САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

**КАФЕДРА МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

**Бикташева Айгуль Марселевна**

**Выпускная квалификационная работа бакалавра**

**Математическое моделирование логистической деятельности портовых операторов**

Направление 010400

Прикладная математика и информатика

Научный руководитель,

кандидат физ.-мат. наук,

доцент

 Крылатов А.Ю.

Санкт-Петербург

 2017

  **Содержание**

Введение ......................................................................................................2

Глава 1. Математические модели для портовых операторов..................4

 1.1 Распределения причалов в контейнерном терминале ............4

 1.2 Распределения контейнерных потоков.....................................5

 1.3 Конкуренция портовых операторов..........................................8

Глава 2. Моделирование работы контейнерных терминалов порта Усть–Луга........................................................................................13

 2.1 Порт Усть–Луга.......................................................................13

 2.2 Меры повышения эффективности.........................................17

 2.3 Оптимизация работы контейнерного терминала.................18

Глава 3. Программный модуль для составления расписания швартовки...................................................................................................20

 3.1. Описание алгоритма................................................................22

 3.2 Применение алгоритма к нашей задаче.................................23

 3.3 Преимущество программного модуля...................................24

Заключение ...............................................................................................26

Список литературы ..................................................................................27

Приложение ..............................................................................................29

**Введение.**

Введения и применение экономических санкций Европейского Союза в отношении России привели к уходу российских грузов и потери транзитного потока нефтепродуктов и угля из портов Латвии, Литвы и Эстонии. В результате этого происходит развитие российской портовой и припортовой инфраструктуры и увеличение портовых мощностей. Отечественный порт Усть-Луга и другие российские морские гавани заменяют прибалтийские порты. Снижается зависимость России от прибалтийских "морских ворот" и увеличиваются объемы собственных морских грузоперевозок. Политические тенденции и напряженные отношения между странами демонстрируют, что прибалтийский транзит становится не нужен России, которая выигрывает куда больше, если будет экспортировать товары через свои же порты. Благодаря переориентации грузопотока в России на собственные порты, происходит рост годового грузооборота в порту Усть-Луга. Порт Усть-Луга располагается в удобном месте с точки зрения транспортной инфраструктуры и грузооборота. В Усть-Луге построены дополнительные терминалы: лесной, угольный, рыбный, контейнерный, накатных и наливных грузов, комплекс перегрузки технической серы. В порту грузы не только экспортируются, но и принимаются. Это все помогает охватить обработку большего количества различных грузопотоков. Цель данной работы состоит в построении максимально эффективной работы порта Усть-Луга. Рассмотрим задачу распределения причалов в морском порту. Задача состоит в том, чтобы составить план швартовки прибывших контейнеровозов в контейнерный терминал. Интеллектуальные системы планирования распределения причалов среди прибывающих судов играют важную роль в уменьшении общего времени задержек и простоев, не разгруженных судов в морских портах. Прежде всего, исследуем алгоритм решения задачи распределения причала (Berth allocation problem). Решение задачи распределения причалов заключается в минимизации суммы времени, которое контейнеровозы проводят в ожидании свободных причалов и обработки грузов [1]. Отметим, что математически задача распределения причалов близка задаче распределения ресурсов или распределения потоков [6, 7, 10–16]

В таблице 1 показаны время ожидания свободного причала, оцененного в порту города Кобе в феврале 1996 года.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Количество причалов | 33 | 44 | 55 | 66 | 77 |
| Время (минуты) | 2221 | 336 | 110 | 22 | 00 |

 **Таблица 1**

Из таблицы видно, что чем больше причалов в контейнерном терминале задействованы, тем значительно эффективнее организован процесс обслуживания. В связи с этим важен процесс оптимизации работы причалов в крупных контейнерных терминалах.

**Глава 1**

**Математические модели для портовых операторов.**

**1.1 Распределения причалов в контейнерном терминале.**

В статической задаче распределения причалов предполагается, что все корабли уже находятся в порту. Также предполагается, что каждый причал может обслуживать только один корабль и никакие физические или технические ограничения не накладываются (например, отношения между судном и глубиной воды). Более того, контейнеровозы могут прибывать в терминал для разгрузки только после того, как причал даст разрешение. Время обработки предполагается детерминированным, но причальный план может быть определен прежде, чем все контейнеровозы прибудут в порт. Целевая функция минимизирует сумму времени ожидания наличия причала, назначенного каждому судну, и времени обработки, которое они проводят у причала. При планировании распределения причалов, считается, что судно тратит до 24 часов для погрузочно-разгрузочные работы. Кроме того, эта модель гарантирует последовательное обслуживание всех судов без сбоев.

