

Разработка подходов к адаптивному управлению интермодальными операциями в условиях дисбаланса грузопотоков

С. А. Патковский, Л. Г. Харсун

Запропоновано методологічний підхід до оптимізації інтермодальних операцій оператора контейнерного потяга через вузловий залізничний термінал в умовах асиметрії вантажопотоків. Розроблено алгоритм аналізу контейнерних вантажопотоків та економіко-математичну модель операційної діяльності оператора контейнерного потяга в умовах релевантної системи технічного забезпечення інтермодальних перевезень.

Показано, що для ринків країн, що розвиваються, характерним є зміщення акцентів у доставці контейнерів із морських портів на автомобільний транспорт. Необґрунтованим використання вантажних автомобілів часто є і з огляду на дисбаланс контейнерних вантажопотоків у розрізі регіонів доставки та з точки зору розмірів контейнерів і їх наповненості. Тому гостро стоїть питання підвищення ролі залізничного транспорту в інтермодальних перевезеннях. У цілях забезпечення порівняльної ефективності таких перевезень акцентовано на необхідності їх організації під егідою єдиного учасника – оператора контейнерного потяга.

Запропоновано підхід до проведення пріоритизації в системі доставок контейнерів від наземного терміналу до вантажоотримувача з метою максимізації кількості оброблених контейнерів та їх подальшого використання для експортних відвантажень. Проведено математичне моделювання різних сценаріїв організації інтермодальних операцій оператором контейнерного потяга. В результаті їх порівняння обрано варіант, за якого досягається максимізація виручки оператора, утилізація порожніх контейнерів під експорт автотранспортних засобів і водіїв. За умов оптимального сценарію знижуються і ризики збільшення умовно постійних витрат через нестабільність щотижневих обсягів перевезень.

Наведений методологічний підхід до оптимізації інтермодальних операцій може застосовуватись в умовах ринків із асиметрією вантажопотоків.

Ключові слова: інтермодальні перевезення, оператор контейнерного потяга, контейнерний потяг, дисбаланс вантажопотоків, адаптивне управління, рівень сервісу

1. Введение

В современных условиях развитие интермодального сообщения является стратегической инициативой для большинства стран – участниц мировой торговли. Ключевой особенностью таких перевозок является использование Интермодальной Транспортной Единицы (англ. Intermodal Transport Unit/ITU) (далее ИТЕ). Такой единицей считается контейнер, который следует от пункта отправления в пункт назначения с использованием разных видов транспорта. При этом груз не

покидает и не выгружается из ИТЕ на всем пути следования. Это существенно повышает возможность стандартизации процессов обработки и транспортировки грузов и обеспечивает высокую пропускную способность цепи поставки в целом. Также интермодальная перевозка исключает контакт транспортных компаний непосредственно с грузом, что снижает риск убытков по грузу в пути.

Существует две альтернативы комбинации видов транспорта в интермодальных перевозках морских контейнеров: с использованием автомобильного или ж/д транспорта на сухопутном участке маршрута. Выбор между ними может послужить залогом экономической эффективности всей перевозки, исходя из преимуществ и недостатков обоих вариантов. В первом случае достигается более высокая отзывчивость цепи поставки, гибкость при формировании маршрута перевозки к грузополучателю. Вместе с тем, использование контейнерных поездов в смешанном сообщении предполагает возможность доставки с фиксированным расписанием и транзитным временем в пределах 24–72 часов от порта до наземного терминала. Такой способ интермодального сообщения призван заменить автомобильную перевозку в соответствии с экологическими инициативами, а также в целях снижения нагрузки на автомобильные пути национального и международного значения. Доставка контейнера на длинные и средние расстояния из порта на ж/д терминал также экономически более выгодна за счет экономии на масштабе. Следовательно, вопросы развития интермодальных перевозок, построения эффективных систем управления контейнерными поездами, которые предполагают стратегическое планирование ресурса и тактическое планирование ежедневных операций, являются актуальными на современном этапе.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Управление интермодальными перевозками, подходы к построению процессов и взаимодействия участников в ходе их осуществления, определение экономических показателей операций по доставке грузов являются сферой профессиональных интересов многих научных и практических деятелей. Так, в [1] интермодальные перевозки характеризуются как новое направление для научных исследований с большим потенциалом. Рассматриваются ключевые операционные постулаты по организации наземных терминалов, созданию пулов автотранспорта и автомобильных платформ для перевозки контейнеров, построению взаимодействия между автомобильными компаниями.

В [2] используется линейное программирование для моделирования 5 ключевых стратегических проблем организации интермодальной перевозки. Авторы доказывают, что конкурентоспособность интермодальной перевозки в меньшей степени зависит от параметров терминальной составляющей, но больше от конечной стоимости перевозки для грузовладельца, которая включает затраты по перевалке контейнеров на узловых станциях и стоимость железнодорожной перевозки. Также, значимым результатом исследования является определение максимального уровня коммерческой привлекательности внутренних интермодальных перевозок в комбинации с ж/д транспортом в сравнении с аналогичной доставкой автомобильным транспортом. В [3] говорится о невозможности определения точного расстояния перевозки, при котором интермодальная ж/д перевозка становится бо-

лее предпочтительной, чем автомобильная. Авторы ограничиваются определением привлекательности интермодальной перевозки преимущественно через уровень ж/д тарифа, практически не учитывая стоимость дверных доставок от терминала и обработки грузов на терминале.

