |
| п.п. Баренцева и Белого морей | Мурманск         | м. Черный                                                                      | плавпричал                                                                              | Q до 1500-5000 тонн, ЛЗ, грузовые устройства для самовыгрузки                      | июнь – сентябрь                           | Доставка угля в пункты базирования флота сопряжена со значительным простоем флота по причине отсутствия достаточного количества автомашин которые отвозят груз к местам хранения |
|                               |                  | Лумбовка                                                                       | плавпричал                                                                              |                                                                                    |                                           |                                                                                                                                                                                  |
|                               |                  | Териберка                                                                      | плавпричал                                                                              |                                                                                    |                                           |                                                                                                                                                                                  |
|                               |                  | Харлов                                                                         | плавпричал                                                                              |                                                                                    |                                           |                                                                                                                                                                                  |
|                               |                  | м. Б. Олений                                                                   | плавпричал                                                                              |                                                                                    |                                           |                                                                                                                                                                                  |
|                               |                  | п. Д. Зеленцы                                                                  | плавпричал                                                                              |                                                                                    |                                           |                                                                                                                                                                                  |
|                               |                  | м. Сеть Наволок                                                                | плавпричал                                                                              |                                                                                    |                                           |                                                                                                                                                                                  |
|                               |                  | м. Скоробеевский                                                               | плавпричал                                                                              |                                                                                    |                                           |                                                                                                                                                                                  |
|                               |                  | м. Цып Наволок                                                                 | плавпричал                                                                              |                                                                                    |                                           |                                                                                                                                                                                  |
|                               |                  | м. Земляной                                                                    | плавпричал                                                                              |                                                                                    |                                           |                                                                                                                                                                                  |
|                               | о. Кувшин        | плавпричал                                                                     |                                                                                         |                                                                                    |                                           |                                                                                                                                                                                  |
|                               | м. Святой Нос    | открытый берег                                                                 | Q до 1500-5000 тонн, ЛЗ, грузовые устройства для самовыгрузки, возможность доставки РПС |                                                                                    |                                           |                                                                                                                                                                                  |
|                               | о. Кильдин Зап.  | плавпричал                                                                     | Q до 1500-5000 тонн, ЛЗ, грузовые устройства для самовыгрузки                           | Также проблемы со скоростью выгрузки угля                                          |                                           |                                                                                                                                                                                  |
|                               | о. Кильдин Вост. | плавпричал                                                                     |                                                                                         |                                                                                    |                                           |                                                                                                                                                                                  |
| Гремиха                       | плавпричал       |                                                                                |                                                                                         |                                                                                    |                                           |                                                                                                                                                                                  |
| Архангельск                   | Умба             | деревянный причал                                                              | Q до 1500 тонн, грузовые устройства для самовыгрузки                                    | июль – сентябрь                                                                    | Также проблемы со скоростью выгрузки угля |                                                                                                                                                                                  |
|                               | Рембуево         | речной берег                                                                   | Q до 2000 тонн, грузовые устройства для самовыгрузки                                    |                                                                                    |                                           |                                                                                                                                                                                  |
|                               | Дв. Березник     | речной берег                                                                   | Q до 2000 тонн, грузовые устройства для самовыгрузки                                    |                                                                                    |                                           |                                                                                                                                                                                  |
|                               | Нарьян-Мар       | порт                                                                           | Q до 3000 тонн                                                                          | июнь – сентябрь                                                                    | Танкер можно направлять Q до 2000 тонн    |                                                                                                                                                                                  |
|                               | Н. Золотица      | открытый берег                                                                 | Q до 1500-3000 тонн, грузовые устройства для самовыгрузки, возможность доставки РПС     |                                                                                    |                                           |                                                                                                                                                                                  |
|                               | Мезень           |                                                                                |                                                                                         |                                                                                    |                                           |                                                                                                                                                                                  |
|                               | Шойна            |                                                                                |                                                                                         |                                                                                    |                                           |                                                                                                                                                                                  |
|                               | Кашкаранцы       |                                                                                |                                                                                         |                                                                                    |                                           |                                                                                                                                                                                  |
|                               | Нижняя Пеша      |                                                                                |                                                                                         |                                                                                    |                                           |                                                                                                                                                                                  |
| Индига                        |                  |                                                                                |                                                                                         |                                                                                    |                                           |                                                                                                                                                                                  |
| Амдерма                       |                  | Q до 1500-5000 тонн, ЛЗ, грузовые устройства для самовыгрузки, возможность РПС | июль – сентябрь                                                                         | Танкер можно направлять Q до 3000 тонн                                             |                                           |                                                                                                                                                                                  |
|                               |                  |                                                                                | август – сентябрь                                                                       |                                                                                    |                                           |                                                                                                                                                                                  |

