УДК 656.076
DOI: 10.37890/jwt.vi88.735

Оптимизация оперативного планирования работы флота с применение информационных технологий

В.В. Фирсов
ORCID: 0009-0006-3152-2743
Ю.Н. Уртминцев
ORCID: 0009-0001-4534-4347
Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия

Аннотация. В данной статье рассматривается возможность сокращения расходов и повышения эффективности использования судов путем оптимальной расстановки флота с использованием математической модели и методов оптимизации. При планировании следующего рейса не всегда имеется подписанный договор: сделка может находиться на стадии переговоров. В рамках данной работы для планирования рейсов договоры были разделены на «чистые» сделки и заявки на перевозку. Экономико-математическая модель позволит максимизировать прибыль за счет оптимизации расстановки флота и подбора наиболее выгодных договоров – при условии, что имеющееся количество судов способно выполнить все «чистые» сделки. В расчетах учитываются условия этих рейсов, такие как laycan, работа портов в выходные дни, начало сталийного времени, район работы. Еще одной отличительной особенностью модели является то, что в заявках рассматривается конкретный проект судна. Это позволит в случае нехватки вычислительных мощностей сократить объем задачи. Другими словами, расчет ведется не по всему процессу целиком, а разбивается на подзадачи – обрабатываются только заявки, относящиеся к одному проекту. Помимо этого, в современных условиях приходится учитывать санкционные риски. Наличие соответствующих ограничений по странам, наложившим эти самые санкции, позволит более реалистично оценивать возможность выполнения конкретного рейса, конкретным судном.

Ключевые слова: оптимизация работы флота, оперативное планирование, экономико-математическая модель, планирование работы флота.

Optimization of fleet operational planning using information technologies

Viktor V. Firsov
ORCID: 0009-0006-3152-2743
Yuriy N. Urtmintsev
ORCID: 0009-0001-4534-4347
Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. This article considers the possibility of reducing costs and increasing the efficiency of vessel utilization through optimal fleet deployment using a mathematical model and optimization methods. When planning the next voyage, a signed contract is not always available; the deal may still be under negotiation. In this work, contracts for voyage planning were divided into clean recap and transportation requests. The economic-mathematical model aims to maximize profit by optimizing fleet deployment and selecting the most advantageous contracts, provided that the available fleet can fulfill all clean recaps. The calculations consider conditions such as laycan, port operations on weekends, commencement of laytime, and the operating region. In addition, a distinctive feature is that requests are associated with

a specific vessel project, which allows reducing the problem size in case of limited computer resources. In other words, the calculation is not performed for the entire process as a whole but is divided into sub-tasks, processing only requests related to a single project. Furthermore, in today's environment, sanctions risks must be taken into account. The existence of relevant restrictions for the countries that have imposed these sanctions will allow for a more realistic assessment of the feasibility of a specific voyage by a specific vessel.

Keywords: fleet operation optimization, operational planning, economic-mathematical model, fleet work scheduling

Введение

Основной целью любой коммерческой организации является получение прибыли. Транспортные компании, занимающиеся перевозкой различных видов грузов, в большинстве своем являются коммерческими организациями. Как всем известно, увеличить прибыль можно за счет роста доходов или за счет снижения расходов.

Современная экономика характеризуется большим спросом на транспортные услуги и не менее значительным количеством предложений по перевозке. На рынке существует конкуренция не только между судоходными компаниями, но и между транспортными организациями, занимающимися перевозкой грузов другими видами транспорта. Поэтому увеличить прибыль за счет повышения ставок на перевозку невозможно: это приведет к потере клиентов, а сама ставка фрахта «диктуется» рынком перевозок. В связи с этим транспортные компании стремятся к сокращению издержек и повышению эффективности использования транспорта.

В последние годы в условиях цифровизации морской отрасли наблюдается растущий интерес крупных судоходные компаний к внедрению методов оптимизации оперативного планирования работы флота. Это обусловлено необходимостью повышения эффективности использования флота, минимизации эксплуатационных расходов и укрепления конкурентных позиций судоходных предприятий.

В данной работе рассматривается возможность сокращения расходов и повышения эффективности использования судов в современных условиях с учетом особенностей договоров на перевозку – путем оптимальной расстановки флота с применением математической модели и методов оптимизации. Цель работы – повышение эффективности оперативного планирования работы флота с помощью методов оптимизации.

Основные понятия и виды планирования

Планирование включает в себя определение целей, разработку стратегий и тактик, выделение ресурсов, распределение задач и создание плановых документов. Целью планирования является достижение определенных результатов, обеспечение эффективного использования ресурсов и снижение неопределенности в процессе работы.

Оперативное планирование представляет собой более конкретную и краткосрочную форму планирования, которая ориентирована на достижение текущих целей и задач. Оно включает в себя конкретные действия и мероприятия, направленные на выполнение стратегических планов и достижение определенных результатов в ближайшем будущем.

Экономико-математические модели и методы оптимального оперативного планирования используются для повышения точности и эффективности процесса планирования. Они позволяют прогнозировать будущие события, оптимизировать распределение ресурсов и принимать экономически обоснованные решения. Эти модели и методы основываются на математических алгоритмах, статистических методах и экономической теории.

Применение экономико-математических моделей и методов оптимального оперативного планирования позволяет компаниям принимать решения на основе анализа данных и учета различных факторов. Они помогают оптимизировать использование ресурсов, минимизировать издержки и улучшить результаты деятельности компании.

Таким образом, экономико-математические модели и методы оптимального оперативного планирования играют важную роль в процессе планирования деятельности компаний, помогая им принимать обоснованные решения и достигать поставленных целей.

Процесс планирования [1] в организации начинается с четкого понимания того, что необходимо делать для ее эффективного развития и функционирования. Успех любого плана зависит от:

- качества целеполагания в ключевых вопросах развития организации – на основе анализа ее прошлого, настоящего и будущего, а также способности оперативно реагировать на изменения внешней среды;
- качества предварительного анализа деятельности организации, включая ее ценовую политику, состояние рынка, действия конкурентов, логистику товародвижения и другие значимые факторы;
- корректной оценки конкурентоспособности организации;
- выбора и успешной реализации стратегии развития, способствующей повышению конкурентоспособности организации.

В судоходных компаниях применяются следующие виды планирования: годовое, месячное и рейсовое.

Годовое планирование

Годовое планирование напрямую связано с бюджетированием. Каждая организация, независимо от размера, планирует и оценивает финансовые результаты своей деятельности.

Бюджет организации – это календарный план доходов и расходов, сформулированный в стоимостных и количественных величинах. Он служит инструментом принятия решений, планирования и контроля в процессе управления деятельностью компании. Бюджет составляется в натуральном и/или денежном выражении и определяет потребность компании в ресурсах, необходимых для получения прогнозируемых доходов.

Бюджетирование как неотъемлемая часть управленческого учета применяется для прогнозирования финансового результата компании, анализа плановых и фактических показателей с учетом отклонений.

Основными бюджетными формами являются: Бюджет доходов и расходов (БДР) и Бюджет движения денежных средств (БДДС). С их помощью руководитель может спланировать размер прибыли предприятия и эффективно распределить финансовые потоки [2].

