

Список литературы

1. Солодилова Н.А., Петраш В.И. Технологии цифрового моделирования в базовом модуле подготовки бакалавров в области машиностроения / Под ред. Г.В. Гореловой, А.В. Логиновой. // Системный анализ в проектировании и управлении: сборник научных трудов XXIV Международной научной и учебно-практической конференции. В 3 ч., Санкт-Петербург, 13–14 октября 2020 года. – СПб.: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2020. – С. 350–357.
2. Солодилова Н.А. Новые технологии проектирования в рамках дисциплины «САПР в машиностроении» // Системный анализ в проектировании и управлении: сборник научных трудов XXIII Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 10–11 июня 2019 года / Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2019. – С. 391–397.
3. Савельев В.А., Рогова Т.Н. Цифровизация машиностроительного комплекса в России и зарубежных странах: Обзор тенденций // Вестник УлГТУ, 2020. – № 4. – С. 21–24.
4. Бойко Т.А. Анализ основных тенденций развития PLM-систем // Инновации и инвестиции. – 2020. – № 5. – С. 119–123.
5. Сасаев Н.И. Анализ стратегического подхода к отраслевому развитию в России // Стратегирование: теория и практика, 2023. – Т. 3. № 3. – С. 348–362.

УДК 004.622

doi:10.18720/SPVPU/2/id24-61

Хасанов Дмитрий Салимович,
младший научный сотрудник

МОДЕЛЬ ПЛАНИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

Россия, Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский Федеральный
исследовательский центр Российской академии наук,
dkhasanovsuai@yandex.ru

Аннотация. Эффективность работы контейнерного терминала обычно оценивается по двум основным показателям: времени стоянки судна и времени оборота грузового транспорта. На эти два показателя существенное влияние оказывает время прибытия и отъезда грузовых автомобилей на контейнерный терминал. В задаче составления расписания движения грузовых автомобилей требуется определить для каждого грузовика временной интервал для забора/доставки контейнера с/на контейнерный терминал, учитывая при этом цели и ограничения терминала и автотранспортных компаний. Системы назначения грузовиков рассматриваются как решение для контроля прибытия грузовиков и повышения эффективности работы терминала. Кроме того, рассматривается влияние внедрения информационно-коммуникационных технологий на проблему планирования встреч с внешним грузовым транспортом.

Ключевые слова: системы назначения грузовых автомобилей, контейнерные терминалы, моделирование, проблемы планирования.

Dmitry S. Khasanov,
Junior Researcher

A TRUCK TRAFFIC PLANNING MODEL

St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences,
St. Petersburg, Russia, dkhasanovsuai@yandex.ru

Abstract. The efficiency of a container terminal is usually evaluated by two main indicators: vessel docking time and truck turnaround time. These two indicators are significantly affected by the time of arrival and departure of trucks at the container terminal. In the truck scheduling problem, it is required to determine for each truck the time slot for picking up/delivering a container from/to the container terminal, while considering the goals and constraints of the terminal and trucking companies. Truck assignment systems are considered as a solution to control the arrival of trucks and improve the efficiency of the terminal. In addition, the impact of the introduction of information and communication technology on the problem of scheduling appointments with external truck transportation is examined.

Keywords: truck assignment systems, container terminals, modeling, scheduling problems.

Введение

Постоянно развивающаяся глобальная экономика создает множество возможностей и ставит новые задачи перед мировой цепочкой поставок и логистическими операциями. Несмотря на снижение объемов мировой торговли, вызванное глобальной пандемией, на общем объеме перевозок это отразилось незначительно.

В условиях растущей конкуренции и оказываемого давления правовыми нормами, организации должны разрабатывать инновационные решения для устранения проблем, возникающих из-за скопления грузовиков в окрестностях контейнерных терминалов, так как операции на внутренних территориях порта оказывают непосредственное влияние на эффективность работы терминала и его производительность. Одной из основных проблем, связанных с контейнерными терминалами, является разработка плана управления прибытием грузовых автомобилей в зону порта [1]. Поэтому для выполнения этой задачи должна быть реализована система, которая представляет собой систему управления грузовиками. На работу терминала оказывает влияние хаотичный характер прибытия внешних грузовых автомобилей и окружающая их территория [2]. Как показано на рисунке 1, контейнерный терминал представляет собой сложную сеть, состоящую из трех основных зон, соединенных между собой. Грузовики отвечают за транспортировку контейнеров в/из каждой зоны. Внутренние грузовики закреплены за причальными операциями и выполняют перемещение контейнеров из/в зону причала. Внешние грузовики, напротив, принадлежат судоходным компаниям и выполняют задачи по перевозке контейнеров со складов на терминал и обратно. Си-

стема назначения грузовых автомобилей представляет собой процесс принятия оперативных решений с учетом двух факторов [3].

