

Антипов Е. О., Тутьгин А. Г., Коробов В. Б.

Проблемы осуществления транспортировки грузов в Арктической зоне РФ морским путем

DOI 10.22394/1726-1139-2017-11-72-79

Антипов Евгений Олегович

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н. П. Лаверова РАН
(г. Архангельск)
Аспирант
antipov_eo@mail.ru

Тутьгин Андрей Геннадьевич

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н. П. Лаверова РАН
(г. Архангельск)
Заведующий лабораторией моделирования социально-экономических систем
Кандидат физико-математических наук, доцент
andgt64@yandex.ru

Коробов Владимир Борисович

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н. П. Лаверова РАН
(г. Архангельск)
Главный научный сотрудник
Доктор географических наук
korobov@atknet.ru

РЕФЕРАТ

В статье рассмотрены проблемы, возникающие при доставке грузов морским транспортом в Арктическую зону Российской Федерации. Выделено шесть основных проблем, затрудняющих проведение этих операций. Предложена модель оптимизации маршрута доставки грузов при северном завозе, на конкретном примере доказана ее эффективность.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Арктическая зона Российской Федерации, перевозка грузов морским транспортом, модели оптимизации маршрута

Antipov E. O., Tutygin A. G., Korobov V. B.

Problems of Implementation of Freights Transportation in the Arctic Zone of the Russian Federation by Sea

Antipov Evgeny Olegovich

Federal Research Center of Complex Arctic Studying named after academician N. P. Laverov of RAS (Arkhangelsk)
Graduate student
antipov_eo@mail.ru

Tutygin Andrey Gennadyevich

Federal Research Center of Complex Arctic Studying named after academician N. P. Laverov of RAS (Arkhangelsk)
Head of the Laboratory of Modeling of social and economic systems
PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor
andgt64@yandex.ru

Korobov Vladimir Borisovich

Federal Research Center of Complex Arctic Studying named after academician N. P. Laverov of RAS (Arkhangelsk)
Chief researcher
Doctor of Science (Geography)
korobov@atknet.ru

ABSTRACT

The addressed problems arise in cargo shipping by marine vessels in the Arctic zone of the Russian Federation. The document identified 6 major challenges hindering these operations. There has been proposed a route optimization model in the northern delivery with the efficiency demonstrated in particular example.

KEYWORDS

Arctic zone of the Russian Federation, cargo shipping, optimization model

В Арктической зоне Российской Федерации (АЗРФ) весьма слабо развита транспортная инфраструктура, что препятствует освоению ее минерально-сырьевых ресурсов и обеспечению жизнедеятельности работающего и проживающего здесь населения. Из-за отсутствия разветвленной сети железных дорог, автомобильных дорог с твердым покрытием, достаточного количества аэропортов и вертолетных площадок зачастую только водный транспорт, и в первую очередь морской, является единственной возможностью доставки грузов по назначению [7]. При этом возникает ряд проблем, часть из которых рассмотрим на примере северного завоза [2].

Северный завоз — комплекс ежегодных государственных мероприятий по обеспечению территорий Крайнего Севера Сибири, Дальнего Востока, а также Европейской части России основными жизненно важными товарами, прежде всего, продовольствием и нефтепродуктами, в преддверии зимнего сезона. Северный завоз как феномен обусловлен отсутствием в районах Крайнего Севера собственной производственной базы большинства промышленных и многих сельскохозяйственных товаров и удаленностью основных промышленных районов на многие тысячи километров, что затрудняет и делает очень дорогой для частных юридических и физических лиц самостоятельную доставку товаров даже в летние месяцы.

В этих условиях единственно возможной является централизованная закупка и транспортировка товаров из центральных и южных областей России в районы Крайнего Севера. Эту обязанность, как ранее в СССР, так и в современной России, осуществляет государство за счет средств федерального бюджета и силами региональных и местных властей. Объем северного завоза традиционно исчисляется в денежном, а не в натуральном выражении.