Ряд исследований по интермодальным перевозкам сосредоточены на изучении субъектной составляющей. К примеру, авторы [4, 5] рассматривают концепцию открытого сотрудничества между автоперевозчиками, задействованными на перевозке контейнеров от наземного терминала до склада получателя. В исследовании [6] доказывается целесообразность сокращения количества транспортных компаний от 20 до 1 при одновременном увеличении размера парка транспортных средств одной автомобильной компании. Таким образом, данную гипотезу можно использовать как предпосылку для обоснования необходимости централизации ж/д и автомобильных операций под эгидой одного провайдера. Тем не менее, в данных работах остается открытым вопрос организационной формы деятельности такого оператора интермодальной доставки груза.

Не менее важным вопросам оптимизации инфраструктурных и процессных элементов систем интермодального сообщения посвящены ряд работ. В [7] рассматриваются различные варианты построения железнодорожных комбинаций в контексте интермодальной инфраструктуры Евросоюза. Терминальные операции хранят в себе потенциал существенных улучшений в поле кардинального повышения утилизации перегрузочного оборудования при одновременном снижении времени обработки одного автомобиля. В то же время рыночный уровень ставок на перевалку грузов в Европе с трудом покрывает прямые затраты терминала на обработку грузов, что сводит к нулю инвестиционный потенциал и вложения в новые технологии и оборудование. Авторы акцентируют на необходимости использования экспертной микромодели при построении терминальных операций, а также автоматизированных систем формирования расписания забора либо доставки контейнеров автомобильным транспортом. Модель оптимизации построения инфраструктуры интермодального терминала предложена и в работе [8]. Авторы указывают на то, что минимизация инвестиций и повышение пропускной способности терминала напрямую зависят от времени задержки на нем контейнеров доступных для обработки. Это время существенно сокращается в результате корректного размещения козловых кранов, снижения продолжительности циклов их работы, выбора правильной последовательности обработки и количества задействованных ж/д путей. Вместе с тем, в работах практически не учитывается фактор организации дверных доставок контейнеров.

В [9] проводится исследование и даются рекомендации относительно аллокации места и организации хранения контейнеров на терминале с учетом работы инфраструктурных элементов терминала. В [10] исследуется проблема расчета необходимых аллокаций железнодорожных платформ и проводится моделирование оптимизации процесса перевалки контейнеров на узловых станциях. Авторы с помощью ряда эвристических моделей с использованием CPLEX моделирования (Париж, Франция 1998) в линейном программировании определяют оптимальное последовательное размещение терминалов, в т. ч. типа hub. В [11, 12] проводится оптимизация процесса планирования рейсов автотранспорта с крите-

рием оптимальности в виде минимизации общего времени операционного цикла всех грузовиков на маршрутах в условиях наличия нескольких контейнерных терминалов и большого числа получателей и отправителей груза. Важность прикладного применения данного метода возрастает по мере увеличения расстояний доставки груза и повышения удельной стоимости автомобильной перевозки в составе интермодальной. Авторы добились высокого качества результатов моделирования и оптимизации, представив проблему в виде продолжения multiple traveling salesman problem with time windows (m-TSPTW). Однако предложенные в данных работах подходы к оптимизации контейнерных потоков на терминале не учитывают месторасположение, масштабы и динамику деятельности основных грузополучателей и отправителей в регионе.

В [13] анализируется проблема планирования погрузки прибывающих на терминал контейнеров с автотранспорта на ж/д платформы с позиции снижения количества операций перегрузки и равномерного распределения грузовой массы в составе контейнерного поезда. В [14] рассматривается система доступа в порт, которая ограничена количеством приемов подтвержденных для одной автотранспортной компании. Авторы доказывают существенную связь между операционной продуктивностью автоперевозчика и даже незначительными изменениями в порядке заезда автомобилей в порт. Полученные в работе результаты показывают, что корректный выбор времени заезда в порт, а также достаточность допустимого времени нахождения автомобиля в порту, в конечном счете обуславливают до 8 % уровня сервиса и числа обслуженных грузовладельцев автотранспортной компанией. Результаты исследования [15] подчеркивают снижение вероятности возникновения очередей при въезде на контейнерный терминал в результате эффективного использования автоперевозчиками централизованной системы планирования. Также сокращение времени операционных циклов при размещении парков автотранспорта в непосредственной близости к контейнерному терминалу. Однако в данных работах авторы не рассматривают субъектную составляющую организации интермодальных перевозок, что оставляет открытым вопрос ответственности за их эффективность.

Ряд работ посвящен изучению систем управления интермодальными перевозками с использованием разных методологических подходов. К примеру, авторы [16] предложили использование CPLEX моделирования для минимизации затрат на наземную перевозку контейнеров в течение дня, формирования маршрутов и их распределения между автомобилями. В работе [17] разработаны варианты оптимизации загрузки контейнерного поезда общей длиной от 416 до 652 метров при использовании железнодорожных платформ разных типов и длины с учетом реальных ограничений по весу одной интермодальной единицы. Однако рассмотренные оптимизационные модели в этих работах применяются при перевозке контейнеров на расстояния более 1200–1500 км и не учитывают возможного дисбаланса грузопотоков.