Рассмотрим следующую оптимизационную задачу [1]:

 (1)

При условии

 (2)

 (3)

*Где i= ( 1,. . .,I ) - множество причалов,* j = (1,. . .,T) - множество судов, k = (1,. . .,T) - порядок обслуживания, - *время, когда причал i становится свободным для распределения причала,*  - время швартовки судна j, - время обработки суда j у причала i, = 1, если судно j обслуживается у причала i в порядке k, Иначе = 0. Множество судов и множество порядков обслуживания имеют одинаковое количество элементов, так как допустимое решение могут иметь все корабли, обслуживаемые на определенном причале. Целевая функция (1) минимизирует сумму времени ожидания причала и времени, которое потребуется на разгрузку каждого судна. Заметим, что из условия задачи следует, что для всех i, j. Ограничение (2) гарантирует, что каждое судно j будет обслужено каким-либо причалом i в любом порядке обслуживания. Ограничение (3) предусматривает, что каждый причал i обслуживает не более одного судна j в любой промежуток времени. В целевой функции (1), время обработки определяется, как (Т-к+1). Это следует из того, что время обработки конкретного судна, обслуживаемого у причала i, вносит изменение во время, которое будет обслуживаться у того же причала следующее после него судно. Другими словами, время ожидания для конкретного судна представлено как совокупное время разгрузки предшествующих ему контейнеровозов.

 **1.2 Распределения контейнерных потоков.**

В данной статье рассматривается расширение классического частотного метода транзитного распределения контейнеров на случай использования грузовых контейнеров. Описанные преимущества модели позволяют брать ее за основу при моделировании транспортировки контейнеров в масштабах всего мира. Частотно-ориентированная модель способна моделировать контейнерные потоки в течение определенного промежутка времени на глобальном уровне морского грузового судоходства. Она применима и полезна для судоходных линий, терминальных операционных компаний, грузоотправителей, портовых операторов, национальных и региональных органов по планированию, морских страховых компаний и других. В рамках модели, каждое судно, порт, судоходная линия, автотранспортная компания и железнодорожная компания рассматриваются в качестве отдельного агента. Каждый агент работает в соответствии со своим собственным набором правил. Традиционно выделяют четыре этапа моделирования: генерация, распределение, распределение перевозок по видам и назначение. Этапы первоначально были разработаны для пассажирских перевозок, являющиеся основой большинства моделей грузовых потоков. В данной работе внимание уделяется морским перевозкам контейнеров.

Обозначения и модель:

– время плавания по ветви a, включая время погрузки и разгрузки на концах,  – поток загруженных контейнеров от начала r до пункта назначения s, – поток загруженных контейнеров на ветвях маршрута к пункту назначения s, – поток пустых контейнеров по ветви a, – частота плавания по ветви a, – максимальная пропускная способность узла i, – ожидаемое время пребывания в узел i для загруженного контейнера по пути к пункту назначения s, – Ожидаемое время пребывания в узле i для пустого контейнера, – Двойственная переменная для полного контейнера на ветви a по маршруту к месту назначения s, – Двойственная переменная для пустого контейнера по ветви a, – ожидаемое время плавания, пребывания и дозаправки для загруженного контейнера от узла i по маршруту к месту назначения s, – доплата за погрузку или разгрузку контейнера в узле i, A – множество ветвей сети, O – множество начальных узлов сети, D – множество конечных узлов сети, I – множество узлов сети, – множество ветвей, входящих в узел i, – множество ветвей, покидающих узел i, – скидка времени для ожидания пустого контейнера.

 Модель распределения контейнеров может быть представлена в виде следующей задачи линейного программирования [2]:

 (1)

 (2)

,i (3)

 (4)

 (5)

, (6)

(7)

(8)

(9)

Целевая функция представляет собой сумму времени, которое контейнеры проводят в пути и времени задержки. Существуют различия времени между действиями, затрачиваемыми на погрузку и разгрузку загруженных и пустых контейнеров, измеряемые в единицах времени. Время задержки, для пустых контейнеров, уменьшается по в целевой функции. Ограничения (1) и (2) являются балансовыми соотношениями потока для загруженных и пустых контейнеров. Ограничения (3) и (4) связывают значения потоков контейнеров на морском пути и в конкретном узле *i*. Ограничения (5) гарантируют, что загрузка порта не превышает его пропускную способность. Ограничения (6) и (7) гарантируют не отрицательность переменных. Ограничения источника и стока приведены в формуле (8) и (9).