Основным маршрутом, по которому осуществляется северный завоз, является Северный морской путь (СМП). СМП — это единственная широтная магистраль, связывающая все арктические и субарктические регионы России и оказывающая влияние на развитие территорий, удаленных к югу от побережья Северного Ледовитого океана на многие сотни километров [3]. СМП проходит по акваториям северных морей АЗРФ (рис. 1): Карского, Лаптевых, Восточно-Сибирского, Чукотского. Эта арктическая транспортная коммуникация протяженностью 5600 км (от Карских ворот до бухты Провидения) соединяет Европейскую часть России с морями Дальнего Востока [4].

Первой проблемой является ограниченность сроков, обусловленная непродолжительным периодом летне-осенней навигации. Навигация делится на два периода: летне-осенний (с 1 июля по 30 ноября) и зимне-весенний (с 1 декабря по 30 июня). Именно в период летне-осенней навигации становится возможным проход через пролив Вилькицкого, отделяющий полуостров Таймыр от архипелага Северная Земля и соединяющий Карское море с морем Лаптевых, и условно разделяющий Арктику на западный и восточный секторы. В зимне-весенний период проход через этот пролив в связи с высокой плотностью льда по фарватеру не представляется возможным.

Вторая проблема обусловлена сложными условиями и способами выгрузки. Существует четыре основных типа выгрузки: вертолетная; путем распазки — пере-



Рис. 1. Трасса Северного морского пути

валка груза на более мелкие суда и плавсредства для прохождения мелей; подход для всех видов груза; прокладка шланголиний — для наливных грузов; швартовка к причалу. В условиях преобладания малых глубин, наличия отмелей и припая в 80–90% случаев представляется возможной только вертолетная выгрузка.

Третья проблема — удаленность точек выгрузки от материковых инфраструктур. В случае чрезвычайных ситуаций, отправляются два вертолета (так как им по одному запрещено выполнять полеты в условиях Арктики) с несколькими приземлениями для отдыха и дозаправки.

Четвертая проблема — финансирование северного завоза государством. Обусловлена она поздним финансированием и поиском исполнителей, которые готовы предоставить услуги авансом, и недостаточным финансированием, вследствие которого приходится урезать бюджет и искать дополнительные источники финансирования. В случае же позднего и недостаточного финансирования работы исполняются «под честное слово».

Пятая проблема касается выгрузки крупнотоннажных монолитных грузов на берег. Вертолеты, базирующиеся на борту судов, имеют ограничения на транспортировку и, как правило, не могут брать на подвеску более двух тонн груза, иногда несколько больше. Использование более мощных вертолетов связано с дополнительными затратами на их эксплуатацию и оплату перелета к месту работ.

Выгрузке с моря препятствуют заболоченные и крутые берега. Для их преодоления требуется строительство специальных дорог — в первом случае и подъемников во втором. И то и другое занимает достаточно много времени, не говоря уж о дополнительных — и не малых, затратах. Правда, в конце зимы, а в Арктике он приходится на март-апрель, в тех местах, где образуется прочный припай, возможна выгрузка грузов прямо на лед и доставка грузов с судов на берег по специально оборудованным дорогам. Но эти операции, получившие название «Ледовый причал», ограничены во времени и весьма затратны по финансам.

Попутно отметим, что для крупнотоннажных монолитных грузов требуются специальные суда, которых может не оказаться в наличии, а для особо габаритных грузов их необходимо будет строить, поскольку большие баржи, используемые в этих целях на крупных реках, по правилам морского регистра в морях эксплуатироваться не могут.

Шестая, наиболее важная с точки зрения человеческого фактора, проблема заключается в неэффективности существующих маршрутов завоза. Причина тому — построение маршрутов волонтеристским путем, который устарел, как с точки зрения

административно-правового ресурса, так и с экономической точки зрения. Для того чтобы ситуация изменилась, необходима разработка нового или использование существующего метода построения маршрута, с учетом факторов, присущих российской современной Арктике.