В [18] проводят исследование принципов репозиционирования контейнеров в рамках системы наземных интермодальных терминалов исходя из критерия максимизации валовой прибыли при перевозке контейнеров на экспорт. Исследование содержит ряд допущений, в частности: авторы не различают 20'' и 40''

футовые контейнеры, ресурс контейнеров является неисчерпаемым, пропускная способность каждого терминала является неограниченной с горизонтом в 5 лет. Такие допущения существенно идеализируют модель исследования.

Таким образом, несмотря на большой интерес к исследованию проблематики интермодальных перевозок, вопросы их организации остаются не до конца изученными. В частности, в современной научной и профессионально ориентированной литературе отсутствуют комплексные подходы к организации эффективной системы доставки контейнеров из морских портов контейнерными поездами при дисбалансе грузопотоков на крупнейших наземных терминалах. Актуальным является и поиск алгоритма построения операционных процессов участников интермодальной доставки грузов в условиях недостаточного развития интермодальной цепи. Также не изучены варианты предотвращения рисков низкой утилизации контейнерного оборудования на наземном участке маршрута доставки импорта и экспорта.

3. Цель и задачи исследования

Целью работы является разработка подходов к построению процессов в системе адаптивного управления интермодальными перевозками грузов под началом оператора контейнерного поезда (ОПК) в условиях рынков развивающихся стран.

Для достижения поставленной цели необходимо решение следующих задач:

- изучить особенности системы логистического обслуживания контейнерных грузопотоков в/из морских портов развивающихся стран к конечным грузополучателям и определить предпосылки переориентации их на доставку железнодорожным транспортом в составе контейнерных поездов;
- определить целевые параметры доставки контейнеров в/из морского порта в разрезе аллокаций транспортных активов, стоимости, скорости, уровня интермодального сервиса, а также рентабельности интермодальных операций;
- алгоритм построения системы операционных процессов деятельности оператора контейнерного поезда в условиях релевантной системы технического обеспечения интермодальных перевозок.

4. Материалы и методы исследования системы управления интермодальными перевозками грузов

В статье использованы статистические методы, методы анализа, синтеза, сравнения, моделирования с использованием Simplex LP (США) при линейном программировании. Материалами для научного исследования послужили статистические данные морских торговых портов, открытые данные операторов развивающихся рынков контейнерных перевозок. Исследование и разработка подходов к оптимизации интермодальных перевозок в статье основывается на фактологических данных по объемам, интенсивности и географической направленности контейнерных грузопотоков в Украине.

5. Исследование параметров систем логистического обслуживания контейнерных грузопотоков развивающихся стран

В настоящее время правительства ряда развивающихся стран решают две основные транспортные проблемы. Первая связана с интенсивным износом дорожного покрытия автомобильных дорог национального значения, что требует многомиллионных ежегодных вложений в их ремонт. Вторая проблема связана с загрязнением окружающей среды грузовым автотранспортом, который в лучшем случае соответствует нормам Евро 2–Евро 4. Наиболее реалистичным способом решения данных проблем представляется развитие интермодальных перевозок с акцентом на железнодорожном сообщении на сухопутном участке пути. С точки зрения международных практик именно перспективы интермодальных перевозок, а не мультимодальных, обширно используется как инструмент транспортировки грузов из портов на железнодорожные терминалы вглубь страны. При этом такие перевозки должны быть экономически и организационно более привлекательными, чем перевозки с привлечением автомобильного транспорта. Это означает, что с позиции грузовладельца, клиента, техническое решение по доставке контейнерных грузов контейнерными поездами должно иметь коммерческую привлекательность и предотвращать операционные риски на системной основе. Для большинства развивающихся стран особенно остро стоит проблема перевозки большегрузных морских контейнеров по автомобильным дорогам. Поэтому для них развитие интермодального сообщения часто уже является задекларированной на государственном уровне инициативой. В ряде стран на данный момент рассматривается несколько новых законов связанных с субсидированием развития инфраструктуры мультимодальных терминалов, в частности предоставление известных налоговых льгот предприятиям, которые инвестируют в инфраструктуру и необходимое оборудование.

Международная практика построения интермодальных решений перевозки морских контейнеров с использованием контейнерных поездов базируется на следующих фундаментальных принципах:

- фиксированное расписание отправления и прибытия контейнерных поездов, регулярность рейсов;
- расположение сети интермодальных терминалов в близости к импортеру и экспортеру, что обеспечивает высокую степень утилизации входящего и исходящего грузевого рейса;
- возможность репозиционирования контейнерного оборудования между терминалами в случае возникновения профицита или дефицита оборудования на одном из терминалов сети;
- ритмичное оборачивание контейнерного ресурса и минимизация простоя оборудования на наземных терминалах интермодальной сети.

Развивающиеся рынки железнодорожных перевозок морских контейнеров часто характеризуются существенным дисбалансом входящих и исходящих грузопотоков в разных регионах, а также отсутствием отлаженной системы перераспределения контейнерного оборудования между наземными терминалами. Так, к примеру, если в стране на центральный регион приходится порядка 40–45 % кон-

тейнерного импорта, то в таких условиях практически невозможно добиться симметрии импортных и экспортных загрузок контейнерного оборудования.