Таблица – А.5 Матрица исходных данных для метода определения ротации судна

| № п/п | Пункт         | 1           | 2          | 3           | 4      | 5     | 6           | 7       | 8        | 9             | 10       | 11      | 12       | 13       |
|-------|---------------|-------------|------------|-------------|--------|-------|-------------|---------|----------|---------------|----------|---------|----------|----------|
|       |               | Архангельск | Нарьян-Мар | Н. Золотица | Мезень | Шойна | Нижняя Пеша | Инди-га | Ам-дерма | м. Святой Нос | Грибовая | Белушья | Рогачево | Мурманск |
| 1     | Архангельск   | 0           | 678        | 86          | 230    | 246   | 492         | 445     | 712      | 258           | 422      | 543     | 562      | 442      |
| 2     | Нарьян-Мар    | 678         | 0          | 589         | 575    | 454   | 390         | 313     | 301      | 480           | 255      | 280     | 285      | 608      |
| 3     | Н. Золотица   | 86          | 589        | 0           | 150    | 159   | 398         | 284     | 625      | 178           | 347      | 456     | 462      | 368      |
| 4     | Мезень        | 230         | 575        | 150         | 0      | 124   | 350         | 337     | 612      | 177           | 317      | 428     | 435      | 372      |
| 5     | Шойна         | 246         | 454        | 159         | 124    | 0     | 224         | 177     | 478      | 102           | 200      | 312     | 318      | 278      |
| 6     | Нижняя Пеша   | 492         | 390        | 398         | 350    | 224   | 0           | 106     | 443      | 288           | 143      | 340     | 346      | 438      |
| 7     | Инди-га       | 445         | 313        | 284         | 337    | 177   | 106         | 0       | 380      | 240           | 78       | 272     | 277      | 397      |
| 8     | Амдерма       | 712         | 301        | 625         | 612    | 478   | 443         | 380     | 0        | 515           | 305      | 253     | 259      | 644      |
| 9     | м. Святой Нос | 258         | 480        | 178         | 177    | 102   | 288         | 240     | 515      | 0             | 232      | 336     | 342      | 188      |
| 10    | Грибовая      | 422         | 255        | 347         | 317    | 200   | 143         | 78      | 305      | 232           | 0        | 187     | 192      | 382      |
| 11    | Белушья       | 543         | 280        | 456         | 428    | 312   | 340         | 272     | 253      | 336           | 187      | 0       | 19       | 436      |
| 12    | Рогачево      | 562         | 285        | 462         | 435    | 318   | 346         | 277     | 259      | 342           | 192      | 19      | 0        | 441      |
| 13    | Мурманск      | 442         | 608        | 368         | 372    | 278   | 438         | 397     | 644      | 188           | 382      | 436     | 441      | 0        |

## Приложение Б



Рисунок Б.1 – Спутниковые снимки пунктов навигационного завоза (1 – Грибовая, 2 – Харловка, 3 – м. Скоробеевский, 4 – Шойна)