БДР – это ключевой бюджет, который создается на будущий год (квартал) с целью планирования и управления доходами, расходами и прибылью предприятия. Ежемесячно финансовый директор контролирует исполнение бюджетных обязательств, сравнивая плановые данные с фактическими. Если отклонения от плановых сумм существенные, бюджет подлежит корректировке.

БДДС (бюджет движения денежных средств) служит для распределения финансовых потоков по местам хранения денежных средств (банковские счета, кассы и др.). Цель составления этого бюджета является управление платежеспособностью компании, а именно недопущение возникновения кассовых разрывов и предотвращение накопления денежных средств.

БДДС может составляться на год или полугодие, но с обязательной разбивкой по месяцам. БДДС, составленный на месяц и разбитый по дням, зачастую используется в качестве «Платежного календаря».

Месячное планирование

Основная задача месячного планирования – уточнение годового плана и обеспечение его выполнения. Можно считать, что месячное планирование – это оперативное планирование, конкретизирующее годовые задания на месячный период [3].

В нем уже более детально расписываются все элементы. Поскольку месячный план также связан с бюджетированием, в нем так же используются формы БДР и БДДС.

В судоходных компаниях в месячном плане работы флота уже происходит привязка к конкретному судну, а не к типу судна, как в годовом. Более детально расписывается сам рейс: количество планируемого груза, ставка фрахта (с большей точностью), порты погрузки и выгрузки.

Рейсовое планирование

Рейсовое планирование, так же как и месячное, является оперативным планированием и включает в себя детальный план конкретного рейса. Основное его отличие от месячного заключается в том, что данный план еще конкретнее описывает работу конкретного судна в данном рейсе.

Под рейсом в данном случае подразумевается транспортно-технологический цикл работы судна – от момента полного (в случае нескольких портов выгрузки) окончания выгрузки до момента полного окончания следующей выгрузки.

При составление рейсового плана учитываются все условия договора, такие как работа в выходные дни, конкретное наименование груза, нормы погрузи и выгрузки. Также планируется количество груза, которое будет погружено в данном рейсе.

Совершенствование оперативного планирования работы флота

В качестве направлений совершенствования оперативного планирования работы флота [4] можно выделить следующие крупные блоки:

– оптимальное рейсовое нормирование;
– непрерывное планирование работы флота;
– автоматизация расчета оперативных планов работы флота.

Оптимальное рейсовое нормирование

Нормирование времени следования – это процесс управления, задачей которого является определение скоростей движения судов при заданных направлении перевозок, условиях плавания и параметрах судна. Традиционно этот процесс осуществляется вне процессов оперативного управления. Поэтому нормы времени следования рассчитываются исходя из некоторых средних параметров транспортного процесса.

Это означает, во-первых, недостаточную точность самих норм, а во-вторых, отсутствие какой-либо оптимизации самой значимой части эксплуатационных затрат – затрат на топливо.

Одним из способов повышения эффективности работы флота является регулирование скорости движения судов с учетом складывающейся оперативной обстановки в портах (готовность груза, готовность причалов и др.).

Одним из направлений совершенствования оперативного управления является объединение процессов нормирования и рейсового планирования в единый процесс

оптимального рейсового планирования, осуществляемый на базе специализированной компьютерной системы.

Непрерывное планирование работы флота

Основной аргумент для принятия непрерывного планирования [4] является повышение адекватности планирования. Максимально адекватный план должен быть календарным и оперировать конкретными судами или группами судов на направлениях перевозок, а также описывать работу всех судов в течение производственного периода. Это позволит получать эффект от принимаемых решений за рамками декады. Непрерывное планирование является особым видом оперативного планирования.

Для повышения адекватности требуется также учет:

– влияния текущих путевых условий на движение судов;

– динамики транспортного процесса.

Для описания сложной динамической системы применяются имитационные модели. В 1970-х и 1980-х годах проводились попытки применения таких моделей на речном транспорте, однако они не увенчались успехом из-за низкой производительности вычислительных машин. В современных условиях возможности информационных технологий достаточны для моделирования динамической транспортной системы в оперативном режиме.

Можно выделить 5 принципов, которым должна соответствовать современная концепция непрерывного планирования [5]:

1) планирование осуществляется в форме календарного графика работы флота персонально по каждому судну;

2) метод расчета плана работы флота не зависит от горизонта планирования;

3) обновление плана осуществляется при любом значимом изменении эксплуатационной обстановки по сравнению с прогнозами;

4) разработка плана может быть проведена для произвольного горизонта планирования;

5) разработка плана осуществляется с учетом оптимального нормирования ходовой операции персональных рейсооборотов.

Для разработки метода расчета непрерывного плана, основанного на этих принципах, необходимо решить следующие проблемы:

1) требуется построение автоматизированной имитационной модели работы флота, не требующей алгоритмической перестройки при изменении параметров;

2) необходима разработка эвристического алгоритма календарного планирования, использующего метод оптимального нормирования и автоматизированную имитационную модель.

Автоматизация расчета оперативных планов работы флота

Автоматизация расчета оперативных планов является упрощенной версией непрерывного планирования. Основное отличие заключается в том, что не все данные заносятся автоматически, как при непрерывном планировании, а пересчет происходит только после нажатия сотрудником соответствующей кнопки.

Для реализации непрерывного планирования и автоматизации расчета оперативных планов необходимо составить экономико-математическую модель работы флота. Экономико-математическая модель представляет собой математическое описание экономического процесса или объекта (в нашем случае – транспортного процесса), выполненное в целях их исследования и управления.

Существует ряд работ, которые в той или иной степени описывают процесс планирования работы флота. Авторами таких работ являются: Ширяев Е. В. [6], Разживин И.Н., Захаров В. Н. [7], Платов Ю.И. [8], Платов А.Ю. [9], Корьев В.Ю. [10] и другие. Однако их работы так и не получили практической реализации по различным причинам. Основная причина – отсутствие достаточного уровня развития информационных технологий на тот момент. Помимо этого, большинство работ рассматривают вопрос в период плановой экономики и с переходом к рыночным отношениям не могут быть применены к существующей системе планирования работы флота из-за неопределенности в объемах перевозок и потребности во флоте. В результате работа судоходных компаний была переориентирована на новые условия, что потребовало сосредоточить внимание на поиске грузовладельцев (фрахтователей), обеспечении качества перевозок, выполнении договорных обязательств, а также на гибкости в экономических и технологических аспектах. Компании стали стремиться снизить себестоимость перевозок и минимизировать простои флота. При этом рейс судна стал основным производственным циклом.

К более современным моделям можно отнести:

- экономико-математическая модель оперативного планирования работы флота;
- модель выбора рейсовых назначений и адаптации существующих алгоритмов оптимизации режима движения в рамках методики непрерывного регулирования.

Первая модель [11] позволяет произвести оптимальную расстановку флота, но не учитывает условия договора на перевозку и подходит для случаев, когда заранее известно, что имеющийся флот может выполнить все рейсы. Иными словами, она рассматривает только уже заключенные с фрахтователями договоры и никак не учитывает ситуации, когда необходимо выбрать, какую сделку выгоднее заключить. Помимо этого, в модели не учтена специфика проекта судов. Кроме того, данная задача больше подходит для речных перевозок, поскольку не учитывает особенностей морских перевозок – например, портовых и канальных сборов, времени ожидания прохождения проливов.