Одним из ключевых операционных ограничений в интермодальных перевозках является отраслевой стандарт автомобильной перевозки контейнеров, при котором получателю груза предоставляется расширенное свободное время для выгрузки прибывшего контейнера. Это требование частично связано с неэффективным планированием собственного ресурса и возможными конфликтами внутренних задач по обработке грузов последнего. В конечном счёте существенный ресурс автотранспорта становится иммобилизованным, что снижает ROI (Return On Investment) транспортных активов.

Расширенное свободное время для выгрузки прибывших контейнеров также приводит к скоплению контейнеров на терминале, при этом цикл полного оборота контейнеров выходит за рамки одной недели. В таких обстоятельствах наземный терминал будет перегружен большим количеством прибывающих контейнеров, что в результате приведет к сбою в его работе.

Стандартом свободного времени для выгрузки прибывшего контейнера после завершения таможенного оформления на Западе является 1–2 часа. Для построения эффективных операций контейнерных поездов на рынках развивающихся стран грузовладельцы должны достичь аналогичной скорости выгрузки.

Также, спецификой контейнерных потоков на развивающихся рынках является большое количество участников, задействованных в их функционировании: грузоотправители, грузополучатели, судоходные компании, железнодорожные компании, автоперевозчики, наземные интермодальные терминалы, контейнерные депо. В частности, речь идет о большом количестве судоходных компаний, суда которых заходят в тот же порт Одесса и характеризуются разными объемами, географией и другими параметрами контейнерных перевозок. При росте количества участников перевозки со стороны судоходных компаний и автоперевозчиков авторы в [1] подчеркивают целесообразность введения еще одного участника – Оператора Контейнерного Поезда (далее – ОКП). Это позволит обеспечить необходимый уровень планирования, утилизации транспортного ресурса и качества сервиса для грузовладельцев.

Таким образом, в данном исследовании акцент делается на организационных и экономических условиях работы ОКП. При этом основными целевыми установками его деятельности являются достижение максимального уровня рентабельности и меньшей стоимости доставки контейнера, чем в автомобильном сообщении, при достаточном уровне сервиса.

6. Моделирование организационных и экономических параметров деятельности оператора контейнерного поезда

С целью упрощения формулировки проблемы и дальнейшего исследования введен следующий набор фиксированных условий, выполнение которых необходимо для функционирования сервиса:

- оператор контейнерного поезда представляет собой единую компанию, под эгидой которой централизованы железнодорожная и автомобильная перевозка контейнеров до двери.

– таможенное оформление грузов в режиме импорт производится в порту прибытия груза.

– общая стоимость наземного интермодального импортного рейса Одесса – Киев, который включает железнодорожную перевозку и дверную доставку автомобильным транспортом, составляет дол. США USD 500/конт – 0,5 стоимости автомобильной перевозки тяжелого контейнера.

– оптимальная емкость контейнерного поезда для технических условий железных дорог развивающихся стран, что подтверждается оценками экспертов, составляет 200 TEU (twenty-foot equivalent unit), т. е. 200 – 20” или 100 – 40” контейнеров.

– исследуемая система является закрытой и включает таких участников: импортёр, экспортёр, оператор контейнерного поезда.

– цикл операций рассматривается как одна неделя, в соответствии с частотой прибытия морского судна в порт – один раз в неделю.

– количество фитинговых платформ, аллоцированных под еженедельные рейсы контейнерного поезда, является конечным.

– безопасность груза в пути по ж/д дополнительно обеспечивается средствами контроля с GPS, которые устанавливаются при прибытии контейнеров в порт.

– все авто платформы, находящиеся на наземном терминале в регионе доставки, оснащены тремя осями, что позволяет перевозку большегрузных контейнеров в пределах максимально допустимого, согласно паспортным данным, контейнера.

– в соответствии с современными международными практиками, наземный терминал в регионе доставки снабжен повышенным количеством автомобильных платформ, что позволяет максимизировать производительность автоперевозки.

– все тягачи и автомобильные платформы, которые используются на терминале, оснащены датчиками GPS, что позволяет добиться высокой степени адаптивности маршрутов и построение комбинаций. Тягач при возврате на терминал отслеживается и, в случае поступления информации о доступности контейнера после выгрузки по пути его следования, может подобрать его.

– возможность сброса авто платформы с контейнером для выгрузки и его забор в течение того же дня позволяет оптимизировать использование автомобильных тягачей.

– все тягачи, автомобильные платформы и порожние контейнеры возвращаются на железнодорожный терминал в конце рабочего дня.

– ни один из обратных экспортных рейсов не формируется в регионе доставки.

– экспортёры, которые находятся в регионах, способны принимать порожние контейнеры на железнодорожных платформах в любой рабочий день недели.

– контейнерный поезд прибывает на терминал в регионе доставки на выходных таким образом, что грузы становятся доступными для дверных доставок в 6 утра в понедельник.

– пропускная способность наземного терминала, lift-on, lift-off контейнеров на автомобильные платформы доступны на постоянной основе. Срок обработки автомобиля на терминале не превышает 40 минут.

– наземный терминал работает пять дней в неделю: с понедельника по пятницу с 6-00 до 18-00.