**1.3 Конкуренция портовых операторов.**

Порт является узлом в транспортной сети, включающей различные виды транспорта, которые соединяют его пригороды с остальной частью мира. Контейнеризация и коммерциализация порта усилили его конкуренцию. В ответ компании разработали стратегии для получения контроля над большей частью цепи поставок для грузовых перевозок. Целью данного параграфа является изучение стимулов к интеграционной деятельности портов с внутренними транспортными услугами и их влияние на благосостояние. Хотя порты считают целесообразным участвовать в таком процессе интеграции - это может быть вредным для благосостояния. Анализ выявляет обстоятельства, при которых не возникает этот нежелательный результат, они обеспечивают поддержку политики, которая способствует процессам интеграции транспортных услуг и поднимает политику в области конкуренции проблемы. Укрепление глобальных альянсов среди судоходных линий, а также сотрудничество между различными игроками (отправка линии, грузчики, портовые власти, операторы с внутренними районами) свидетельствуют о более тесной интеграции в отрасли. Интеграция открывает новые возможности логистики для перепроектирования транспортных цепочек. Среди других преимуществ, интеграция позволяет компаниям использовать взаимодополняемость, они могут также избежать неэффективности интернализации негативных внешних факторов, вытекающих из независимого ценообразования. Таким образом, усиления контроля над внутренними пунктами транспортировки отлично сочетается с доставкой «до двери». В модели рассматриваются вопросы портовой конкуренции для внутренних районов, а также счета за последствия организационных изменений, касающихся интеграции портов и внутренних транспортных услуг. В частности, мы моделируем порты для максимизации прибыли, для того, чтобы решить, следует ли интегрировать с поставщиками грузовых автомобильных услуг.

 Модель портовой конкуренции [3]:

Мы рассматриваем модель конкуренции между двумя портами, J = A; B, которые идентичны во всех отношениях, кроме их расположения и вместимости. Два порта расположены в крайних точках береговой линии и конкурируют за шлюз грузовых перевозок. Порт А расположен в нуле и порт B расположен в единице. Линейный сегмент представляет их внутренние районы. Это означает, что перевозка грузов характеризует их расположение в отдаленных районах, обозначим *х*, где *x* . Существует конкурентная сторона отрасли, которая поставляет транспортные услуги от данного отправителя к портам. Эти услуги предоставляются на постоянной стоимости в расчете на единицу расстояния. Таким образом, денежная стоимость транспортировки состоит из суммы платы порта и стоимости присоединения к внутренним районам. Следовательно, при выборе шлюза порта для своих грузов, грузоотправителей и грузополучателей будут применять обобщенную стоимость или '' полную цену '' в том смысле, что все члены цепочки поставок, в том числе порт, будут способствовать ''стоимости'' грузовых перевозок. В частности, пользователь i будет сравнивать следующие выражения:

Где - максимальная закупочная цена, - плата в порту j; c обозначает стоимость перевозки грузов и - обозначает расстояние между пользователем i и портом A. В дополнение к денежной стоимости перевозки, пользователи несут дополнительную плату, связанную с использованием портовой вместимости (объема), например заторы, которые легко возникают в небольших портах. Таким образом, термин меры, такая как бесполезность, где - спрос на транзитные грузы через порт j; является объемом порта j и d измеряет за единицу бесполезность, полученные от более высокого использования порта j. Мы принимаем . И, наконец, стоимость морского этапа любой партии предполагается одинаковой для обоих портов. На единичном интервале существует такое расположение , находясь в котором для пользователя не имеет значения, в каком порту он будет обслуживаться. Место получается путем приравнивания косвенных услуг выше. Из этого следует, что требования к порту А и порта B представляют собой:

Эффект дополнительной мощности в порту А увеличивает его спрос на груз, в то время, как спрос порту B уменьшается (т е ). Каждый порт j максимизирует прибыль , выбирая , где h обозначает издержки обслуживания портов на грузовую единицу. Предполагая, что порты одновременно определяют цены, чтобы максимизировать прибыль, решение дает следующие равновесные цены:

=

Где \* используются для обозначения соответствующих равновесных переменных. Разница в цене определяется , так что плата за порт выше в порту с большей емкостью. Равновесие трафика на каждом порту равно .

Прибыль выражается:

Заключение:

В параграфе 1.1 представлены модель и алгоритм распределения причалов между судами в контейнерном терминале. Таким образом, параграф 1.2 представляет собой шаг на пути к глобальной модели распределения морских контейнеров. Тот факт, что модель принимает вид линейной программы означает, что подход может быть применен к глобальной морской сети, так как эффективное решение, данной задачи линейного программирования, хорошо проработано. К тому же двойственные переменные имеют содержательную интерпретацию, позволяющую сокращать количество вычислений. Такая модель будет представлять особый интерес для планирования судоходными линиями новых маршрутов. Преобразование морской отрасли очевидно. Анализ параграфа 1.3 сосредоточился на односторонних стимулах интеграции портов и внутренних грузовых перевозок. Несмотря на кажущуюся простоту, модель учитывает конкуренцию, стратегические решения об интеграции и ценообразовании, тягости заторов и повышение эффективности. Участие в таких интеграционных процессах выгодно для портов, хотя это может привести к снижению благосостояния. Также отметим, что пользователи получают выгоду за счет тех, кто находиться ближе к портам. Рассматривая справедливость результатов необходимо принимать во внимание, что анализ игнорирует более сложную структуру внутренних сетей (с концентраторами, внутренних портов, независимых экспедиторов, сетевых интеграторов и так далее). Взаимодополняемость перевозок баржами и железнодорожным транспортом не были рассмотрены и, вероятно, модель недооценивает социальные выплаты для интеграции услуг. Анализ является достаточно гибким, чтобы включить другие соответствующие вопросы в порту, такие, как взаимодействие с городскими заторами, частоту обслуживания и конкуренции между шлюзами.