Вторая модель [10] ориентирована на перевозки танкерным флотом и учитывает некоторые их особенности. Однако в ней не учтены условия договоров на перевозку, такие как режим работы в выходные дни, начало сталийного времени, а также не учтены санкционные ограничения, вопрос которых стал очень актуален в последнее время. Также остается неясным, как оценивать эффективность работы в ситуации, когда одно судно выполняет длинный рейс, другой – короткий, а третий находится на простое без рейса: затрачиваемое время на эти рейсы существенно различается. Кроме того, данный подход применим только для анализа уже заключенных договоров и не предусматривает выбора наиболее выгодных сделок из потенциально возможных вариантов. Ограничения по бункеровке больше подходят для небольших рейсов и не учитывают вместимость самих топливных танков каждого конкретного судна в данный момент, так как при длительных морских переходах возникают ситуации дополнительной, повторной бункеровки во время рейса в целях оптимизации и минимизации расходов на топливо.

Экономико-математическое описание разработки автоматизации оперативного планирования работы флота

В результате анализа существующих моделей в рамках данной работы разработана следующая модель. Экономико-математическое описание автоматизации оперативного планирования работы флота рассматривает ситуацию при планировании рейсов, следующих после завершения текущего. Под рейсом будем

понимать транспортно-технологический цикл работы судна – от момента полного (в случае нескольких портов выгрузки) окончания выгрузки до момента полного окончания следующей выгрузки. При планировании следующего рейса не всегда имеется подписанный договор: сделка может находиться на стадии переговоров. В рамках данной задачи для планирования рейсов договоры разделим на «чистые сделки» и заявки на перевозку.

«Чистая сделка» – это уже существующий договор на перевозку (charter party, в дальнейшем – CP), то есть обе компании подтверждают заключение договора с прописанными условиями и берут на себя обязательства их выполнить. Важно отметить, что не все CP оформляются на одну конкретную перевозку. В случае наличия большой партии груза для перевозки необходимо заранее разбить данный договор на отдельные заявки. На практике в таких договорах, как правило, все равно оговариваются между фрахтователем и судовладельцем период подачи судна и количество груза. Это необходимо, поскольку в любом случае требуется заранее подготовить партию груза к отправке, а покупатель груза не всегда найден на момент заключения договора.

Под заявкой будем понимать все сделки, находящиеся на стадии переговоров. В данном случае у компаний еще нет обязательств друг перед другом, но это потенциальные CP, не учитывать которые было бы нецелесообразно.

Итак, после введения новых понятий необходимо разобрать, как ими пользоваться. CP – это сделки, которые необходимо обязательно выполнить. Заявки же не обязательны для выполнения, и, соответственно, необходимо выбрать наиболее подходящие, то есть наиболее выгодные.

Если с CP можно просто управлять расстановкой флота, то с заявками, помимо оптимизации расстановки флота, необходимо выбрать наиболее прибыльные варианты. Для определения более выгодной сделки будем опираться на тайм-чартерный эквивалент (Time Charter Equivalent, TCE).

В настоящее время из-за усложнившейся политической ситуации правительства стран Запада ввели санкции в отношении России. Эти ограничения существенно влияют на планирование работы флота и требуют от судоходных компаний в целом и операторов в частности высокой гибкости и адаптивности. Основными источниками санкционных ограничений выступают: Великобритания (UK), Европейский союз (EU) и Соединенные Штаты Америки (OFAC). При этом санкции США оказывают наибольшее воздействие, поэтому при планировании работы флота необходимо учитывать их влияние в зависимости от типа ограничений. Если санкции наложены на саму компанию, все ее суда получают соответствующую пометку. При проверке судна анализируются данные: регистрационного судовладельца; коммерческого оператора; технического оператора; исполняющего судовладельца (при его наличии).

Для решения данной модели рекомендуется использовать функцию поиска решений MS Excel. В качестве метода оптимизации можно применить любой алгоритм, представленный в библиотеке поиска решений. По сути, основная задача работы заключается в сборе, систематизации и обработке исходных данных таким образом, чтобы в итоге сформировать базу данных (таблицу), в которой описаны все возможные варианты расстановки флота с учетом условий подбора судов.

Затем необходимо составить таблицу ограничений для того, чтобы поиск решения при максимизации целевой функций выполнял все заявки, и исключал повторного назначения судов. Для данного этапа работы мы принимаем, что судно можно назначить только на один рейс вперед.

В связи с этим можно выделить следующие элементы:

1) ***Постановка задачи.*** Требуется определить расстановку судов, обеспечивающую максимальную эффективность работы флота.

2) ***Исходные данные.*** Список судов, характеристика судов, текущая дислокация, условия договоров на перевозку, расстояние между портами.
3) ***Целевая функция.*** Суммарный TCE должен стремиться к максимуму.

$$\sum_{j\in J}\sum_{i\in I}(\Pi_{ij} * X_{ij}) / \sum_{j\in J}\sum_{i\in I}(t_{ij}^{\text{р}} * X_{ij}) \to max \quad (1)$$

где X_{ij} – назначение судна *i*-го судна на *j*-й рейс (либо 0, либо 1);

i – индекс судна;

I – множество судов, рассматриваемых в рамках задачи;

j – индекс рейса;

J – множество рейсов (чистые сделки и заявки), рассматриваемых в рамках задачи.

Расчет технико-экономических показателей.

Для каждого судна TCE выглядит следующим образом:

$$TCE_{ij} = \frac{\Pi_{ij}}{t_{ij}^{\text{р}}}, \text{USD/сут.} \quad (2)$$

где Π_{ij} – рейсовый результат *i*-го судна по *j*-му рейсу;

$t_{ij}^{\text{р}}$ – время рейса *i*-го судна по *j*-му рейсу.

Рейсовый результат *i*-го судна по *j*-му рейсу определяется по формуле:

$$\Pi_{ij} = Д_{ij} - Э_{ij}^{\text{расх}}, \text{USD} \quad (3)$$

где $Д_{ij}$ – доход *i*-го судна по *j*-ому рейсу;

$Э_{ij}^{\text{расх}}$ – рейсовые расходы *i*-го судна по *j*-му рейсу

Доход *i*-го судна по *j*-му рейсу выглядит следующим образом:

$$Д_{ij} = Q_{эij}^{\text{план}} * d_j * (1 - K_j), \text{USD} \quad (4)$$

где $Q_{эij}^{\text{план}}$ – плановая загрузка *i*-го судна по *j*-му рейсу, т;

d_j – ставка фрахта по *j*-му рейсу, USD/т;

K_j – комиссия по *j*-му рейсу, доли ед.

В случае, когда ставка фрахта указана за перевозку в целом (lumsum), то доход от перевозки выглядит следующим образом:

$$Д_{ij} = d_j * (1 - K_j), \text{USD} \quad (5)$$

Рейсовые расходы *i*-го судна по *j*-му рейсу определяются по формуле:

где $\sum Э_{ij}^{\text{топ}}$ – расходы на топливо *i*-го судна по *j*-му рейсу;

$\sum Э_{ij}^{PDA}$ – расходы на судозаходы в порты *i*-го судна по *j*-му рейсу;

$\sum Э_{ij}^{\text{канал}}$ – расходы на прохождение каналов/проливов *i*-го судна по *j*-му рейсу. К ним относится прохождение Керченского пролива, Босфор, Дарданеллы, Суэцкий канал и т.д.;

$\sum Э_{ij}^{\text{пр}}$ – прочие расходы.