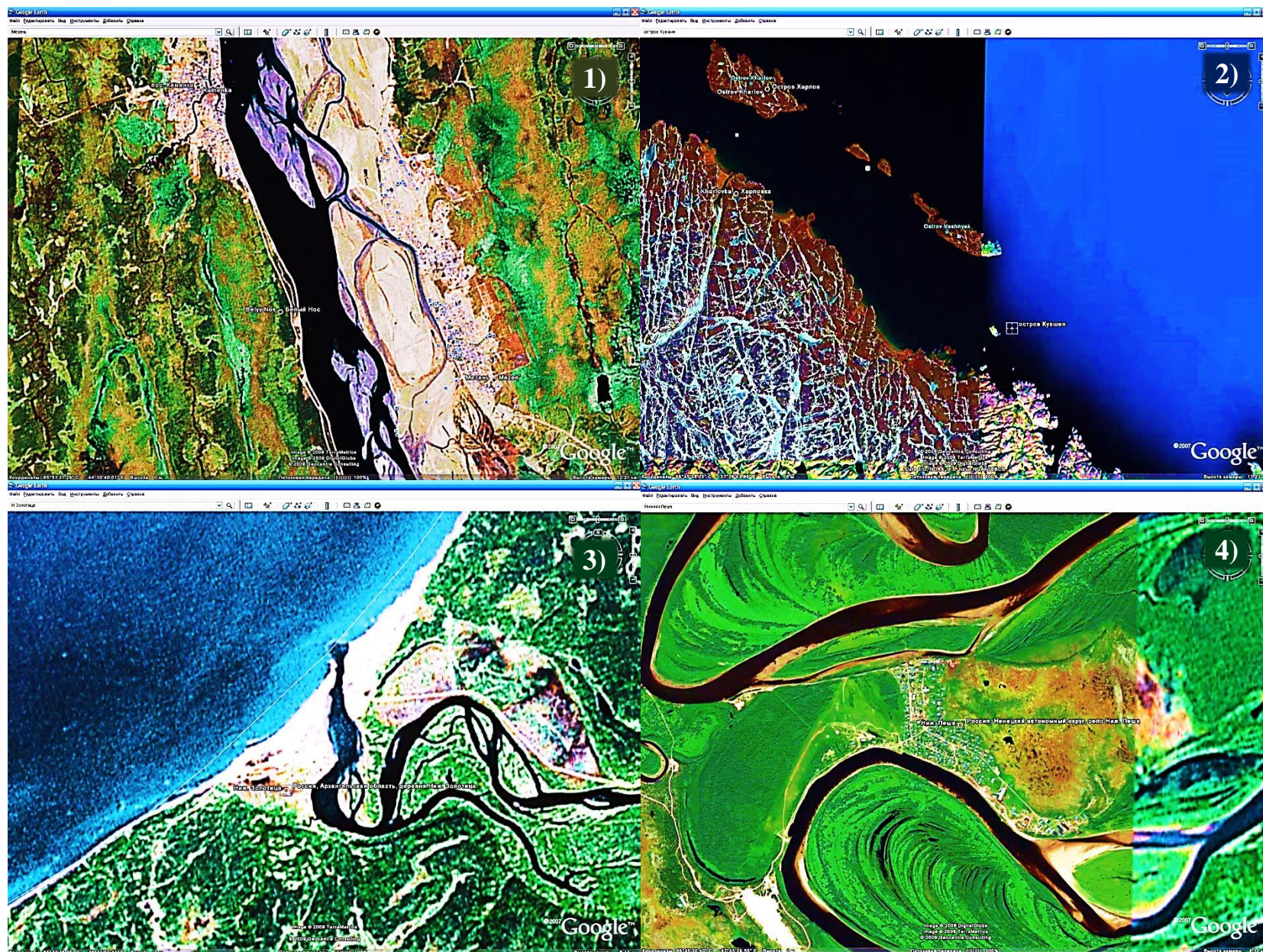


Рисунок Б.2 – Спутниковые снимки пунктов навигационного завоза (1 – Мезень, 2 –остров Кувшин, 3 – Ниж. Золотница, 4 – Ниж. Пеша)