**Глава 2**

**Моделирование работы контейнерных терминалов порта.**

**2.1 Порт Усть–Луги.**

Морской торговый порт Усть-Луга является крупным транспортным узлом, построенным для обеспечения российского грузопотока в Балтийском регионе. Морской торговый [порт](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D1%80%D1%82) расположен на северо-западе [России](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%BE%D1%81%D1%81%D0%B8%D1%8F), в [Ленинградской области](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%BD%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%B4%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%BE%D0%B1%D0%BB%D0%B0%D1%81%D1%82%D1%8C), в [Лужской губе](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D1%83%D0%B6%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%B3%D1%83%D0%B1%D0%B0%22%20%5Co%20%22%D0%9B%D1%83%D0%B6%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F%20%D0%B3%D1%83%D0%B1%D0%B0) [Финского залива](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B8%D0%BD%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%B7%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B2) [Балтийского моря](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%B0%D0%BB%D1%82%D0%B8%D0%B9%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B5_%D0%BC%D0%BE%D1%80%D0%B5) вблизи посёлка [Усть-Луга](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D1%81%D1%82%D1%8C-%D0%9B%D1%83%D0%B3%D0%B0). Порт, расположенный на пересечении интермодальных транспортных коридоров «Север-Юг» (Балтийское, Черное и Каспийское моря) и «Восток-Запад» (Европа-Азия), органично вписывается в транспортную сеть Северо-западного региона и Европейскую транспортную инфраструктуру. Порт Усть-Луга - самый крупный и глубоководный порт на Балтике. В 2015 году в порту было перевалено 88 млн. тонн различных видов грузов. Территориальная близость Евросоюза и Центральной России делает порт привлекательным для экспорта российских товаров. Большие глубины акватории порта (17,5 метров), в сочетании с короткими подходными каналами (3,7 км и 1,8 км), позволяют принимать любые крупнотоннажные суда, а также океанские суда любого типа. Два подходных канала обеспечивают круговое движение судов. Круглогодичная эксплуатация порта, с коротким периодом ледокольной проводки (всего 40 дней), является несомненным конкурентным преимуществом порта. К помощи линейных ледоколов порт прибегает лишь в самые сильные морозы. В умеренные зимы для обеспечения проводок судов в каналах достаточно помощи портового ледокола, а иногда буксира ледового класса. Немаловажным преимуществом порта является и то, что грузопотоки в порт идут в обход крайне перегруженного Санкт-Петербургского транспортного узла. Автомобильные и железнодорожные внешние коммуникации обеспечивают быструю и качественную доставку груза. Современная система инженерных коммуникаций: электроснабжения, питьевого и хозяйственного водоснабжения, телекоммуникационная - создает все условия для эффективной работы порта. В таблице 2 приведены характеристики порта Усть-Луга.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Площадь акватории | Площадь территории | Грузооборот | Пропускная способность | Время навигации | К-во и длина причалов | К-во портовых кранов | Глубина у причала |
| 67,56  | 1056,37 га | 93,4 млн. тонн | 191,0 млн. тонн | Круглогодичная |  19, 4061,6 |  17 |  2,0-16 м |