Основную долю рейсовых расходов составляют расходы по топливу. Поэтому важно использовать наиболее точные методы для их расчета.

Расходы на топливо *i*-го судна по *j*-му рейсу:

$$\sum Э_{ij}^{\text{топ}} = \sum Э_{ij}^{MGO} + \sum Э_{ij}^{VLSFO} + \sum Э_{ij}^{ULSFO}, \text{USD} \quad (7)$$

где $\sum Э_{ij}^{MGO}$ – стоимость дизельного топлива (MGO) *i*-го судна по *j*-му рейсу;

$\sum Э_{ij}^{VLSFO}$ – стоимость мазута с серой менее 0,5% (VLSFO) *i*-го судна по *j*-му рейсу;

$\sum Э_{ij}^{ULSFO}$ – стоимость мазута с серой менее 0,1% (ULSFO) *i*-го судна по *j*-му рейсу.

VLSFO и ULSFO это тяжелое топливо, которое в основном используется главными двигателями (ГД). ULSFO применяется в зоне SECA (Sulfur Emission

Control Areas - это зоны, в которых введен запрет на использование высокосернистого топлива, в которую входят акватории Северного и Балтийского морей, пролив Ла-Манш, Карибское, Средиземное море и 200-мильные зоны США и Канады). Однако, не все ГД способны использовать данное топливо в качестве основного, особенно это касается южного региона (Черное, Мраморное моря Средиземное и т.д.) и такие суда используют в качестве основного топлива MGO.

MGO – это легкое топливо, которое применяется для работы дизель-генераторов (ДГ) и котлов. Однако на некоторых судах установлен валогенератор, что позволяет им не использовать MGO.

Исходя из всего вышесказанного, можно сделать вывод, что используемый вид топлива зависит от типа судна и зоны его эксплуатации. Математически расход топлива в общем виде можно описать по процессам следующим образом:

$$\sum N_{ijk}^{\text{топ}} = \sum N_{ijk}^{\text{топ ГД}} + \sum N_{ijk}^{\text{топ ДГ}} + \sum N_{ijk}^{\text{топ К}}, \text{ т} \quad (8)$$

где $\sum N_{ijk}^{\text{топ ГД}}$ – общее количество топлива на ГД *i*-го судна по *j*-му рейсу по *k*-му топливу;

$\sum N_{ijk}^{\text{топ ДГ}}$ – общее количество топлива на ДГ *i*-го судна по *j*-му рейсу по *k*-му топливу;

$\sum N_{ijk}^{\text{топ К}}$ – общее количество топлива на котел *i*-го судна по *j*-му рейсу по *k*-му топливу.

Общее количество топлива на ГД *i*-го судна по *j*-му рейсу по *k*-му топливу:

$$\sum N_{ijk}^{\text{топ ГД}} = \sum N_{ijk}^{\text{топ ГД бл}} + \sum N_{ijk}^{\text{топ ГД гр}} + \sum N_{ijk}^{\text{топ ГД ман}}, \text{ т} \quad (9)$$

где $\sum N_{ijk}^{\text{топ ГД бл}}$ – общее количество топлива на ГД *i*-го судна по *j*-му рейсу по *k*-му топливу в балласте;

$\sum N_{ijk}^{\text{топ ГД гр}}$ – общее количество топлива на ГД *i*-го судна по *j*-му рейсу по *k*-му топливу в грузу;

$\sum N_{ijk}^{\text{топ ГД ман}}$ – общее количество топлива на ГД *i*-го судна по *j*-му рейсу по *k*-му топливу на маневрах.

Общее количество топлива на ГД *i*-го судна по *j*-му рейсу по *k*-му топливу в балласте:

$$\sum N_{ijk}^{\text{топ ГД бл}} = \sum N_{ijk}^{\text{топ ГД бл мор}} + \sum N_{ijk}^{\text{топ ГД бл ост.уч}}, \text{ т} \quad (10)$$

где $\sum N_{ijk}^{\text{топ ГД бл мор}}$ – общее количество топлива на ГД *i*-го судна по *j*-му рейсу по *k*-му топливу в балласте на морских участках;

$\sum N_{ijk}^{\text{топ ГД бл ост.уч}}$ – общее количество топлива на ДГ *i*-го судна по *j*-му рейсу по *k*-му топливу в балласте на остальных участках.

Общее количество топлива на ГД *i*-го судна по *j*-му рейсу по *k*-му топливу в балласте на морских участках:

$$\sum N_{ijk}^{\text{топ ГД бл мор}} = \sum N_{ijk}^{\text{топ ГД бл мор } SECA} + \sum N_{ijk}^{\text{топ ГД бл мор ост.рн}}, \text{ т} \quad (11)$$

где $\sum N_{ijk}^{\text{топ ГД бл мор } SECA}$ – общее количество топлива на ГД *i*-го судна по *j*-му рейсу по *k*-му топливу в балласте на морских участках в зоне SECA;

$\sum N_{ijk}^{\text{топ ГД бл мор ост.рн}}$ – общее количество топлива на ДГ *i*-го судна по *j*-му рейсу по *k*-му топливу в балласте на морских участках в остальных районах.

Общее количество топлива на ГД *i*-го судна по *j*-му рейсу по *k*-му топливу в балласте на остальных участках:

$$\sum N_{ijk}^{\text{топ ГД бл ост.уч}} = \sum N_{ijk}^{\text{топ ГД бл ост.уч } SECA} + \sum N_{ijk}^{\text{топ ГД бл ост.уч ост.рн}}, \text{ т} \quad (12)$$

где $\sum N_{ijk}^{\text{топ ГД бл ост.уч } SECA}$ – общее количество топлива на ГД *i-г*о судна по *j*-му рейсу по *k*-му топливу в балласте на остальных участках в зоне SECA;

$\sum N_{ijk}^{\text{топ ГД бл ост.уч ост.рн}}$ – общее количество топлива на ДГ *i*-го судна по *j*-му рейсу по *k*-му топливу в балласте на остальных участках в остальных районах.

Общее количество топлива на ГД *i*-го судна по *j*-му рейсу по *k*-му топливу в грузу:

$$\sum N_{ijk}^{\text{топ ГД гр}} = \sum N_{ijk}^{\text{топ ГД гр мор}} + \sum N_{ijk}^{\text{топ ГД гр ост.уч}}, \text{ т} \quad (13)$$

где $\sum N_{ijk}^{\text{топ ГД гр мор}}$ – общее количество топлива на ГД *i*-го судна по *j*-му рейсу по *k*-му топливу в грузу на морских участках;

$\sum N_{ijk}^{\text{топ ГД гр ост.уч}}$ – общее количество топлива на ДГ *i*-го судна по *j*-му рейсу по *k*-му топливу в грузу на остальных участках.