– при заблаговременном планировании прибытия грузов по железной дороге и дверных доставок грузополучатель может принять полный объем прибывших грузов в течение одной рабочей недели

– все решения по аллокации транспортных активов, организации наземной автомобильной и железнодорожной перевозок принимаются исходя из возможности максимизации выручки.

– в соответствии с тарифным ценообразованием на железной дороге осуществляется плата за подсыл порожнего оборудования из-под импорта. Следовательно, такой подсыл к экспортеру будет целесообразен тогда, когда протяженность пути из точки подсыла меньше или равна расстоянию прямой подачи порожних контейнеров из порта. При подсыле контейнеров от наземного терминала в регионе доставки до ж/д станции экспортера экономически обоснованным является расстояние удаления от терминала в 300 км.

Ориентируясь на достижение максимальной доходности ОКП, нужно учитывать её зависимость от большого числа факторов. Среди них нужно отметить и необходимость взаимодействия с государственной железной дорогой, с терминалом в регионе доставки и другими участниками процесса. Для определения финансовых результатов деятельности ОКП мы будем оперировать показателями выручки, рассчитанной исходя из ставок на перевозку в рамках принятых ограничений исследования. Максимизация еженедельной выручки ОКП достигается при условии оптимальной комбинации ряда факторов. Основными среди них есть груженные импортные контейнерные рейсы, наиболее эффективный вариант организации транспортных операций на ж/д терминале, максимальное количество дверных доставок гружённых контейнеров в день в каждую зону. При этом необходимо использовать минимальное количества тягачей и контейнерных авто платформ.

$$\begin{aligned}
 AdjRevenue_{\max} = & \sum_{PD} Q_{PD20} \cdot C_{PD20} + \sum_{PD} Q_{PD40} \cdot C_{PD40} + \\
 & + \sum_D \sum_K \sum_{Z=1}^7 \partial_z \cdot Q_{DKZ} \cdot (L_{on} + D_{DKX} + L_{off} + CR / M_{DK}) - PE_{DP} \cdot \sum_{DP} QE_{DP} - \\
 & - \sum_n \sum_p (QT_n - QT_p) \cdot (A + S) - \sum_p (QCH_{\max} - QCH_m) \cdot CR + \sum_D \sum_E Q_{DE} \cdot C_{DE},
 \end{aligned} \tag{1}$$

где Q_{PD} – количество груженных импортных контейнеров 20” и 40”, которые перевозятся от порта до наземного терминала по ж/д, C_{PD} – стоимость транспортировки 1 груженого контейнера от порта до наземного терминала, ∂_z – 1, если есть спрос на доставку груженого импортного контейнера в зону доставки Z , в противном случае 0, Q_{DKZ} – количество груженных импортных контейнеров, которые перевозятся от наземного терминала D к клиенту K , который расположен в определенной зоне доставки, L_{on} – стоимость lift on контейнера на наземном терминале, D_{DKX} – стоимость кругорейса при автомобильной перевозке импорт-

ного контейнера к клиенту K в зависимости от зоны доставки с возвратом порожнего на территорию наземного терминала, L_{off} – стоимость lift-off контейнера на наземном терминале, CR/M_{DK} – отношение стоимости аренды автомобильной платформы в день к числу груженых ходок в день, PE_{DP} – штраф за возврат порожнего контейнера в порт без экспортного груза, QE_{DP} – количество порожних контейнеров, которые возвращены в порт с наземного терминала, Q_{DE} – количество контейнеров, которые предоставлены под экспортную загрузку с последующей доставкой в порт, C_{DE} – общая стоимость подсыла и груженого рейса контейнера с экспортным грузом от экспортера в порт, QT_n – количество тягачей аллоцированных на наземном ж/д терминале, QT_p – количество тягачей, которые используются для дверных доставок в день, A – стоимость содержания и административные расходы на один тягач за один операционный день, S – заработная плата водителя тягача за один рабочий день, QCH_{max} – максимальное количество автомобильных платформ необходимых для выполнения полного объема дневных рейсов, QCH_m – количество авто платформ, которые используются для дверных доставок в день.

Ограничения функции:

$$QE_{DP} \leq Q_{PD40}, \quad \forall Q_{PD40}, \quad QE_{DP} \in N$$

$$Q_{DE} \leq Q_{PD20}, \quad \forall Q_{PD20}, \quad Q_{DE} \in N$$

$$Q_{DKZ} \leq Q_{PD20} + Q_{PD40}, \quad \forall Q_{PD20}, Q_{PD40}, \quad Q_{DKZ} \in N$$

7. Построение системы операционных процессов деятельности оператора контейнерного поезда

На сегодняшний день в стране стабильно функционируют 3 основных контейнерных порта. Результаты их работы согласно [20] приведены в табл. 1. Исходя из того, что по итогам 2019 г. на контейнерные терминалы в порту Одесса приходится доля рынка более 60 %, исследование в научной статье опирается на статистические данные работы терминала «ГПК-Украина» (дочернее предприятие «Гамбург Порт Консалтинг ГмбХ»).

Контейнерный терминал ГПК Украина принимает и обслуживает грузы 11 судоходных компаний. Их среднемесячный портфель экспорта и импорта в относительных единицах, а также коды наименований морских линий представлены на рис. 1.