Первый фактор — это доступное время как для ресурсов терминала, так и для ресурсов автотранспортных компаний (грузовики, водители и т. д.). Другой стороной процесса принятия решений является пространство терминала, связанное с плотностью грузовых автомобилей и складскими помещениями. Очевидна взаимосвязь между временем и пространством, так как организация прибытия грузовых автомобилей позволяет снизить нагрузку на складские помещения терминала. С появлением огромного количества информационно-коммуникационных технологий наиболее эффективным способом управления прибытием грузовых автомобилей стала система назначения грузовых автомобилей. Одной из наиболее острых проблем наземных операций, является организация прибытия внешних грузовых автомобилей.

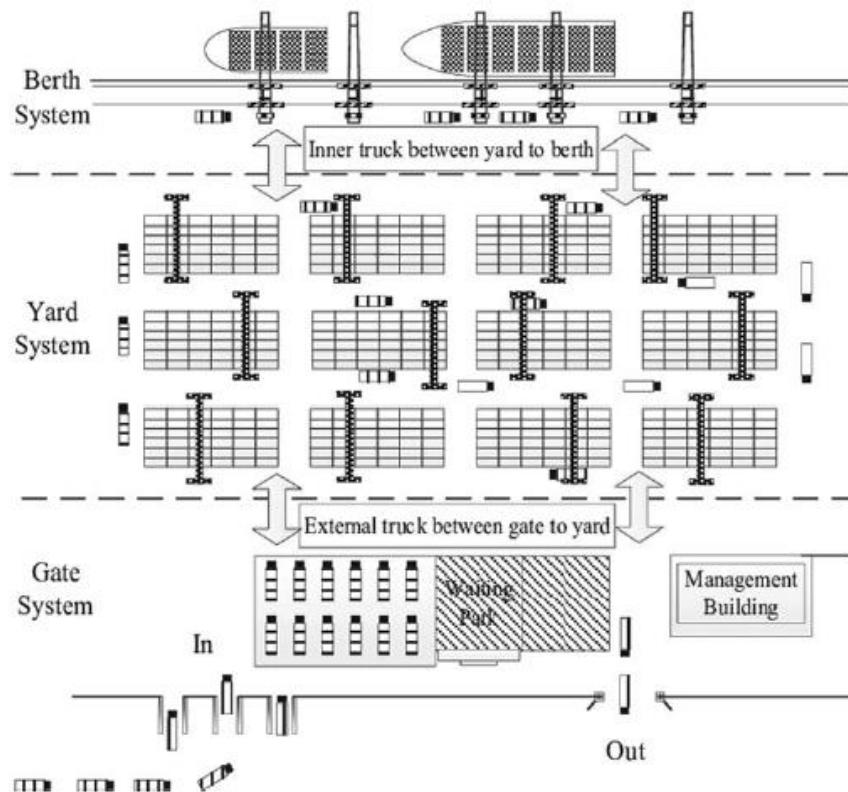


Рис. 1. Схема контейнерного терминала

1. Методологическая основа

Классификация основана на трех категориях. Первая категория посвящена перспективам контроля и принятия решений, которые помогают лицам, принимающим решения, контролировать и оценивать эффективность операций, связанных с обеими заинтересованными сторонами (т. е. операторами контейнерных терминалов и автотранспортными компаниями) [4].

Вторая категория основана на методологии моделирования, которая используется для решения проблемы. В литературе чаще всего встречаются теории очередей, математическое моделирование, имитационное моделирование или комбинация двух методик. Третья категория включает в себя взаимодействие между различными терминальными комплексами для эффективного и рационального решения поставленных задач [5].