Общее количество топлива на ГД *i*-го судна по *j*-му рейсу по *k*-му топливу в грузу на морских участках:

$$\sum N_{ijk}^{\text{топ ГД гр мор}} = \sum N_{ijk}^{\text{топ ГД гр мор } SECA} + \sum N_{ijk}^{\text{топ ГД гр мор ост.рн}}, \text{ т} \quad (14)$$

где $\sum N_{ijk}^{\text{топ ГД гр мор } SECA}$ – общее количество топлива на ГД *i*-го судна по *j*-му рейсу по *k*-му топливу в грузу на морских участках в зоне SECA;

$\sum N_{ijk}^{\text{топ ГД гр мор ост.рн}}$ – общее количество топлива на ДГ *i*-го судна по *j*-му рейсу по *k*-му топливу в грузу на морских участках в остальных районах.

Общее количество топлива на ГД *i*-го судна по *j*-му рейсу по *k*-му топливу в грузу на остальных участках:

$$\sum N_{ijk}^{\text{топ ГД гр ост.уч}} = \sum N_{ijk}^{\text{топ ГД гр ост.уч } SECA} + \sum N_{ijk}^{\text{топ ГД гр ост.уч ост.рн}}, \text{ т} \quad (15)$$

где $\sum N_{ijk}^{\text{топ ГД гр ост.уч } SECA}$ – общее количество топлива на ГД *i*-го судна по *j*-му рейсу по *k*-му топливу в грузу на остальных участках в зоне SECA;

$\sum N_{ijk}^{\text{топ ГД бл ост.уч ост.рн}}$ – общее количество топлива на ДГ *i*-го судна по *j*-му рейсу по *k*-му топливу в грузу на остальных участках в остальных районах.

Общее количество топлива на котел *i*-го судна по *j*-му рейсу по *k*-му топливу на маневрах:

$$\sum N_{ijk}^{\text{топ ГД ман}} = \sum N_{ijk}^{\text{топ ГД ман } SECA} + \sum N_{ijk}^{\text{топ ГД ман ост.рн}}, \text{ т} \quad (16)$$

где $\sum N_{ijk}^{\text{топ ГД ман } SECA}$ – общее количество топлива на ГД *i*-го судна по *j*-му рейсу по

k-му топливу на маневрах на остальных участках в зоне SECA;

$\sum N_{ijk}^{\text{топ ГД ман ост.рн}}$ – общее количество топлива на ДГ *i*-го судна по *j*-му рейсу по *k*-му топливу на маневрах на остальных участках в остальных районах.

Количество топлива на ГД для всех вышеописанных операций определяется следующим образом:

$$N_{ijk}^{\text{топ ГД}} = n_{ik}^{\text{ГД}} * t_{ijk}(S_{ijk}) * k_{ij} * \gamma, \text{ т} \quad (17)$$

где $n_{ik}^{\text{ГД}}$ – норматив расхода топлива на ГД *i*-го судна по *k*-му топливу в зависимости от операции, т/сут(км);

$t_{ijk}(S_{ijk})$ – расчетное время (расстояние) *i*-го судна по *j*-му рейсу по *k*-му топливу в зависимости от операции, сут(км);

k_{ij} – коэффициент, учитывающий увеличение/уменьшение нормы расхода топлива в зависимости от загрузки *i*-го судна по *j*-му рейсу в зависимости от операции;

γ – коэффициент, учитывающий разности энергоемкости легкого и тяжелого топлива. Как правило, норма расхода топлива, при использовании MGO в качестве основного ниже на 6% чем при использовании VLSFO или ULSFO.

Общее количество топлива на ДГ *i*-го судна по *j*-му рейсу по *k*-му топливу:

$$\sum N_{ijk}^{\text{топ ДГ}} = \sum N_{ijk}^{\text{топ ДГ ход}} + \sum N_{ijk}^{\text{топ ДГ ст}} + \sum N_{ijk}^{\text{топ ДГ ман}}, \quad (18)$$

где $\sum N_{ijk}^{\text{топ ДГ ход}}$ – общее количество топлива на ДГ *i*-го судна по *j*-му рейсу по *k*-му топливу в ходу;

$\sum N_{ijk}^{\text{топ ДГ ст}}$ – общее количество топлива на ДГ *i*-го судна по *j*-му рейсу по *k*-му топливу в грузу;

$\sum N_{ijk}^{\text{топ ДГ ман}}$ – общее количество топлива на ДГ *i*-го судна по *j*-му рейсу по *k*-ому топливу на маневрах.

Каждую из составляющих формулы (18) можно расписать следующим образом.

$$\sum N_{ijk}^{\text{топ ДГ ход}} = \sum N_{ijk}^{\text{топ ДГ ход } SECA} + \sum N_{ijk}^{\text{топ ДГ ход ост.рн}}, \text{ т} \quad (19)$$

$$\sum N_{ijk}^{\text{топ ДГ ст}} = \sum N_{ijk}^{\text{топ ДГ ст } SECA} + \sum N_{ijk}^{\text{топ ДГ ст ост.рн}}, \text{ т} \quad (20)$$

$$\sum N_{ijk}^{\text{топ ДГ ман}} = \sum N_{ijk}^{\text{топ ДГ ман } SECA} + \sum N_{ijk}^{\text{топ ДГ ман ост.рн}}, \text{ т} \quad (21)$$

где $\sum N_{ijk}^{\text{топ ДГ ход/ст/ман } SECA}$ – общее количество топлива на ДГ *i*-го судна по *j*-му рейсу по *k*-му топливу в ходу/стоянке/маневрах в зоне SECA;

$\sum N_{ijk}^{\text{топ ДГ ход/ст/ман ман ост.рн}}$ – общее количество топлива на ДГ *i*-го судна по *j*-му рейсу по *k*-му топливу в ходу/стоянке/маневрах в остальных районах.

Количество топлива на ДГ для всех вышеописанных операциях определяется следующим образом:

$$dN_{ijk}^{\text{топ ДГ}} = n_{ik}^{\text{ДГ}} * t_{ijk}, \text{ т} \quad (22)$$

где $n_{ik}^{\text{ДГ}}$ – норматив расхода топлива на ДГ *i*-го судна по *k*-му топливу в зависимости от операции, т/сут;

t_{ijk}– асчетное время *i*-го судна по *j*-му рейсу по *k*-му топливу в зависимости от операции, сут.

Общее количество топлива на котел определяется аналогично количеству топлива на ДГ, за исключением формулы 22. Количество топлива на котел для всех операций определяется следующим образом:

$$dN_{ijk}^{\text{топ К}} = n_{ik}^{\text{К}} * t_{ijk} * \gamma, \text{ т} \quad (23)$$

где $n_{ik}^{\text{К}}$ – норматив расхода топлива на котел *i*-го судна по *k*-му топливу в зависимости от операции, т/сут;

t_{ijk}– расчетное время *i*-го судна по *j*-му рейсу по *k*-му топливу в зависимости от операции, сут;

Расходы на судозаходы в порты *i*-го судна по *j*-му рейсу:

$$\sum Э_{ij}^{PDA} = Э_{ij}^{PDA\ \text{погр}} + Э_{ij}^{PDA\ \text{выгр}}, \text{ USD} \quad (24)$$

где $Э_{ij}^{PDA\ погр}$ – стоимость портовых сборов в порту погрузки *i*-го судна по *j*-му рейсу, USD;

$Э_{ij}^{PDA\ выгр}$ – стоимость портовых сборов в порту выгрузки *i*-го судна по *j*-му рейсу, USD.