Из приведенных на графике данных видно, что каждая из судоходных компаний оперирует с совершенно разными соотношениями между входящими и исходящими объемами груженых контейнеров обоих типов. Можно условно классифицировать 6 судоходных компаний как сбалансированные: MSC, HLC, ONE, OOCL, ZIM, ACOL, остальные 5 оперируют с существенными асимметриями. Этот факт подтверждает необходимость использования варьирующихся недельных аллокаций под каждую из судоходных компаний для достижения максимальной финансовой эффективности от работы контейнерного поезда.

Таблица 1

Результаты работы контейнерных портов Украины, 2019 г.

Показатели		Объем контейнерных грузов			Удельный вес, %		
		Одесса	Юж- ный	Черно- морск Рыбный	Оде сса	Юж ный	Черно- морск Рыб- ный
Им- порт	Тоннаж кон- тейнеров, млн. тонн	3.49	1.17	0.647	66	22	12
	Общее кол-во контейнеров	195490	73136	41273	63	24	13
	20"	69199	36510	21402	54	29	17
	40"	126291	36626	19871	69	20	11
Экс порт	Тоннаж кон- тейнеров, млн. тонн	4.01	1.72	1.13	58	25	16
	Общее кол-во контейнеров	181967	67688	50735	61	23	17
	20"	64380	37527	23460	51	30	19
	40"	117587	30161	27275	67	17	16

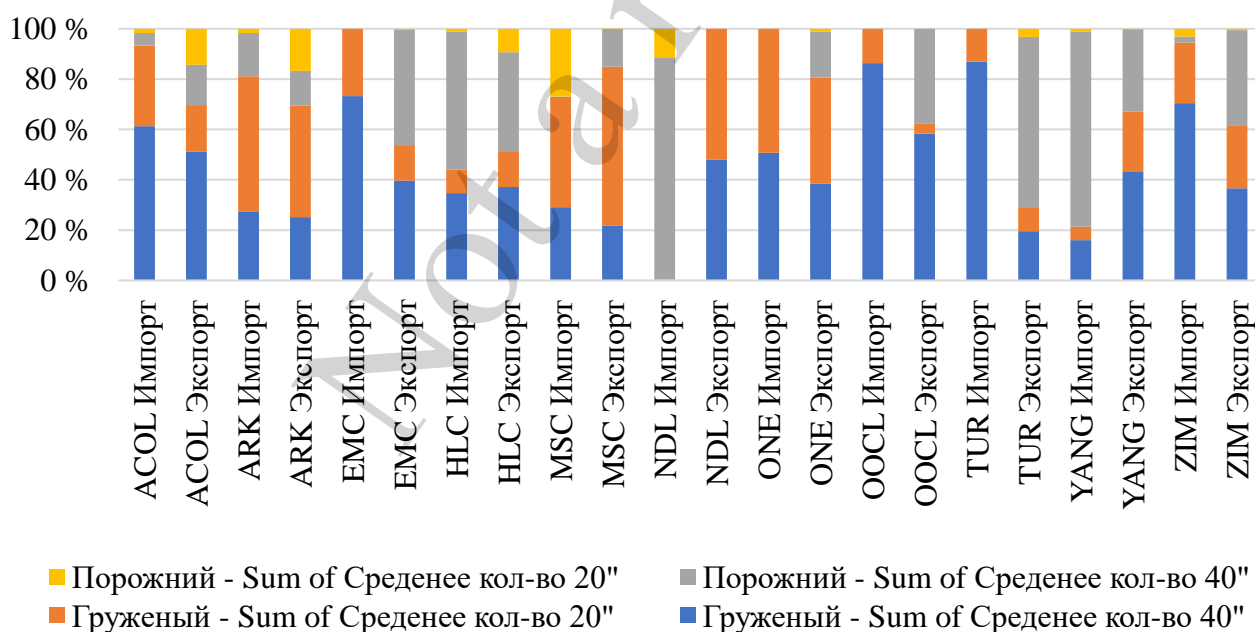


Рис. 1. Распределение усредненных еженедельных объемов перевалки контейнеров судоходными компаниями через терминал «ГПК-Украина»

Для определения первичной стратегии работы ОКП необходимо рассмотреть распределение объемов контейнеров обрабатываемых на терминале «ГПК Украина» в соответствии с их груженой массой и видом транспорта, который используется для доставки к грузополучателям в Киеве (табл. 2).

Таблица 2

Распределение доставки импортных контейнеров из морского порта между ж/д и автомобильным транспортом в соответствии с их грузовой массой

Доля вида транспорта, %	Вид транспорта	Тип контейнера	Диапазон грузовой массы контейнера, тонн	Кол-во контейнеров, за 6 мес.	Средняя грузовая масса контейнера
4	ж/д	20	20-24	436	24,704
	ж/д	20	below 20	11	19,224
	ж/д	20	over 24	205	29,090
<1	ж/д	40	20-24	10	26,635
	ж/д	40	below 20	7	10,101
	ж/д	40	over 24	4	30,350
27	авто	20	20-24	2044	25,002
	авто	20	below 20	1835	14,831
	авто	20	over 24	404	28,893
68	авто	40	20-24	1825	26,215
	авто	40	below 20	7010	14,123
	авто	40	over 24	1852	29,327

Согласно данным табл. 2, общая доля контейнеров, которые перевозятся автотранспортом с грузовой массой более 20 тонн, составляет 57 % 20-ти футовых контейнеров и 34 % 40-ка футовых контейнеров. В абсолютном усредненном выражении это составляет 94 и 142 контейнера в неделю. Также важно принять во внимание существующий объем контейнеров, который перемещается по ж/д и может обслуживаться в составе регулярного контейнерного поезда: 20 – 25 контейнеров в неделю.