**Таблица 2**

На 2011 год крупнотоннажные морские суда осуществляли вход и выход в порт по Южному подходному каналу (Лужский Морской канал). В 2009 году канал реконструирован: расширен до 180 м и углублен до 16 м. Максимальная разрешённая проходная осадка 13,7 м. После реконструкции длина канала составляет 5,7 км. До 16 метров углублены акватории Угольного терминала, Универсального перегрузочного комплекса, Комплекса перегрузки технической серы, Комплекса наливных грузов. До отметки 12,8 м выполнено дноуглубление у причалов МПК «Юг-2». Проектные отметки (13,7 м) достигнуты на акватории причалов № 3,4 Контейнерного терминала. Железнодорожное сообщение осуществляется через сеть железных дорог по линии [Мга](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B3%D0%B0_%28%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%D1%86%D0%B8%D1%8F%29) — [Гатчина](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B0%D1%82%D1%87%D0%B8%D0%BD%D0%B0) — [Веймарн](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%B5%D0%B9%D0%BC%D0%B0%D1%80%D0%BD_%28%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%D1%86%D0%B8%D1%8F%29%22%20%5Co%20%22%D0%92%D0%B5%D0%B9%D0%BC%D0%B0%D1%80%D0%BD%20%28%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%D1%86%D0%B8%D1%8F%29) — [Усть-Луга](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D1%81%D1%82%D1%8C-%D0%9B%D1%83%D0%B3%D0%B0), примыкающей к железнодорожной магистрали Санкт-Петербург — Таллин. Для обеспечения деятельности порта ОАО «[РЖД](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%96%D0%94)» провело реконструкцию существующих путей и строительство новых парков станции Лужская. Пропускная способность на порт Усть-Луга в 2012 году составила 35 млн. тонн в год. К 2015 году пропускную способность планируется увеличить до 50 млн. тонн в год, к 2020 году — до 100 млн. тонн в год. Генеральная схема развития морского торгового порта Усть-Луга предполагает строительство 16 перегрузочных комплексов. В настоящее время в порту работают 12 терминалов, обеспечивающих перевалку наливных, навалочных, генеральных и контейнерных грузов. Терминалы оказывают услуги по перевалке, дополнительной обработке и хранению более 20 категорий грузов. Благодаря применению современных технологий и оборудования, терминалы способны выдерживать конкурентные сроки обслуживания. В северном районе порта есть свободные территории, на которых можно строить и развивать как портовые, так и промышленные площадки.

По состоянию на 2007 год в порту Усть-Луга действовали:

* Лесной терминал
* Угольный терминал
* Автомобильно-железнодорожный паромный комплекс
* Многопрофильный перегрузочный комплекс «Юг-2»
* Универсальный перегрузочный комплекс
* Комплекс перегрузки технической серы
* Рыбный терминал
* Терминал по обслуживанию судов
* Терминал по обслуживанию судов

В 2011 году в порту Усть-Луга:

* введен в эксплуатацию терминал «Новая Гавань»  (терминал накатных грузов);
* эксплуатируется «в тестовом режиме» Комплекс наливных грузов;
* первое судно принял Контейнерный терминал;

Основным видом деятельности порта является предоставление услуг по погрузочно-разгрузочным работам и комплексному обслуживанию флота непосредственно в порту. Порт Усть-Луга оснащен самым современным перегрузочным оборудованием, способен быстро и качественно перерабатывать различные грузы. В пределах занимаемой портовой территории и акватории, и на основании заключенных договоров, акционерное общество предоставляет своим клиентам комплекс стивидорных и транспортно - экспедиторских услуг, включающий:

* погрузочно-разгрузочные и связанные с ними работы и услуги;
* погрузку, разгрузку грузов на /из судов, вагонов, автомашин, крепление, раскрепление грузов, зачистку грузовых помещений от остатков грузов;
* документальный прием и учет движения грузов на складах порта;
* технологическое хранение грузов на открытых и закрытых складских площадях порта;
* складские операции с грузами;
* внутрипортовое перемещение грузов;
* оформление транспортных и товаросопроводительных документов на 8 грузы;
* дополнительные операции с грузами по заявкам клиентов.

Таким образом, морской торговый порт Усть-Луга является крупнейшим быстро развивающимся портом Европы с современной инфраструктурой. Порт считается одним из самых удобных на Балтике, благодаря своему близкому расположению к Европе и наличию глубоководного двустороннего подходного канала, что позволяет судам без задержек заходить в порт и покидать его по мере выполнения грузовых операций. Информация о порте Усть-Луга, взята из источников [8, 9].

**2.2 Меры повышения эффективности.**

Методы решения проблем, связанные с мерами повышения эффективности, в крупных морских портах, делятся на два типа: инфраструктурные и организационные. К первому типу относятся те методы, которые связаны со строительством дополнительных инфраструктурных мощностей в порту и последующей эксплуатацией. Например, дополнительные причалы, грузоподъемные краны для погрузки/разгрузки контейнеровозов, железнодорожные и автомобильные подъезды, крытые и открытые складские помещения, перегрузочное оборудование. Ко второму типу относятся методы, связанные именно с организационными решениями в порту. Такие как выделение в контейнерном терминале глубоководных причалов, площадок для временного хранения и обработки контейнеров, внедрение информационных систем и тд. Как показывает практика, при прочих равных условиях, инфраструктурные методы обходятся портам значительно дороже, чем организационные. Таким образом, применимая апробированная модель, распределения причалов к порту Усть-Луги, максимально эффективно организовывает швартовку контейнеровозов у причалов, не затрачивая при этом дополнительных ресурсов.