Общее время рейса выглядит следующим образом:

$$t_{ij}^{р} = \sum t_{ij}^{ход} + \sum t_{ij}^{стоянки}, \text{ сут} \quad (25)$$

где $\sum t_{ij}^{ход}$ – общее время в ходу *i*-го судна по *j*-му рейсу;

$\sum t_{ij}^{стоянки}$ – общее время на стоянках *i*-го судна по *j*-му рейсу.

Общее время в ходу *i*-го судна по *j*-му рейсу:

$$\sum t_{ij}^{ход} = t_{ij}^{балл.переход} + t_{ij}^{в\ грузу}, \text{ сут} \quad (26)$$

где $t_{ij}^{балл.переход}$ – время балластного перехода *i*-го судна по *j*-му рейсу, сут;

$t_{ij}^{в\ грузу}$ – время на следование в грузу *i*-го судна по *j*-му рейсу, сут.

Общее время на стоянках *i*-го судна по *j*-му рейсу:

$$\sum t_{ij}^{стоянки} = t_{ij}^{LC} + t_{ij}^{CLT\ погр} + t_{i}^{откатка\ балл} + t_{ij}^{погр} + t_{ij}^{SSHEX\ погр} + \sum t_{ij}^{ст\ в\ ходу} + t_{ij}^{CLT\ выгр} + t_{ij}^{выгр} + t_{ij}^{SSHEX\ выгр} + t_{ij}^{пр}, \text{ сут} \quad (27)$$

где t_{ij}^{LC} – время ожидание начала LayCan *i*-о судна по *j*-му рейсу, сут;

$t_{ij}^{CLT\ погр}$ – время ожидание начала сталийного времени (commencement lay time) на погрузке *i*-го судна по *j*-му рейсу, сут;

$t_{i}^{откатка\ балл}$ – время на откатку балласта *i*-го судна (зависит от проекта судна, исходные данные), сут;

$t_{ij}^{погр}$ – время погрузки *i*-го судна по *j*-му рейсу, сут;

$t_{ij}^{SSHEX\ погр}$ – время ожидание выходных и праздничных дней на погрузке *i*-го судна по *j*-му рейсу, сут;

$\sum t_{ij}^{ст\ в\ ходу}$ – время всех стоянок в ходу *i*-го судна по *j*-му рейсу, сут;

$t_{ij}^{CLT\ выгр}$ – время ожидание начала сталийного времени (commencement lay time) на выгрузке *i*-го судна по *j*-му рейсу, сут;

$t_{ij}^{выгр}$ – время выгрузки *i*-го судна по *j*-му рейсу, сут;

$t_{ij}^{SSHEX\ выгр}$ – время ожидание выходных и праздничных дней на выгрузке *i*-го судна по *j*-му рейсу, сут;

$t_{ij}^{пр}$ – прочие стоянки, сут.

Для подсчета всех показателей необходимо сначала спрогнозировать время окончание рейса:

$$T_{i0}^{завер\ прог} = \sum_{\square} t_{in}^{опер} + T_{\square}^{дислок}, \text{ сут} \quad (28)$$

где$T_{i0}^{завер\ прог}$ – прогнозное дата и время завершение текущего рейса, сут;

$\sum_{\square} t_{in}^{опер}$– сумма времени оставшихся операций, сут;

$T_{\square}^{дислок}$ – дата и время начала планирования, сут;

На практике в современных морских перевозках невозможно точно предсказать окончание конкретной операции, и часто используется понятие «проспекты» по погрузке, выгрузке судна, так как наибольшая неопределенность относительно плановых значений находится именно в портовых операциях. К примеру, постановка судна к причалу может быть как с ходу – в случае готовности груза, порта и причала, – так и с ожиданием на рейде в течение достаточно длительного времени. Стоит отметить, что в договорах на перевозку существует понятие сталийного времени,

которое регламентирует время нахождения в порту, и все время, потраченное свыше, оплачивается по ставке демереджа. Однако это покрывает только расходы по текущему рейсу, но может значительно изменить время его завершения, что, в свою очередь, может привести к опозданию под следующую позицию.

В связи с этим на практике чаще всего прогнозированием окончания операции и рейса занимается служба эксплуатации флота, которая владеет наиболее свежей, актуальной и точной информацией. Исходя из этого, на практике $T_{i0}^{\text{завер прог}}$ определяется судовыми операторами (менеджерами по эксплуатации) вручную, что является наиболее надежным и достоверным вариантом, учитывающим наибольшее количество как объективных, прогнозируемых, так и непредвиденных факторов. Исходя из этого, в рамках данной работы, $T_{i0}^{\text{завер прог}}$ должен учитываться как исходные данные, при изменении которых может производиться пересчет данной модели.

Исходя из прогнозного времени завершения текущего рейса, можно определить дату подачи судна.

$$T_{ij}^{\text{под след рейс}} = T_{i0}^{\text{завер прог}} + t_{ij}^{\text{балл.переход}}, \text{ сут} \quad (29)$$

где $t_{ij}^{\text{балл.переход}}$ – время на порожний переход *i*-го судна для *j*-й заявке, сут.;

Время на ожидание начала подачи *i*-го судна по *j*-му рейсу определяется в зависимости от даты и времени начала подачи судна на *j*-ом рейсе и даты, и времени подачи i-го судна под *j*-му рейсу:

$$\text{Если } T_j^{\text{ЛД}} > T_{ij}^{\text{под след рейс}}, \text{ то } t_{ij}^{LC} = T_j^{\text{ЛД}} - T_{ij}^{\text{под след рейс}}. \quad (30)$$

$$\text{Если } T_j^{\text{ЛД}} \le T_{ij}^{\text{под след рейс}}, \text{ то } t_{ij}^{LC} = 0 \quad (31)$$

где $T_j^{\text{ЛД}}$ – дата и время начала подачи судна на *j*-му рейсу (исходные данные);

Время, затрачиваемое на погрузку/выгрузку:

$$t_{ij}^{\text{погр/выгр}} = Q_{\text{э}ij}^{\text{план}} / \text{Б}_{\text{с-сут}}^{\text{погр/выгр}}, \text{ сут} \quad (32)$$

где $\text{Б}_{\text{с-сут}}^{\text{погр/выгр}}$ – норма погрузки/выгрузки по *j*-ому рейсу (исходные данные), т/сут.;

В договорах на перевозку важное место занимает учет сталийного времени. Сталийное время – это время, за которое фрахтователь обязуется погрузить или выгрузить судно без дополнительных к фрахту платежей. В случае превышения данного времени фрахтователь обязуется выплатить судовладельцу плату за контрсталийное время (демередж). В связи с этим в СР прописываются порядок расчета в случае, если сталийное время попадает на выходные и праздничные дни, а также условия начала сталийного времени.

Как правило сталийное время начинается с 08:00 (8/24 = 1/3 ≈ 0,333 суток) или 14:00 (14/24 ≈ 0,583 суток) рабочего дня и зависит от времени подачи нотиса о готовности (notice of readiness или NOR). Для математического описания введем следующие обозначение:

дроб (T) – дробная часть числа T (доля текущих суток, от 0 до 1);

цел (T) – целая часть числа T (количество полных суток).