Проблема назначения грузовиков рассматривается с точки зрения планирования времени их прибытия. Существует четыре различных системы: индивидуальная система назначения, блочная система назначения, статическая система назначения и динамическая система назначения. Другая классификация этой категории (т. е. планирование времени прибытия грузовиков) предлагается путем анализа в соответствии с целью решения задачи планирования — максимизации или минимизации целевых функций. Большинство рассмотренных целевых функций направлены на максимизацию использования ресурсов терминала или минимизацию различных временных параметров, времени оборота грузового автомобиля, стоимости, энергопотребления и порожних рейсов.

В других задачах формулируется в виде математических моделей для получения оптимальных или близких к оптимальным решений с использованием эвристических подходов. Кроме того, большое внимание уделяется имитационным моделям, особенно моделям дискретно-событийного моделирования.

2. Планирование и оптимизация времени прибытия грузовых автомобилей

Системы назначения грузовых автомобилей необходимы для определения оптимального времени прибытия грузовиков на контейнерные терминалы, что приводит к увеличению выгоды как для автотранспортных компаний, так и для операторов терминалов. Как показано на рисунке 2, внедрение системы назначения грузовых автомобилей (СНГА) может максимально повысить эффективность работы контейнерного терминала. Она контролирует прибытие грузовиков на терминал и уменьшает заторы в часы пик. Кроме того, СНГА облегчает работу по приему входящих и выдаче исходящих контейнеров. На практике не существует общей стратегии управления грузовиками на контейнерных терминалах. Поэтому СНГА должны быть адаптированы к каждому контейнерному терминалу.

Существенное различие между стратегиями планирования заключается в том, что в системе индивидуальной записи на прием каждому автомобилю отводится свой временной интервал. В отличие от этого, система блочной записи на прием выделяет общий временной интервал для нескольких грузовиков. Эффективность этих стратегий оценивается с помощью имитационного моделирования [6].

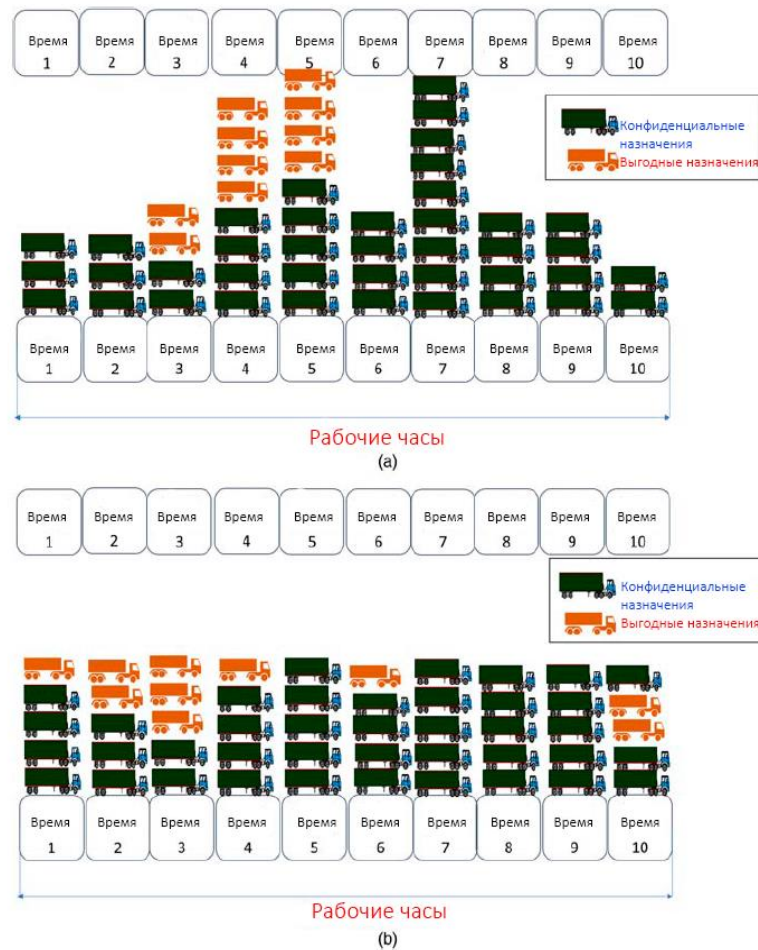


Рис. 2. Анализ до (а) и после (б) внедрения СНГА

В исследованиях в этой области рассматривается взаимодействие между автотранспортными компаниями и контейнерными терминалами для организации прибытия внешних грузовиков. Кроме того, учитывается динамический и стохастический характер проблемы.