ОКП в своей работе с общим пулом контейнеров в целях достижения необходимой утилизации импортного рейса поезда на еженедельной основе необходимо учитывать ряд ограничений. В частности, к ним относятся риски задержки морских судов и несимметричного распределения объемов контейнеров, прибывающих на терминал в порту. Успех внедрения логистического решения напрямую будет зависеть от умелого комбинирования контейнеров с грузовой массой более 20 тонн и не тяжелых контейнеров.

На основе собранных данных, представим региональное распределение объемов экспорта и импорта в морских контейнерах, которые перевозятся по территории страны автомобильным и ж/д транспортом (рис. 2 и рис. 3. соответственно).

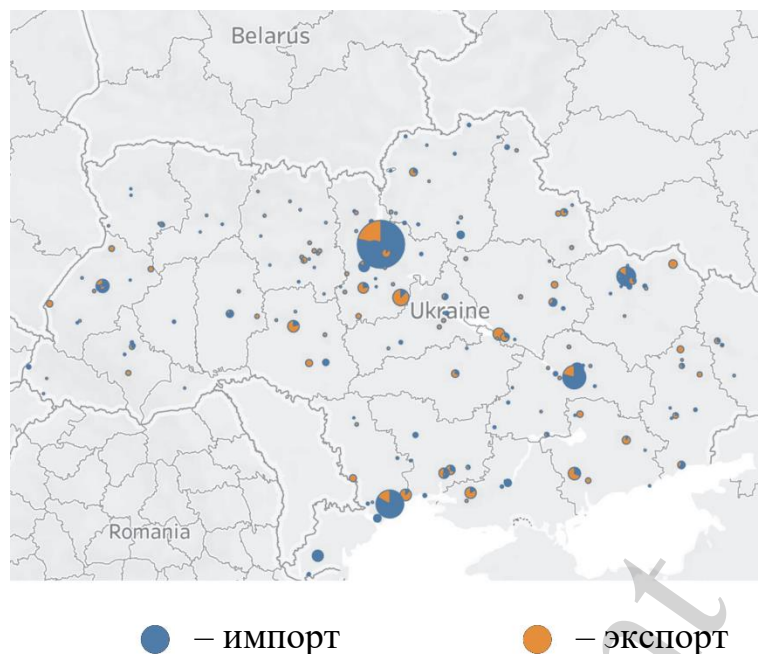


Рис. 2. Региональное распределение объемов импортных и экспортных контейнерных грузов, которые перевозятся автотранспортом

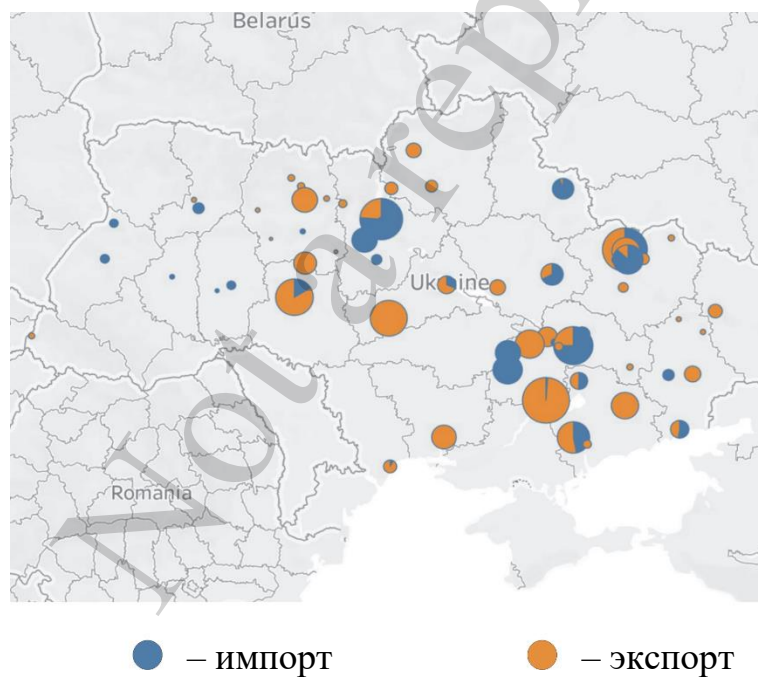


Рис. 3. Региональное распределение объемов импортных и экспортных контейнерных грузов, которые перевозятся ж/д транспортом

Как видно из рис. 2, 3 около 40–45 % получателей импортных контейнерных грузов находятся в Киеве и Киевской области.

В силу сформулированных предположений и ограничений, в частности по верхнему уровню общей стоимости транспортировки, целесообразно провести зонирование всего региона доставки импортных грузов. Также необходимо разработать тарифную сетку, исходя из количества циклов доставки, которое каж-

дый автомобиль может совершить в течение одного рабочего дня, а не из расстояния, на которое получатель удален от терминала.