**2.3 Оптимизация работы контейнерного терминала.**

Рассмотрим оптимизационную задачу [1]:

 (1)

При условии

 (2)

 (3)

*где i= ( 1,. . .,I ) - множество причалов,* j = (1,. . .,T) - множество судов, k = (1,. . .,T) - порядок обслуживания, - *время, когда причал i становится свободным для распределения причала,*  - время швартовки судна j, - время обработки суда j у причала i, = 1, если судно j обслуживается у причала i в порядке k, Иначе = 0.

Применим данную оптимизационную модель к морскому торговому порту Усть–Луга. Порт обладает 19 причалами, способными принимать контейнеровозы ( рис. 2).



 **Рис. 2**. Порт Усть-Луга

Предположим, что необходимо спланировать разгрузку 30 кораблей, прибывающих в контейнерный терминал Усть–Луги. Будем считать, что время разгрузки одного корабля на одном причале варьируется от 70 до 90 часов, что проиллюстрировано в таблице 3.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер судна | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Время обработки(часы) | 87 | 81 | 72 | 84 | 82 | 81 | 89 | 82 | 76 | 88 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер судна | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| Время обработки(часы) | 87 | 90 | 74 | 72 | 89 | 78 | 70 | 81 | 85 | 76 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер судна | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |
| Время обработки(часы) | 73 | 80 | 71 | 77 | 90 | 83 | 84 | 90 | 75 | 78 |

 **Таблица 3.** Время, затрачиваемое на разгрузку одного корабля на одном причале

В таком случае, задача (1) – (4) принимает конкретный вид с заданными параметрами. Существует большое количество алгоритмов для решения подобных задач линейного целочисленного программирования [4]. Мы использовали алгоритм, разработанный в [5]. Оптимальное решение было построено за 1 итерацию. Таким образом, рассмотренная модель применима и удобна в использовании при планировании обслуживания судов портами в морском торговом порту Усть-Луга.

**Глава 3**

**Программный модуль для составления расписания швартовки.**

**3.1 Алгоритм оптимизации целочисленных функций с линейными ограничениями.**

При реализации данной оптимизационной задачи, в среде MatLab, я использовала алгоритм смешанного целочисленного линейного программирования, так как целевая функция и ограничения на переменные – линейные.

Задача смешанного целочисленного программирования включает в себя:

* Линейная целевая функция, , вектор-столбец констант, вектор-столбец неизвестных
* Границы и линейные ограничения
* Ограничения для некоторых компонентов имеют целые значения

Заданы векторы , матрицы соответствующие векторы множество индексов. Нужно найти вектор решения*.*

 при условии ,

Приведем стратегию решения задачи смешанного, целочисленного программирования. Если на каком-то шаге стратегии было найдено оптимальное решение, то *intlinprog* завершает свою работу.

1. Уменьшение размерности задачи, чтобы определить, выполнима ли задача или нет. Также уменьшение размерности упрощает нахождение решения исходной задачи.

2. Решение исходной задачи как задачи линейного программирования.

3. Анализ линейных неравенств , чтобы узнать, выполнима ли задача, можно ли убрать лишние ограничения, можно ли усилить ограничения и т.д.

4. Генерация сечений, то есть добавление к задаче дополнительных линейных ограничений, чтобы приблизить решение задачи к целочисленному. Всего есть три набора сечений: базовый, промежуточный и продвинутый.

5. Использование эвристических методов для нахождения планов задачи. Эти методы базируются на решении задачи линейного программирования, которое было найдено из шага 2. Есть три эвристических метода: округление решения задачи ЛП, нахождение соседних с этим решением планов и совмещение двух вышеперечисленных методов.

6. Использование метода ветвей и границ. Значение целевой функции задачи ЛП является нижней границей для целевой функции исходной задачи. Берется целочисленная переменная , значение которой в задаче ЛП дробное. Делим исходную задачу на две подзадачи:

(a) ;

(b) + 1;

Далее берется другая целочисленная переменная , значение которой в задаче ЛП дробное. Таким же образом делим каждую подзадачу еще на две подзадачи и тд. Этот метод гарантированно выдаст решение задачи или сообщит, что планов нет.

**3.2 Применение алгоритма к нашей задаче.**

Для решения задач целочисленного, смешанного программирования в среде MATLAB применяется функция *intlinprog*.

Пусть дана задача смешанного программирования:

 где – вектор, у которого некоторые координаты целочисленные. Для задачи целочисленного программирования все координаты вектора должны быть целыми. Рассмотрим функцию *intlinprog,* решающую эти задачи. Входными данными для этой функции являются:

• вектор коэффициентов целевой функции

• матрица ограничений-неравенств

• вектор правых частей ограничений-неравенств

• множество индексов *intcon*, при которых переменные плана целочисленные;

• матрица ограничений-равенств

• вектор правых частей ограничений-равенств

• вектор , ограничивающий план снизу;

• вектор , ограничивающий план сверху.