Безусловно, все эти проблемы решаемы, особенно со своевременным и полным финансированием. Они находятся в плоскости политических решений и упорядочения финансирования государственных проектов. Но одна из них — оптимизация маршрутов — выделяется особо, поскольку ее можно решить объективными методами. Рассмотрим конкретный случай завоза в навигацию 1997 г., с выходом и возвращением в порт города Архангельск, и способ его оптимизации для сокращения продолжительности в целом.

В качестве точек завоза используем 11 полярных станций (рис. 2): Архипелаг Земля Франца-Иосифа (о. Хейса, обсерватория им. Кренкеля), о. Баренца; Новая Земля (Малые Кармакулы), Амдерма, о. Известий ЦИК, Диксон, Сабетта, Антипаята, о. Визе, о. Котельный, Тикси, Певек, о. Врангеля.

Оптимизация проводилась по критерию времени прохождения маршрута, поскольку от времени — прямо и косвенно, в основном зависят затраты на транспортную перевозку. Среднее время прохождения каждого участка было определено исходя из его протяженности и известной эмпирически средней скорости судна на нем. К этому времени было добавлено время разгрузки судна в каждой точке маршрута, оно принято за постоянную величину, равную 24 ч. Оптимизация выполнена с помощью хорошо известного алгоритма «задачи коммивояжера».

Отметим, что задача коммивояжера относится к классическим комбинаторным задачам дискретной оптимизации на графах [5]. Ее суть сводится к построению гамильтоновой цепи в ориентированном либо неориентированном графе и связана с обходом всех его вершин в точности по одному разу, таким образом, чтобы каждую вершину посетив один раз, в итоге прийти в начальную вершину и при этом длина пути должна быть минимальной.

Тур коммивояжера описывается циклической перестановкой $t = (j_1, j_2, \dots, j_n, j_1)$ множеством вершин графа $j \in T = (1, 2, 3, \dots, n)$, причем все j_1, \dots, j_n — различны. Расстояния C_{ij} между парами вершин образуют матрицу C . Задача состоит в том, чтобы найти тур t , минимизирующий линейный функционал:

$$L(t) = \sum_{k=1}^n C_{j_k j_{k+1}}. \quad (1)$$

Данная модель имеет ограничения на неотрицательность расстояний между вершинами графа $C_{ij} \geq 0$ и на запрет петель в графе:

$$(\forall j = 1, \dots, n) C_{jj} = \infty.$$

Заметим, что в случае ориентированного графа задачи коммивояжера матрица расстояний не обязана быть симметричной. В данной работе рассматривается неориентированный граф и, соответственно, симметричная задача нахождения гамильтонова цикла минимальной длины для связного графа. Для решения данной задачи известен ряд алгоритмов, к основным из которых относятся «жадный» алгоритм, венгерский метод, метод ветвей и границ [1]. На сегодняшний день разрабатываются новые алгоритмы для задач высокой размерности с использованием генетических алгоритмов [6]. Как оптимальный, с точки зрения реализации и минимальной погрешности, нами выбран метод ветвей и границ, предложенный в 1960 г. [9], в основе которого лежит идея последовательного разбиения множества допустимых решений.

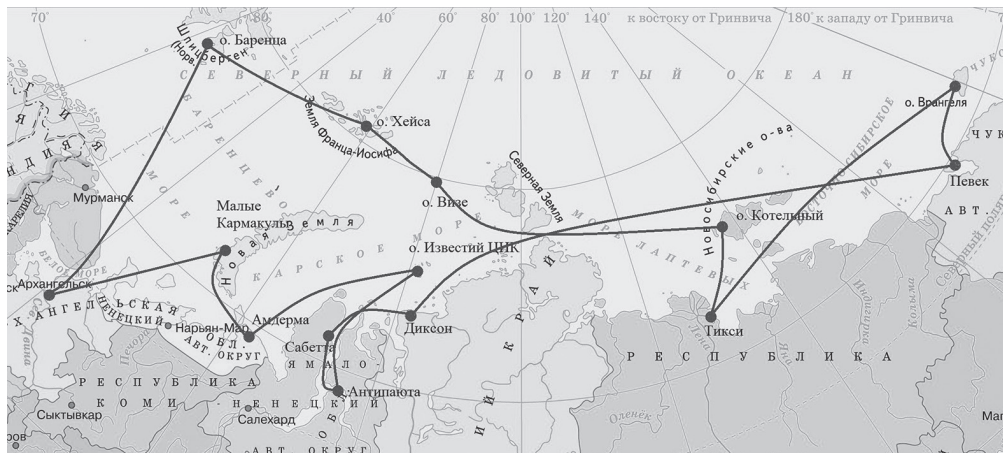


Рис. 2. Исходный маршрут северного завоза 1997 г.