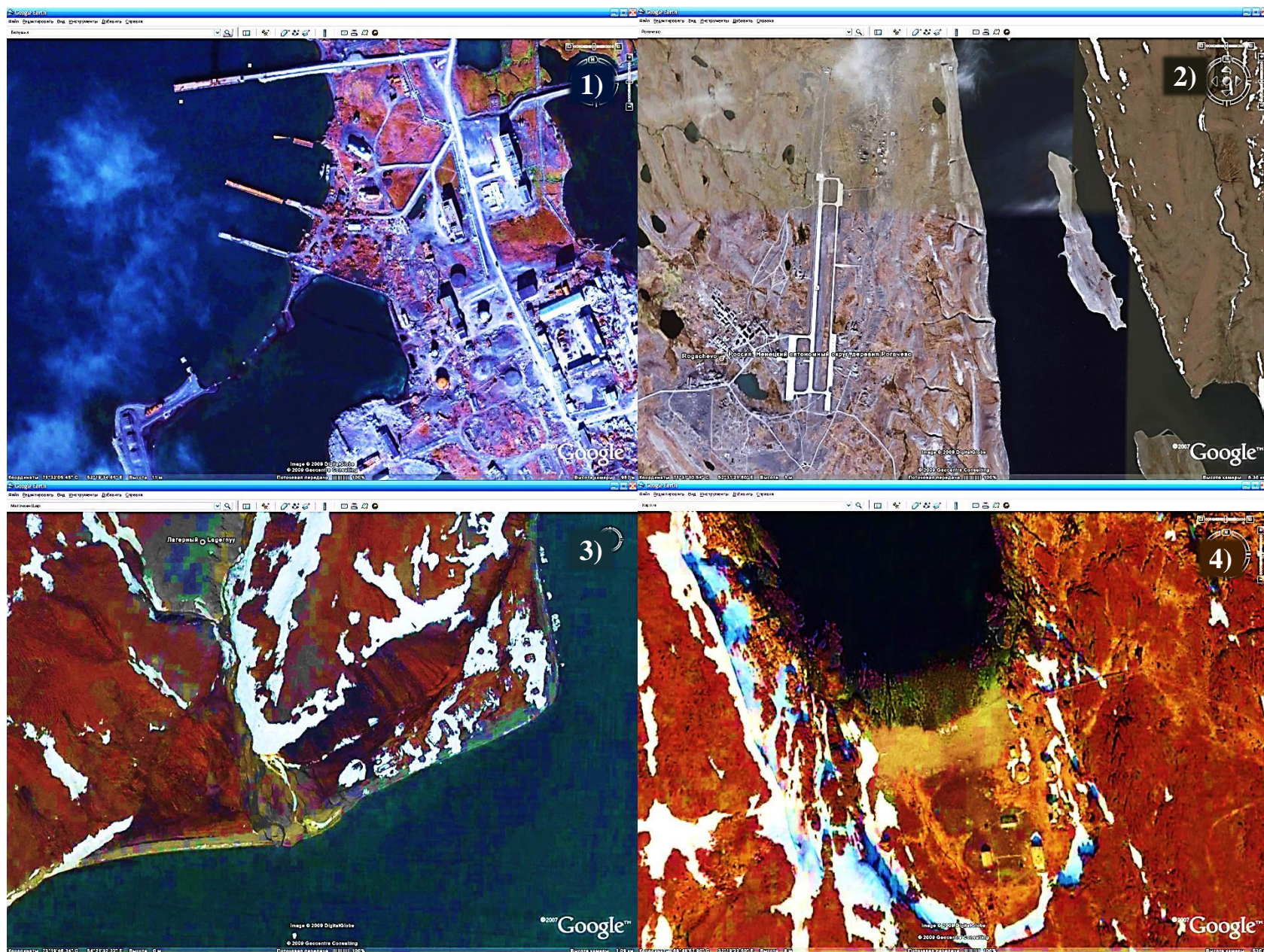


Рисунок Б.3 – Спутниковые снимки пунктов навигационного завоза (1 – Белушья Губа, 2 –Рогачёво, 3 – Маточкин Шар, 4 – о. Харлов)