Между статическими системами назначения (ССН) и динамическими системами назначения (ДСС) существует множество противоречий в понятиях. Во-первых, в случае ССН оператор терминала — это лицо, контролирующее квоту каждого временного окна и объявляющее грузо-перевозчикам время работы. В отличие от этого, ДСС — гибкая система, которая не требует предпочтительного времени прибытия грузовиков, а зависит от того, когда водитель воспользуется системой и забронирует встречу. Если водитель соглашается на встречу, то очередь коротка, и время ожидания невелико, а если отклоняет запрос на встречу, то время ожидания велико. Поэтому водителям грузовиков следует забронировать другое, более предпочтительное время прибытия.

3. Влияние информационно-коммуникационных технологий на грузовые автомобили системы планирования встреч

Цель данного раздела — представить роль информационно-коммуникационных технологий в совершенствовании и улучшении системы назначения грузовых автомобилей. Как будет показано, внедрение системы на базе IoT позволит, с одной стороны, контролировать и управлять рабочим процессом внутри терминала, а с другой — сократить затраты на время ожидания, штрафы для грузовых компаний [7].

Эра информационно-коммуникационных технологий делает необходимым использование более интеллектуальных систем управления в контейнерных терминалах для дальнейшего повышения их эффективности. В интеллектуальных контейнерных терминалах для повышения эффективности работы и рационализации операций используются датчики. Например, технология радиочастотной идентификации (RFID) используется для идентификации и локализации. Камеры и встроенные алгоритмы компьютерного зрения способствуют повышению безопасности погрузочно-разгрузочных работ и сокращению времени по сравнению с обычными терминалами. Предыдущее введение подготовило почву для определения новой технологии, получившей название «Интернет вещей» (IoT), в управлении операциями на контейнерных терминалах. IoT — это группа компонентов, включающая датчики дистанционного зондирования и встроенные системы, объединенные в сеть для создания более гибкого обмена данными. Технология «машина-машина» играет важную роль в передаче информации не только с контейнерного терминала на усиление коммуникационных технологий и сетевых возможностей между терминалами или машинами. Недавно выяснилось, что взаимосвязь между контейнерными терминалами и судоходными компаниями должна развиваться за счет расширения строительства «умных» терминалов, которые в основном зависят от технологий, связанных с интернетом вещей.

Для повышения удобства работы система назначения грузовых автомобилей следует учитывать динамику прибытия внешних грузовиков. Кроме того, проблемы контейнерных терминалов имеют стохастический и динамический характер. [8] Поэтому большинство терминалов стремится применить динамическую систему назначения грузовиков для преодоления указанных недостатков. Наличие «умных» портов приводит к развитию системы планирования встреч с грузовиками с помощью программ и приложений.

Основная концепция системы основана на совместном планировании прибытия грузовых автомобилей между автотранспортными компаниями и операторами терминалов с целью сокращения времени оборота грузовиков, уменьшения заторов и обеспечения высокого уровня использования ресурсов терминалов. Представленная система состоит из веб-системы и интел-

лектуального мобильного приложения, связанного с имитационной моделью терминала для достижения вышеуказанных целей. На рисунке 3 показаны входные данные и ожидаемая цель системы. Результаты применения предложенной имитационной системы показали значительное сокращение общего времени оборота грузовых автомобилей, а также сглаживание нагрузки в пиковые периоды и узкие места.

В последнее время в связи с заметным прорывом в области внедрения интеллектуальных цифровых технологий в морских портах по всему миру исследователи внедряют интеллектуальную систему назначения грузовых автомобилей на базе интернета вещей. Такая система более эффективна, надежна и проста в использовании как водителями грузовиков, так и операторами терминалов [9].

Интеллектуальные терминалы стали новой тенденцией в связи с развитием новых информационных технологий за счет внедрения мобильных телефонов и интеллектуальных приложений. Эти приложения позволяют менеджерам терминалов осуществлять удаленный мониторинг и контроль загруженности терминала и потока операций на нем. Внедрение систем на базе интернета вещей также облегчит коммуникацию между автотранспортными компаниями и контейнерными терминалами и решит проблемы недопонимания между обеими заинтересованными сторонами.