Исходя из новых обозначений, математическое описание начала сталийного времени при условии SHINC и при условии, что NOR может быть подан в любое время, можно описать следующим образом:

$$\text{Если } \frac{8}{24} < \text{дорб}(T_{ij}^{NOR}) < \frac{12}{24}, \text{ то } T_{ij}^{CLT} = \text{цел}\left(T_{ij}^{NOR}\right) + \frac{14}{24} \quad (33)$$

$$\text{Если дорб}(T_{ij}^{NOR}) > \frac{12}{24}, \text{ то } T_{ij}^{CLT} = \text{цел}\left(T_{ij}^{NOR}\right) + 1 + \frac{8}{24} \quad (34)$$

$$\text{Если дорб}(T_{ij}^{NOR}) < \frac{8}{24}\text{, то } T_{ij}^{CLT} = \text{цел}\left(T_{ij}^{NOR}\right) + \frac{8}{24} \quad (35)$$

$$t_{ij}^{CLT} = T_{ij}^{CLT} - T_{ij}^{NOR} \quad (36)$$

где дорб(T_{ij}^{NOR}) – дробная часть времени подачи NOR *i*-го судна по *j*-му рейсу, сут;

цел$\left(T_{ij}^{NOR}\right)$ – целая часть времени подачи NOR *i*-го судна по *j*-му рейсу, сут;

T_{ij}^{CLT} – момент начала сталийного времени *i*-го судна по *j*-му рейсу, сут.

Время ожидания выходных и праздничных дней зависит от условий грузовых работ. Рассмотрим следующие виды расчета сталийного времени:

SHINC – выходные и праздничные дни включаются в расчет сталийного времени (Sunday and Holidays included).

SSHEX – суббота, воскресенье и праздничные дни исключаются из расчета сталийного времени (Saturday, Sunday and Holidays excepted)

SHEX – воскресенье и праздничные дни исключаются из расчета сталийного времени (Sunday and Holidays excepted).

Следует отметить, что в некоторых странах (в основном в арабских) выходными днями считаются пятница и суббота, а воскресенье является рабочим днем. Однако в рамках данной задачи эти условия не учитываются – будем исходить из стандартной схемы с выходными в субботу и воскресенье.

Время ожидания выходных и праздничных дней *i*-го судна по *j*-му рейсу определяется следующим образом:

$$T_1^{\square} = T_{ij}^{CLT}\text{, сут} \quad (37)$$

$$T_2^{\square} = t_{ij}^{\text{погр/выгр}} + T_{ij}^{CLT}\text{, сут} \quad (38)$$

$$t_{\square}^{\text{не раб.}} \text{ между } T_1^{\square} \text{ и } T_2^{\square}\text{,сут} \quad (39)$$

где $T_1^{\square}$ – первая переменная даты и времени;

$T_2^{\square}$ – вторая переменная даты и времени;

$t_{\square}^{\text{не раб.}}$ – нерабочее время между $T_1^{\square}$ и $T_2^{\square}$.

Если $t_{\square}^{\text{не раб.}} > 0$, то $T_1^{\square} = T_2^{\square}$; $T_2^{\square} = T_1^{\square} + t_{\square}^{\text{не раб.}}$, то возвращаемся к расчету по формуле 39.

Если $t_{\square}^{\text{не раб.}} = 0$, то $T_{ij}^{\text{заверш.погр/выгр}} = T_2^{\square}$

Для определения праздничных дней на практике чаще всего используют календарь BIMCO.

Ограничения. Для данной модели ограничениями являются:

Суда должны приходить раньше даты канцелинга

$$T_{ij}^{\text{под след рейс}} < T_j^{\text{Кан}} \quad \text{для всех i и j} \quad (40)$$

где $T_j^{\text{Кан}}$ – дата и время завершения подачи судна для заявки, сут

Судно, назначенное в заявке, можно заменить только на его субститут. Иными словами, проект судна, должен совпадать с проектом, указанным в рейсе.

$$P_i = R_j \quad \text{для всех i и j} \quad (41)$$

где R_j – проект судна для *j*-й заявки;

P_i – проект *i*-го судна.

Судно можно назначить только один раз:

$$\sum_i X_{ij} \leq 1 \text{ для всех } i \quad (42)$$

На рейс можно назначить только одно судно:

$$\sum_j X_{ij} \leq 1 \text{ для всех } j \quad (43)$$

Для всех рейсов с признаком «чистая сделка» должны быть выполнены:

$$\sum_j X_{ij} = 1 \text{ для всех } j \in J^{\text{clean}} \quad (44)$$

где J^{clean} – множество рейсов со статусом «чистая сделка».

Судно назначенное на рейс должно соответствовать санкционным ограничениям для каждого рейса

$$S_i^{OFAC} \leq S_j^{OFAC} \quad (45)$$

$$S_i^{EU} \leq S_j^{EU} \quad (46)$$

$$S_i^{UK} \leq S_j^{UK} \quad (47)$$

где $S_i^{OFAC/EU/UK}$ – наличие санкции OFAC/EU/UK *i*-го судна (либо 0, либо 1);

$S_i^{OFAC/EU/UK}$ – наличие санкции OFAC/EU/UK *j*-го рейса (либо 0, либо 1).

Заключение

Данная модель позволяет максимизировать прибыль за счет оптимизации расстановки флота и подбору наиболее выгодных сделок при условии, что имеющееся количество флота способно выполнить все «чистые сделки». В расчетах учитываются условия этих рейсов, такие как LC, режим работы портов в выходные и праздничные дни, условия начала сталийного времени, район работы. Еще одной отличительной особенностью является то, что в заявках рассматривается конкретный проект судна, что позволит в случае нехватки возможностей компьютера сократить задачу. Иными словами, обсчитывать не весь процесс целиком, а разбивать задачу на подзадачи и просчитывать только заявки по одному проекту. Помимо этого, в современных условиях приходится учитывать санкционные риски. Наличие соответствующих ограничений по странам, наложившим эти самые санкции, позволит более реалистично оценивать возможность выполнения конкретного рейса, конкретным судном.

На основе этих данных, а также данных о расстоянии между портами, была составлена таблица всевозможных расстановок флота с учетом проектов судов, которые необходимо предоставить для выполнения конкретных рейсов. Суда подобраны таким образом, чтобы расчетное время прибытия не превышало окончания согласованного с клиентом срока подачи судна. Также были учтены расходы на оплату сборов при прохождении Босфора, Дарданелл и Керченского проливов. В результате проведенных расчетов была получена расстановка флота, при которой средний TCE составляет 5 165 USD/судо-сутки, суммарный рейсовый результат составляет 2,2 млн USD. При этом следующие рейсы определены для 21 судна, из которых: 16 – это те, которые компания обязалась выполнить, 5 – находящиеся на стадии переговоров с фрахтователями и рекомендуемые к заключению. В случае появления новых заявок/CP задачу можно повторно перерешать.