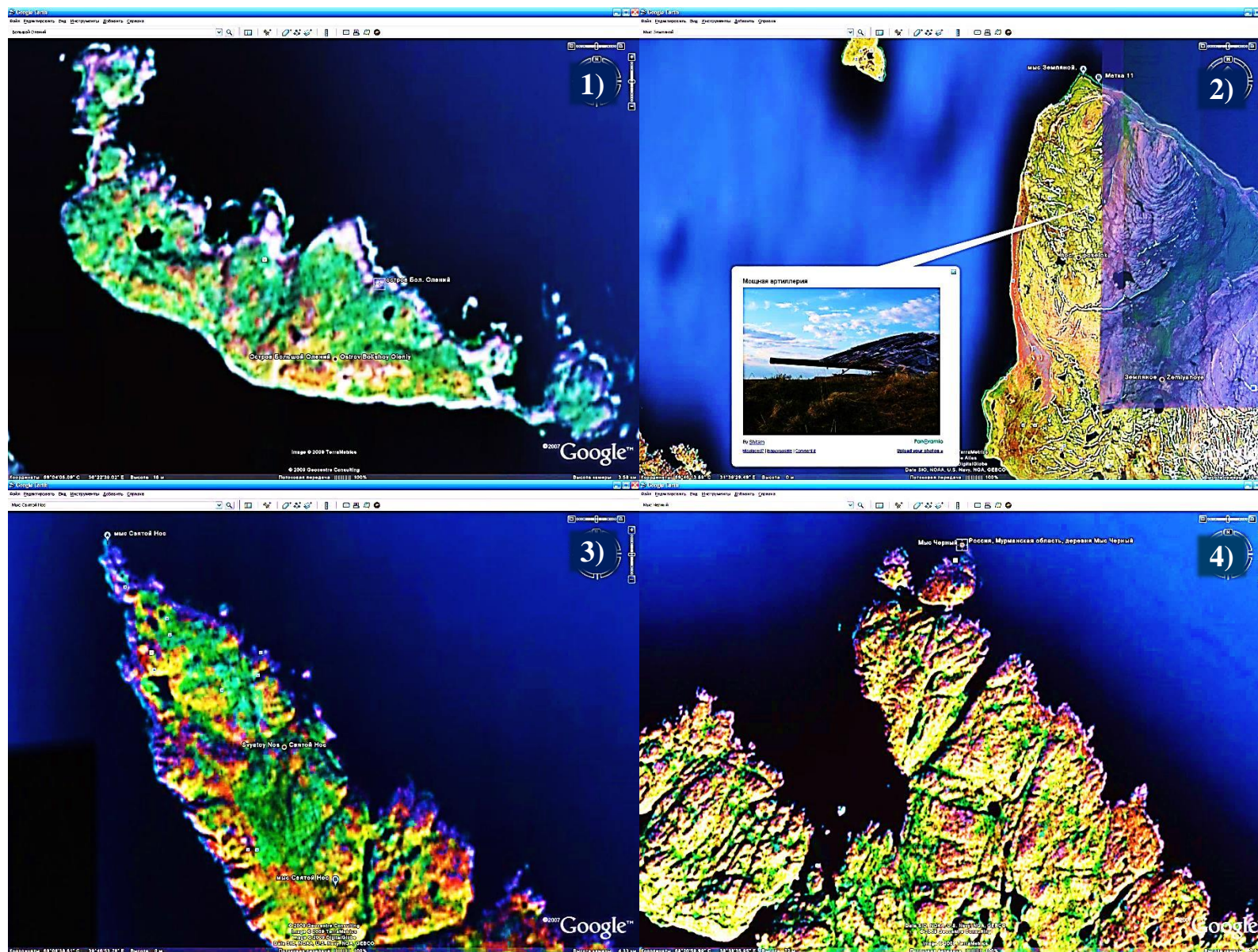


Рисунок Б.4 – Спутниковые снимки пунктов навигационного завоза (1 – Большой Олений, 2 – Мыс Земляной, 3 – Мыс Святой Нос, 4 – Мыс Черный)