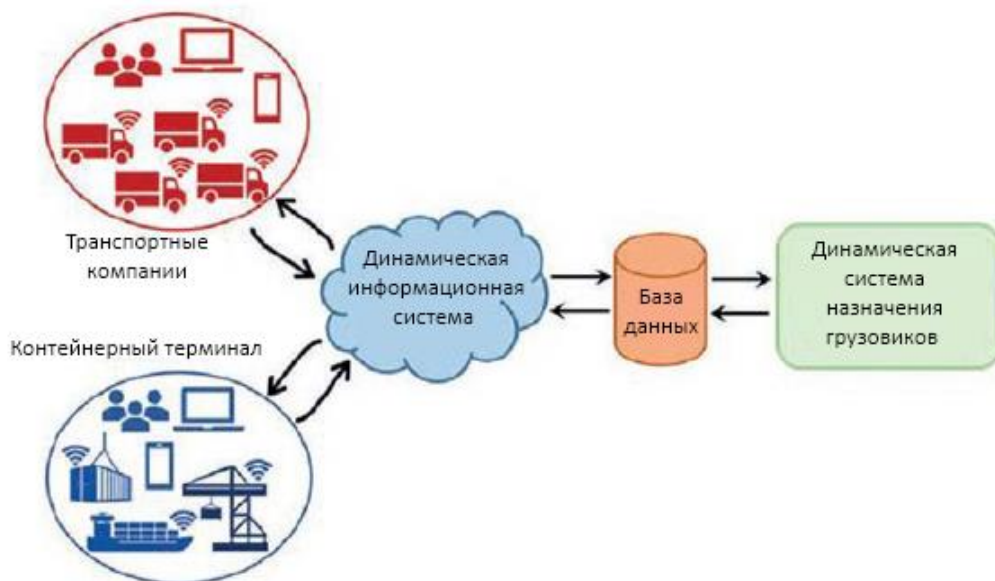


Рис. 3. Цель СНГА и связь с входными данными

Огромный прогресс в области смартфонов ускоряет распространение интеллектуальных приложений на базе интернета вещей. Известно, что в контейнерных терминалах внедрение таких технологий позволит уменьшить проблемы, связанные с отсутствием связи между обеими заинтересованными сторонами [10]. Интернет вещей обеспечит обмен информацией и совместную работу, что приведет к эффективной и беспре-

ребойной загрузке контейнерных терминалов. Кроме того, создание и развитие интеллектуальных контейнерных терминалов будет доминирующим направлением в связи с их большим экономическим эффектом. Необходимо учитывать время стояния в очереди у ворот контейнерного терминала и время работы автотранспортных компаний, чтобы минимизировать стоимость перевозки грузовиков и время стояния в очереди у ворот. Данную задачу можно разделить на четыре этапа:

1) Для получения оптимального времени прибытия грузовых автомобилей решается задача неограниченной транспортировки.

2) Оператор терминала устанавливает квоту на прием для каждого временного окна.

3) Система СНГА рассчитывает оптимальное назначение на основе как заявок на назначение грузовиков, так и квот.

4) Скорректированное время приема отправляется фирмам, занимающимся перевозками, для корректировки времени прибытия грузовиков.

Заключение

В данном исследовании показана важность проблемы и существующие методы ее решения. В статье рассматривается влияние систем планирования движения грузовых автомобилей на ключевые показатели работы терминала и проблемы, возникающие при их внедрении. Целью данной работы является анализ в области планирования движения грузовых автомобилей.

Рассмотрена задача планирования расписания и используется жизненно важная роль система назначения грузовых автомобилей в управлении изменчивостью прибытия грузовиков на контейнерные терминалы. Кратко описывается современная тенденция создания «умных портов» и роль IoT в таких терминалах. Можно сделать вывод, что система назначения грузовых автомобилей являются наиболее надежным методом, используемым менеджерами терминалов для повышения пропускной способности и всех показателей работы терминала.