Стоит отметить, что при решении данной задачи мы сталкиваемся с тем, что для ее решения необходимо знать ставку фрахта, которая является коммерческой тайной, и компании ее не раскрывают. Также в данной задаче не получится сравнить эффект от расстановки, поскольку, помимо уже известных рейсов (статистических данных), необходимо обсчитывать возможные рейсы, информация о которых хранится далеко не у всех судоходных компаний. Для того чтобы показать эффект от расстановки на

основе имеющихся данных, без использования ставки фрахта, данная задача реализовывалась по критерию минимизации расходов. Суммарные расходы от такого варианта составляют 1 301 309,01 USD. Суммарные расходы при исходной расстановке, которая была использована в пароходстве, составили 1 391 252,47 USD. Экономия составляет 89 943,46 USD или 6,46 %.

Однако стоит отметить, что в дальнейшем при решении данной задачи может быть рассмотрен ряд дополнительных факторов. К примеру, если судно приходит в порт раньше назначенной даты, то ему необходимо давать рекомендации по оптимальной скорости движения для экономии топлива. Оптимизация бункеровки судна с учетом места и стоимости топлива. При прогнозировании рейса необходимо добавить учет особенностей текущего и планируемого груза, а также особенностей конкретного судна. Например, затрачиваемое время на подготовку трюмов к погрузке, хватит ли времени на подготовку на переход в порт погрузки – в случае нехватки необходимо запрашивать дополнительное; техническое состояние судна, ограничения по району плавания, оплата сюрвейеров, наличие СОЛПа у капитана конкретного судна и т. д. В связи с этим данная модель будет совершенствоваться и дорабатываться.

Список литературы

1. Планирование деятельности предприятия: официальный сайт. – URL: https://scienceforum.ru/2014/article/2014004023 (дата обращения 24.10.2025).
2. БДР и БДДС: что это, отличия и как составить в 1С: официальный сайт. – URL: https://www.1ab.ru/blog/detail/bdds-i-bdr-v-1s-erp-i-upravlenie-holdingom (дата обращения 24.10.2025).
3. Месячное планирование: официальный сайт. – URL: https://dic.academic.ru/dic.nsf/railway/1499/МЕСЯЧНОЕ (дата обращения 02.11.2025).
4. Платов, Ю.И. Оперативное управление работой флота: конспект лекций для студентов, обучающихся по направлениям подготовки 38.03.02-62 (080200.62) «Менеджмент», 23.03.01-62 (190700.62) «Технологии транспортных процессов», 26.03.01-62 (180500.62) «Управление водным транспортом и гидрографическое обеспечение судоходства» / Ю. И. Платов, М. В. Никулина, А. Ю. Платов. – Н. Новгород: Изд-во ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2016. – 63 с.
5. Платов, А. Ю. Методология оперативного планирования работы речного грузового флота в современных условиях: диссерт. докт. техн. наук: 05.22.19./ А. Ю. Платов – Н. Новгород, 2010. – 365 с.
6. Ширяев, Е. В. Исследование методических вопросов оперативного планирования работы речного флота для автоматизации управления транспортным процессом / Горьк. ин-т инженеров водного транспорта, 1967. – 19 с.
7. Захаров В.Н. Организация работы речного флота: учеб. для ин-тов вод. трансп. / В. Н. Захаров, В. П. Зачесов, А. Г. Малышкин. – Мск: Транспорт, 1994. – 286 с.
8. Платов, Ю.И. Оперативное управление работой речного нефтеналивного флота: автореф. дис. докт. техн. наук: 05.22.19./ Ю.И. Платов. – Н. Новгород, 1998. – 48 с.
9. Платов, А.Ю. Методология оперативного планирования работы речного грузового флота в современных условиях: автореф. дис. докт. техн. наук: 05.22.19./ А. Ю. Платов. – Н. Новгород, 2011. – 46 с.
10. Корьев, В.Ю. Непрерывное регулирование работы танкеров смешанного река-море плавания: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.22.19./ В.Ю. Корьев. – Н. Новгород, 2017. – 24 с.
11. Синицына, И. А., Экономико-математическая модель оперативного планирования работы флота / И. А. Синицына, Ю. Н. Уртминцев // Проблемы использования и инновационного развития внутренних водных путей в бассейнах великих рек: Труды межд. научно-промышленного форума – Н. Новгород, 2016. 68 –76 с.

References

1. Planning of the enterprise's activities: official website. – URL: https://scienceforum.ru/2014/article/2014004023 (date of access 10/24/2025)/
2. BDR and BDDKS: what they are, differences, and how to create them in 1C: official website. – URL: https://www.1ab.ru/blog/detail/bdds-i-bdr-v-1s-erp-i-upravlenie-holdingom (date of access 10/24/2025).
3. Monthly planning: official website. – URL: https://dic.academic.ru/dic.nsf/railway/1499/МЕСЯЧНОЕ (date of access 11/02/2025).
4. Platov, Yu.I. Operational management of fleet operations: lecture notes for students specializing in 38.03.02-62 (080200.62) «Management», 23.03.01-62 (190700.62) «Transport process technologies», 26.03.01-62 (180500.62) «Management of water transport and hydrographic support of navigation» / Yu. I. Platov, M. V. Nikulina, A. Yu. Platov. – Nizhny Novgorod: Publishing House of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «VSTU», 2016. – 63 pages.
5. Platov, A. Yu. Methodology for operational planning of river freight fleet work in modern conditions: doctoral dissertation in technical sciences: 05.22.19. / A. Yu. Platov – Nizhny Novgorod, 2010. – 365 pages.
6. Shiryayev, E. V. Research on methodological issues of operational planning of river fleet work for automation of transport process management / Gorky Institute of Water Transport Engineers, 1967. – 19 pages.
7. Zakharov, V. N., Zachesov, V. P., Malishkin, A. G. Organization of river fleet operations: textbook for water transport institutes / V. N. Zakharov, V. P. Zachesov, A. G. Malishkin. – Moscow: Transport, 1994. – 286 pages.
8. Platov, Yu. I. Operational management of river oil-tanker fleet: abstract of the doctoral dissertation in technical sciences: 05.22.19. / Yu. I. Platov. – Nizhny Novgorod, 1998. – 48 pages.
9. Platov, A. Yu. Methodology for operational planning of river freight fleet work in modern conditions: abstract of the doctoral dissertation in technical sciences: 05.22.19. / A. Yu. Platov. – Nizhny Novgorod, 2011. – 46 pages.
10. Koryev, V. Yu. Continuous regulation of tanker operations in mixed river-sea navigation: abstract of candidate of technical sciences dissertation: 05.22.19. / V. Yu. Koryev. – Nizhny Novgorod, 2017. – 24 pages.
11. Sinitsyna, I. A. Economic-mathematical model of fleet operational planning / I. A. Sinitsyna, Yu. N. Urtmincev // Problems of utilization and innovative development of internal waterways in the basins of great rivers: Proceedings of the international scientific and industrial forum – Nizhny Novgorod, 2016. pp. 68–76.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Фирсов Виктор Витальевич, аспирант кафедра Управления транспортом, Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: Victorvfirsov@yandex.ru

Viktor V. Firsov, graduate student, Transport Management Department, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951

Уртминцев Юрий Николаевич, д.т.н., профессор, кафедра управления транспортом, Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: yurtm@yandex.ru

Yuriy N. Urtmintsev, Doctor of Engineering Science, Professor of the Transport Management Department, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951

Статья поступила в редакцию 22.01.2026; принята к публикации 10.08.2026; опубликована онлайн 20.09.2026. Received 22.01.2026; published online 20.09.2026.