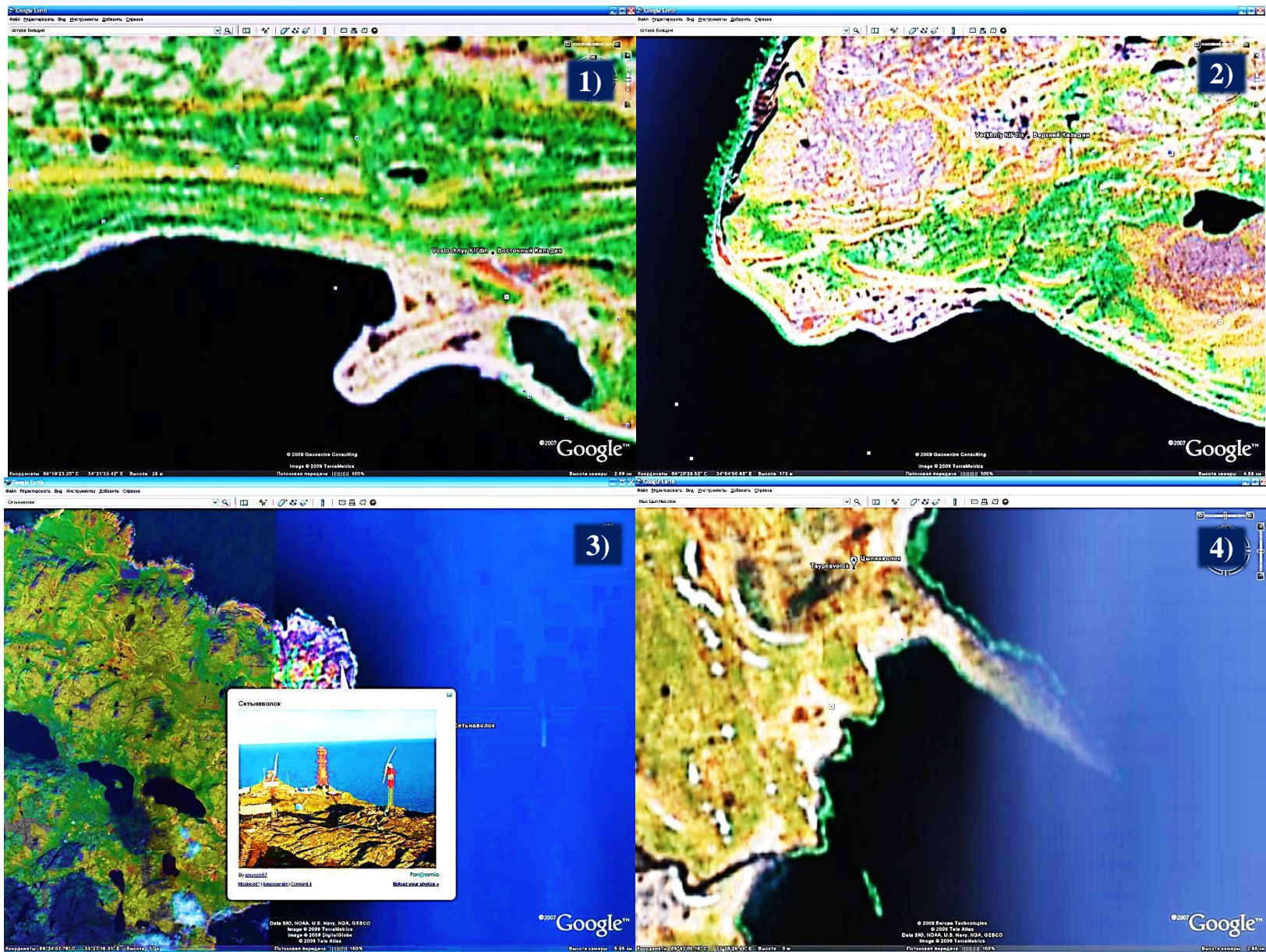


Рисунок Б.5 – Спутниковые снимки пунктов навигационного завоза (1 – Восточный Кильдин, 2 – Западный Кильдин, 3 – Сеть Наволок, 4 – Цып Наволок)