В предлагаемом исследовании рассматриваются не только традиционные системы планирования встреч, представленные в литературе, но и новое направление, объединяющее системы на базе IoT с проблемой система назначения грузовых автомобилей. Благодаря революционному развитию информационно-коммуникационных технологий во всем мире на смену традиционным системам записи на прием, которые могут планировать встречи в режиме онлайн с использованием сети интернет. Использование информационно-коммуникационных технологий, таких как IoT, может, с одной стороны, повысить эффективность работы терминала и его производительность. С другой стороны, это позволяет сократить ТТТ, что дает грузоперевозчикам больше прибыли и возможностей для использования.

Для получения более реалистичных моделей и лучших результатов необходимо учитывать стохастический характер проблемы при ее моде-

лировании. В предлагаемом исследовании рекомендуется уделять больше внимания системам на базе IoT для планирования назначений внешних грузовых автомобилей в контейнерных терминалах.

Благодарности

Исследования, выполненные по данной тематике, проводились при финансовой поддержке госбюджетной темы FFZF-2022-0004.

Список литературы

1. Tregubov A.S., Malyugina O.V. Neural network model for finding contradictions in natural language use using triplet loss function // *Components of Scientific and Technological Progress*. – 2020. – No. 7(49). – Pp. 9–14. – EDN FTLIFZ.

2. Агарков С.А., Путинцев Н.М., Черных А.А. Интермодальные и мультимодальные технологии перевозок на примере морских транспортных перевозок в Арктике // *Наука и образование – 2018: Материалы всероссийской научно-практической конференции*, 15 ноября 2018 г., г. Мурманск, Россия. – Мурманск: Мурманский государственный технический университет, 2019. – С. 177–188. – EDN YVILAU.

3. Костин Н.С. Место модульных нейронных сетей в классификации искусственных нейронных сетей // *Интеллектуальный потенциал XXI века: ступени познания*. – 2013. – № 19. – С. 91–95. – EDN RPTPPN.

4. Cheng Yu., Anikeev E.A. Understanding convolutional neural networks // *Новые аспекты моделирования систем и процессов: Материалы Международной научно-практической конференции*, 26 мая 2023 г., г. Воронеж, Россия / Отв. редакторы В.К. Зольников, А.И. Заревич. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2023. – С. 230–236. – DOI 10.58168/NAMSP_230-236. – EDN ALJEPR.

5. Горохова А.С. Обзор современных проблем международных морских перевозок // *Новая экономика, бизнес и общество: Сборник материалов Апрельской научно-практической конференции молодых учёных*, 18–25 апреля 2019 г., г. Владивосток, Россия / Отв. ред. М.В. Холоша. – Владивосток: Дальневосточный федеральный университет, 2019. – С. 331–336. – EDN KOUBFT.

6. Чижова Е.М. Основные угрозы кибербезопасности и проблемы морских перевозок // *Научно-исследовательский центр “Technical Innovations”*. – 2021. – № 6. – С. 189–192. – EDN YAWFER.

7. Хасанов Д.С., Свистунова А.С. Оценка эффективности обслуживания пассажиров в аэровокзальном комплексе // *Транспорт России: проблемы и перспективы – 2020: Материалы Юбилейной международной научно-практической конференции*, 10–11 ноября 2020 г., ФГБУН Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук, г. Санкт-Петербург, Россия. Том 2. – СПб.: Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко РАН, 2020. – С. 32–37. – EDN MTVWYV.

8. Svistunova A.S., Khasanov D.S. Improving the efficiency of traffic management in a metropolis based on computer simulation // *Computing, Telecommunications and Control*. – 2021. – Vol. 14, No. 3. – Pp. 33–42. – DOI 10.18721/JCSTCS.14303. – EDN OEBQIQ.

9. Хасанов Д.С., Свистунова А.С. Технология сбора данных в логистике // *Сборник научных трудов XXV Международной научной и учебно-практической конференции «Системный анализ в проектировании и управлении»*. Санкт-Петербург, 13–14 октября 2021 года. В 3 ч. Часть 3. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2021. – С. 275–279. – DOI: 10.18720/SPBPU/2/id21-377. – EDN RRNLGN.

10. Concept and models of information application for actions in systems / A. Geyda, L. Fedorchenko, I. Lysenko [et al.] // *Conference of Open Innovations Association, FRUCT*. – 2022. – No 31. – Pp. 407–415.