На каждом шаге метода элементы разбиения подвергаются анализу: содержит ли данное подмножество оптимальное решение, или нет. Если рассматривается задача минимизации, то проверка осуществляется путем сравнения нижней оценки значения целевой функции на данном подмножестве с верхней оценкой функционала. В качестве оценки сверху используется значение целевой функции на некотором допустимом решении. Допустимое решение, дающее наименьшую верхнюю оценку, называют рекордным. Если оценка снизу целевой функции на данном подмножестве не меньше оценки сверху, то рассматриваемое подмножество не содержит решения лучше рекордного, и может быть отброшено. Если значение целевой функции на очередном решении меньше рекордного, то происходит его замена. Будем говорить, что подмножество решений просмотрено, если установлено, что оно не содержит решения лучше рекордного.

Если просмотрены все элементы разбиения, алгоритм завершает работу, а текущий рекорд является оптимальным решением. В противном случае, среди непросмотренных элементов разбиения выбирается так называемое перспективное множество. Оно подвергается разбиению и анализу по описанной выше схеме. Процесс продолжается до тех пор, пока не будут просмотрены все элементы разбиения.

Зафиксируем 14 узловых точек маршрута северного завоза (табл. 1).

После снятия расстояний с навигационных карт данные были приведены в матричный вид. В этой матрице (табл. 2) указывается время в пути между всеми узловыми точками маршрута в часах.

После расчета соответствующего времени на преодоление этих расстояний длительность оптимального маршрута равнялась 906 ч, в то время как длительность первоначально используемого маршрута — 964 ч. Очевидная абсолютная разница между маршрутами составляет 58 ч, или более двух судосуток. И это при благоприятных погодных и ледовых условиях. В противном случае эта разница может быть еще больше, особенно при ледокольной проводке транспортных судов.

Предлагаемый маршрут завоза будет следующим (рис. 3): Архангельск, о. Баренца, о. Хейса, Антирапа, Сабетта, о. Известий ЦИК, Диксон, Тикси, Певек, о. Врангеля, о. Котельный, о. Визе, Амдерма, Малые Кармакулы, Архангельск. Он совсем не такой очевидный, как это может показаться на первый взгляд. Обращаем внимание на порядок прохождения маршрута после выгрузки на Земле Франца-Иосифа (о. Хейса): следующим пунктом является Антирапа, а не о. Визе, ближай-

Узловые точки маршрута северного завоза

№ п/п	Узловые точки	№ п/п	Узловые точки
1	г. Архангельск	8	пос. Антипаюта
2	о. Баренца	9	о. Известий ЦИК
3	о. Хейса	10	о. Диксон
4	о. Визе	11	о. Котельный
5	метеост. Малые Кармакулы	12	пос. Тикси
6	пос. Амдерма	13	пос. Певек
7	пос. Сабетта	14	о. Врангеля

Таблица 2

Матрица расстояний, ч

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	0	103	114	119	71	81	110	127	105	98	190	202	247	249
2	103	0	68	93	76	101	110	128	103	105	155	164	211	214
3	114	68	0	43	71	84	76	31	67	68	111	121	168	170
4	119	93	43	0	68	72	66	84	53	52	94	103	149	152
5	71	76	71	68	0	27	85	97	73	79	153	163	209	212
6	81	101	84	72	27	0	64	81	54	60	134	145	191	193
7	110	110	76	66	85	64	0	43	38	46	119	128	175	178
8	127	128	31	84	91	81	43	0	55	63	136	145	196	195
9	105	103	67	53	73	54	38	55	0	31	106	109	162	165
10	98	105	68	52	79	60	46	63	31	0	100	107	156	159
11	190	155	111	94	153	134	119	136	106	100	0	46	85	92
12	202	164	121	103	163	145	128	145	109	107	46	0	88	108
13	247	211	168	149	209	191	175	196	162	156	85	88	0	41
14	249	214	170	152	212	193	178	195	165	159	92	108	41	0