На выходе функция *intlinprog* выдает оптимальный план и минимальное значение целевой функции *fval.*

**3.3 Преимущество программного модуля.**

Автоматизация процесса планирования разгрузки контейнеровозов в контейнерных терминалах помогает увеличить объемы обрабатываемых судов, оптимизировать затраты ресурсов и, соответственно, позволяет максимизировать отдачу и получать больше прибыли портами. Использование автоматизированных систем в морском порту повышает качество и количество обрабатываемых контейнеровозов, также безошибочное выполнение сложных задач без использования человеческого фактора. Минимизируется количество рабочих мест в порту. Появляется возможность качественной обработки огромного количества данных в портах. Оптимально используются ресурсы портовыми операторами. Производится комплексное взаимодействие между объектами контейнерного порта. Надежное предотвращение различного рода аварий. Автоматизированные системы управления осуществляют автоматизированный сбор и обработку информации, хранение ее в памяти компьютера, использование нормативно-справочной, исходной, промежуточной и выходной информации. Использование систем поддержки принятия решений, экспертных систем, систем автоматизированного проектирования дает возможность получать новую информацию. Автоматизированные системы управления помогают конкурентоспособным морским портам упростить свои деловые системы. Автоматизированное программное обеспечение может упростить решение многих задач, делая более эффективное управление портом. Преимущества соответственно выбранной и правильно используемой автоматизированной системы управления включают контроль над процессами, более ясной видимостью операций, упрощения процесса планирования, и более эффективного информационного хранения и отзыва. Основные функции, выполняемые подобными системами, включают в себя контроль и управление, обмен данными, обработку, накопление и хранение информации, формирование сигналов тревог, построение графиков и отчетов. При помощи автоматизации можно составлять оптимальные и эффективные планы обслуживания контейнеровозов портовыми операторами.

Получим:

**Заключение.**

Был дан краткий обзор исследований в области теории распределения контейнерных потоков, распределения причалов в контейнерном терминале и конкуренции портовых операторов. Также представлена характеристика и описание работы морского порта Усть-Луга, проанализированы меры, благодаря которым достигается максимальная эффективность распределения причалов в морском порту. В предложенной работе была апробирована модель и алгоритм распределения причалов между судами в контейнерном терминале. Произведен численный эксперимент планирования обслуживания контейнеровозов причалами порта Усть-Луга. Результаты эксперимента показывают, что существующие алгоритмы позволяют использовать модель [1] в качестве базы для разработки интеллектуальных систем на морском транспорте. Подобные системы позволяют, в первую очередь, автоматизировать процесс планирования обслуживания кораблей портами, а самое главное, оптимизировать этот процесс, минимизировав время ожидания и сократив тем самым транзакционные издержки. В работе реализован программный модуль для автоматизации процесса планирования разгрузки контейнеровозов в контейнерных терминалах порта Усть-Луга. Модуль был реализован в среде MatLab. При его помощи получен оптимальный план обслуживания контейнеровозов портовыми операторами в порту Усть-Луга.