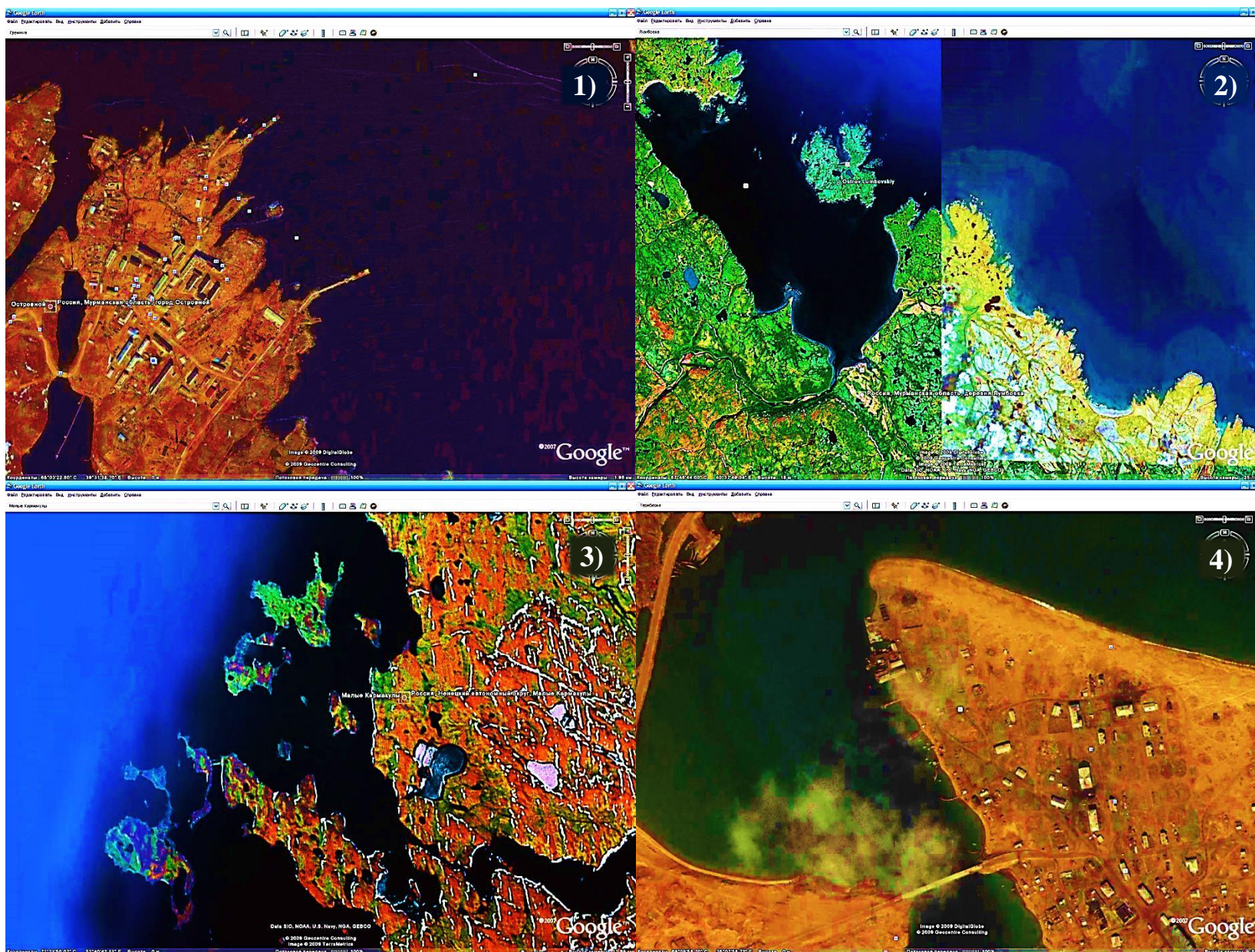


Рисунок Б.6 – Спутниковые снимки пунктов навигационного завоза (1 – Гремиха, 2 – Лумбовка, 3 – Малые Кармакулы, 4 – Териберка)