ший к о. Хейса, как это обычно практикуется из соображений здравого смысла. Далее маршрут проходит вдоль побережья на восток, а островные станции, расположенные на островах Врангеля, Котельный и Визе, обеспечиваются грузами на обратном пути.

Данную модель можно усложнить и дополнить, сделав ее более адекватной реальной ситуации. Во-первых, учесть ледокольную проводку. Долгосрочные ледовые прогнозы достаточно большой надежности составляются заблаговременно, и потребности в ледоколах можно учесть до начала навигации. Во-вторых, в Обской губе расположено несколько точек выгрузки, которые можно обеспечить вертолетом с одной точки — помимо Антипаюты, это Тамбей, Сеяха, Мыс Каменный и ряд других. В таком случае грузовое судно может бросить якорь на акватории губы, удаленной от пунктов выгрузки на суммарно минимальное расстояние от них, чтобы оптимизировать вертолетные маршруты. В-третьих, коррективы может вносить погода, когда из-за длительных штормов становится невозможной не только выгрузка, но и само передвижение судна, вынужденного отстаиваться в бухтах, ино-

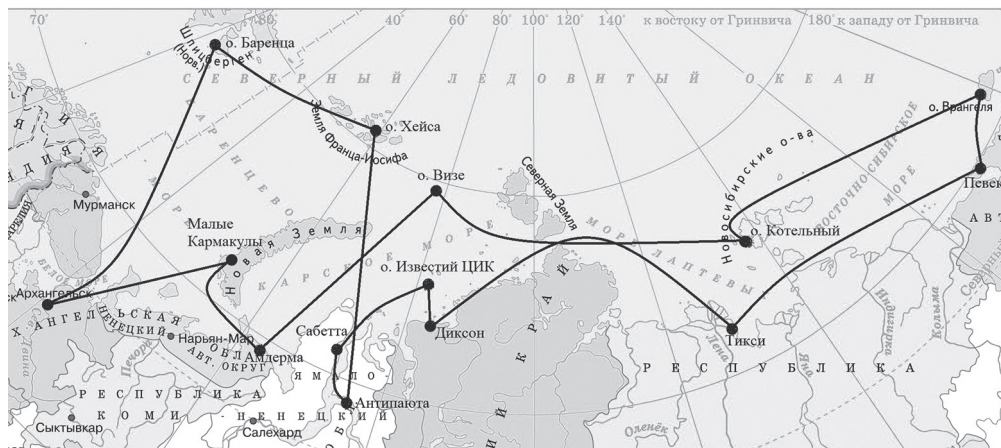


Рис. 3. Предлагаемый маршрут

гда в течение нескольких суток. При наличии прогнозов погоды, пусть их оправдываемость и не всегда удовлетворительна, такого рода алгоритмы способны обеспечить в оперативном режиме корректировку маршрута.

Поскольку задача становится многофакторной, для ее реализации можно использовать и более сложные подходы, основанные на экспертной оценке влияния факторов, представленных в матричном виде [8].

Таким образом, даже относительно простые методы комбинаторной оптимизации уже в первом приближении способны предложить более эффективные варианты использования ограниченного промежутка времени для осуществления северного завоза. Другие проблемы, поднятые в настоящей публикации, должны решаться путем соответствующего финансирования и разработки необходимых технических средств.