 **Литература**

1. Imai A., Nishimura E., Papadimitriou S. The dynamic berth allocation problem for a container port // Transportation Research Part B. 2001. No 35. P. 401-417.
2. Michael G. H. Bell, Xin Liu, Panagiotis Angeloudis, Achille Fonzone, Solmaz Haji Hosseinloo A frequency-based maritime container assignment model // Transportation Research Part B. 2011. No 45. P. 1152–1161.
3. Oscar Alvarez-SanJaime, Pedro Cantos-Sanchez, Rafael Moner-Colonques, Jose J. Sempere-Monerris The impact on port competition of the integration of port and inland transport services // Transportation Research Part B. 2015. No 80. P. 291–302.
4. Papadimitriou C. H., Steiglitz K. Combinatorial Optimization Algorithms and Complexity. Prentice-Hall, Englewood Cli\_s, NJ. 1982.
5. Imai A., Nagaiwa K., Chan, W.T. Efficient planning of berth allocation for container terminals in Asia // Journal of Advanced Transportation. 1997. No 31 P. 75–94.
6. Захаров В. В., Крылатов А. Ю. Системное равновесие транспортных потоков в мегаполисе и стратегии навигаторов: теоретико-игровой подход // Математическая теория игр и ее приложения. 2012. T. 4. № 4. С. 23–44.
7. Захаров В. В., Крылатов А. Ю.  [Современные проблемы использования интеллектуальной базы математического моделирования при борьбе с заторами в крупных городах России](http://rostransport.com/transportrf/archiv/text.php?ID=&pdf=15486) // Транспорт Российской Федерации. 2014. № 4 (53). С. 69-73.
8. Усть-Луга (порт) // Википедия URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D1%81%D1%82%D1%8C-%D0%9B%D1%83%D0%B3%D0%B0\_(%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%82)
9. Порт Усть-Луга // Компания Усть-Луга URL: http://www.ust-luga.ru/activity/port/
10. Захаров В.В., Крылатов А.Ю., Раевская А.П. Моделирование и планирование транспортных процессов // Транспорт России: проблемы и перспективы – 2015 Материалы Юбилейной Международной научно-практической конференции. 2015. С. 120-124.
11. Крылатов А. Ю., Захаров В. В. [Управление транспортными потоками мегаполиса](http://www.apmath.spbu.ru/ru/staff/kryilatov/publ/publ1.pdf) // Сборник статей Седьмой Российско-Немецкой конференции по логистике и SCM DR-LOG 2012. C. 305-310.
12. Крылатов А. Ю. Оптимальные стратегии управления транспортными потоками на сети из параллельных каналов // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 10: Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. 2014. № 2. С. 121-130.
13. Буре В. М., Карелин В. В. О задаче планирования работы терминала // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 10: Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. 2015. № 2. С. 32–38.
14. Захаров В. В., Крылатов А. Ю. Конкурентное равновесие Вардропа на транспортной сети из параллельных каналов // Процессы управления и устойчивость. 2014. Т. 1. № 1. С. 476–481.
15. Буре В. М., Сергеева А. А. Оптимальные стратегии выбора логистической фирмы // Процессы управления и устойчивость: Труды 42-й международной научной конференции аспирантов и студентов / под ред. А. С. Ерёмина, Н. В. Смирнова. СПб.: Издат. Дом С.-Петерб. гос. ун-та, 2011. С. 440–443.
16. Захаров В. В. Методы и модели прикладной математической логистики // Процессы управления и устойчивость. 2015. Т. 2. № 1. С. 742–776.

 **Приложение 1**

clear

clc

global B V O C S A

% number of berths

nB = 19 ;

% number of ships

nS = 30;

B=1:nB;

V=1:nS;

O=1:nS;

C=zeros(length(B),length(V));

for i=B

 for j=V

 C(i,j) = 70+randi(20,1,1);

 end

end

S=zeros(length(B),1);

A=ones(length(V),1);

[A\_,Aeq,b,beq,lb,ub,intcon] = nonlconstraints();

[x,fval,exitflag,output] = intlinprog(service\_time(),intcon,A\_,b,Aeq,beq,lb,ub);

X = reshape(x,length(B),length(V),length(O));

for i=B

 for j=V

 for k=O

 if X(i,j,k)>0

 fprintf('x(%d,%d,%d)\n',i,j,k);

 end

 end

 end

end

 **Приложение 2**

function [A,Aeq,b,beq,lb,ub,intcon] = nonlconstraints()

 global B V O

 % constraints (2)

 Aeq = zeros(length(V),length(B)\*length(V)\*length(O));

 for j=1:length(V)

 tmp = zeros(length(B),length(V),length(O));

 [r,c] = size(tmp(:,j,:));

 tmp(:,j,:) = ones(r,c);

 Aeq(j,:) = reshape(tmp,1,length(B)\*length(V)\*length(O));

 end

 beq = ones(length(V),1);

 % constraints (3)

 counter = 0;

 A = zeros(length(B)\*length(O),length(B)\*length(V)\*length(O));

 for i=1:length(B)

 for k=1:length(O)

 counter = counter + 1;

 tmp = zeros(length(B),length(V),length(O));

 [r,c] = size(tmp(i,:,k));

 tmp(i,:,k) = ones(r,c);

 A(counter,:) = reshape(tmp,1,length(B)\*length(V)\*length(O));

 end

 end

 b = ones(length(B)\*length(O),1);

 % boundaries x=[0,1]

 lb = zeros(length(B)\*length(V)\*length(O),1);

 ub = ones(length(B)\*length(V)\*length(O),1);

 intcon = 1:length(B)\*length(V)\*length(O);

end

 **Приложение 3**

function F = service\_time()

 global B V O C S A

 % B - set of berths

 % V - set of ships

 % O - set of service orders (parameter to optimize)

 % C - matrix containing times of berthing

 % S - set of times when berths become available for allocation

 % A - set of arrival times for ships

 F = zeros(length(B),length(V),length(O));

 T = length(V);

 for i=B

 for j=V

 for k=O

 F(i,j,k) = ((T-k+1)\*C(i,j)+S(i)-A(j));

 end

 end

 end

 F = reshape(F,length(B)\*length(V)\*length(O),1);

end