Литература

1. Адельсон-Вельский Г. М., Диниц Е. А., Карзанов А. В. Поточковые алгоритмы. М. : Наука, 1975.
2. Антипов Е. О. Проблемы Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды при осуществлении северного завоза // Е. П. Башмакова, Е. Е. Торопушкина. Север и Арктика в новой парадигме мирового развития. Лузинские чтения — 2016: Материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф. Апатиты : РИО КНЦ, 2016. С. 159–164.
3. Белов М. И. История открытия освоения Северного морского пути. IV изд. Л. : Гидрометеиздат, 1969.
4. Гаккель Я. Я., Черненко М. Б. История открытия и освоения Северного морского пути. III изд. Л. : Морской транспорт, 1959.
5. Давыдов Э. Г. Исследование операций. М. : Высшая школа, 1990.
6. Панченко Т. В. Генетические алгоритмы / под ред. Ю. Ю. Тарасевича. Астрахань : Издательский дом «Астраханский университет», 2007.
7. Тутьгин А. Г. Концепция создания комплекса моделей развития транспортной инфраструктуры Арктической зоны Российской Федерации // Научное обозрение. 2016. № 24. С. 182–185.
8. Тутьгин А. Г., Коробов В. Б., Юфряков А. В. Матрицы парных сравнений как элементы экспертно-аналитической системы в моделях управления транспортной инфраструктурой в Арктике // Экономика, социология и право. 2016. № 11. С. 58–64.
9. Land A. H., Doig A. G. An automatic method of solving discrete programming problems // *Econometrica: Journal of the Econometric Society*. 1960. P. 497–520.

References

1. Adelson-Velsky G. M., Diniz E. A., Karzanov A. V. *Stream algorithms* [Potokovye algoritmy]. M. : Science [Nauka], 1975. (rus)
2. Antipov E. O. *Problems of Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring at implementation of northern delivery* [Problemy Federal'noi sluzhby po gidrometeorologii i monitoringu okruzhayushchei sredy pri osushchestvlenii severnogo zavoza] // E. P. Bashmakova, E. E. Toropushkina. The North and the Arctic in a new paradigm of world development. Luzinsky readings — 2016: Materials of the VIII international scientific and practical conference [E. P. Bashmakova, E. E. Toropushkina. Sever i Arktika v novoi paradigme mirovogo razvitiya. Luzinskie chteniya — 2016: Materialy VIII mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii]. Apatity : RIO KSC, 2016. P. 159–164. (rus)
3. Belov M. I. *History of opening of development of the Northern Sea Route* [Istoriya otkrytiya osvoeniya Severnogo morskogo puti]. IV ed. L. : Hydrometeoizdat, 1969. (rus)
4. Gakkel Ya. Ya., Chernenko M. B. *History of opening and development of the Northern Sea Route* [Istoriya otkrytiya i osvoeniya Severnogo morskogo puti]. III ed. L. : Marine transport [Morskoi transport], 1959. (rus)
5. Davydov E. G. *Research of operations* [Issledovanie operatsii]. M. : The higher school [Vysshaya shkola], 1990. (rus)
6. Panchenko T. V. *Genetic algorithms* [Geneticheskie algoritmy] / under the editorship of Yu. Yu. Tarasevich. Astrakhan : Astrakhan University publishing house [Izdatel'skii dom «Astrakhanskii universitet»], 2007. (rus)
7. Tutygin A. G. *Concept of creation of a complex of models of development of transport infrastructure of the Arctic zone of the Russian Federation* [Kontseptsiya sozdaniya kompleksa modelei razvitiya transportnoi infrastruktury Arkticheskoi zony Rossiiskoi Federatsii] // Scientific review [Nauchnoe obozrenie]. 2016. N 24. P. 182–185. (rus)
8. Tutygin A. G., Korobov V. B., Yufryakov A. V. *Matrixes of pair comparisons as elements of expert and analytical system in models of management of transport infrastructure in the Arctic* [Matritsy parnykh sravnenii kak elementy ekspertno-analiticheskoi sistemy v modelyakh upravleniya transportnoi infrastrukturoi v Arktike] // Economy, sociology and law [Ekonomika, sotsiologiya i pravo]. 2016. N 11. P. 58–64. (rus)
9. Land A. H., Doig A. G. *An automatic method of solving discrete programming problems* // *Econometrica: Journal of the Econometric Society*. 1960. P. 497–520.