В рамках построения бизнес модели и подхода к дверным доставкам грузов от терминала до склада мы применим модель, которая обширно используется в США и детально описана авторами [1, 4, 5]. Каждый операционный день должен быть спланирован заранее с учетом реального времени, необходимого для выгрузки контейнеров. По прибытию груза к получателю груженный контейнер вместе с трейлером устанавливается у ворот склада под выгрузку. При этом тягач отцепляется от платформы и возвращается на терминал для забора следующей платформы и контейнера. Доставка последующих контейнеров осуществляется либо к тому же грузополучателю, либо в рамках той же зоны доставки. Грузы в большинстве контейнеров не паллетированные, что требует дополнительного времени для организации их выгрузки. Оператор выделяет 2 часа свободных для проведения выгрузки силами получателя.

По результатам исследования пула грузополучателей, которые расположены в Киеве, и данных о фактическом трафике согласно [21] будет целесообразным разделение региона доставки на 7 зон, которые графически представлены на рис. 4. Важно отметить, что для построения модели были включены компании, которые импортировали более 500 тонн грузов по итогам 2019 г.

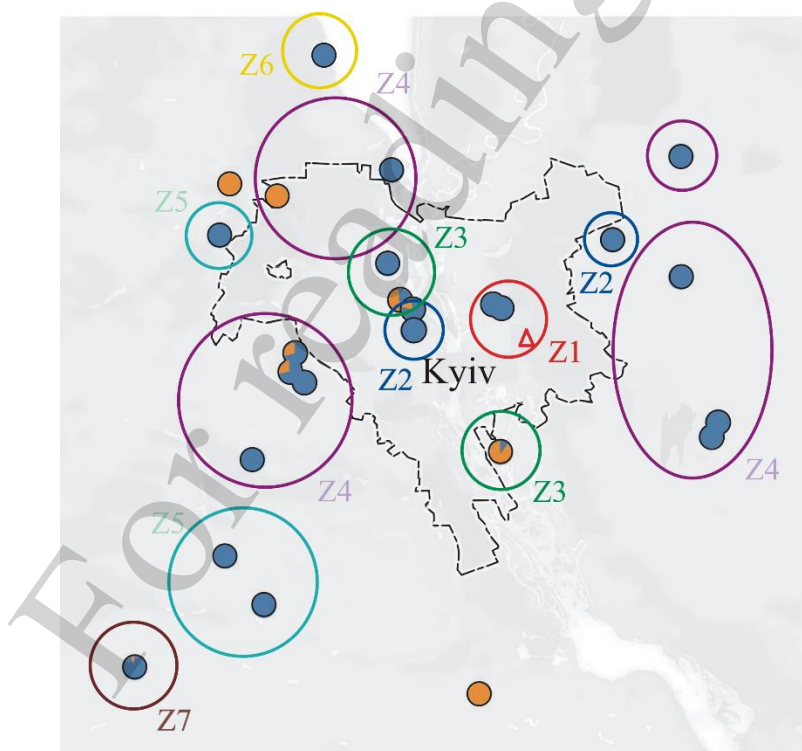


Рис. 4. Зоны доставки контейнеров в регионе г. Киев и Киевской области, исходя из количества возможных циклов доставки в день

Распределение импортеров по зонам доставки основывается на данных по среднему числу прибывающих в неделю 20” и 40” контейнеров, количеству до-

ставок одним автомобилем в течение операционного дня и аллокации автоплатформ (табл. 3).

Таблица 3

Анализ зонирования основных получателей контейнерных грузов в регионе

Зона доставки	Расстояние от терминала, км	Количество импортеров	Общее среднее кол-во контейнеров в неделю	Спрос на доставку 20'' контейнеров в неделю	Спрос на доставку 40'' контейнеров в неделю	Максимальное кол-во доставок в день	Аллокация автоплатформ, шт.
Z1	0–5	6	32	0	32	4	2
Z2	5–10	206	858	215	644	3	2
Z3	10–15	24	94	24	71	2	1
Z4	15–30	28	158	40	119	2	1
Z5	30–40	6	43	11	32	1	1
Z6	40–50	3	11	3	8	1	1
Z7	50–100	23	137	34	103	1	1
Итого	–	296	–	325	1008	–	–

Общий потенциал региона г. Киева и Киевской области превышает значения достаточные для обеспечения высокой степени утилизации еженедельного контейнерного поезда. Следовательно, объективными ограничениями модели являются пропускная способность терминала в Киеве и допустимая длина контейнерного поезда, исходя из технических условий государственной железной дороги.

Анализ работы экспортеров в 2019 г. показал, что в радиусе 300 км от терминала в Киеве расположено 7 компаний со стабильными еженедельными отгрузками. В общей сложности эти компании могут обеспечить загрузку 206 контейнеров в неделю. Все эти экспортеры оперируют 20'' контейнерами. Основные типы грузов: сырое подсолнечное масло наливом, зерновые, мука в мешках, руда.

С учетом того, что ОКП имеет в своем распоряжении фиксированное количество фитинговых платформ, заданное целевое значение конвертации фитинговых платформ с импорта в экспорт установлено на уровне 50 %. После прибытия контейнеров и их выгрузки на терминале в Киеве, железнодорожные платформы будут оставаться на территории терминала в ожидании аккумуляции необходимого количества 20 футовых контейнеров из-под импорта. Очевидно, что для минимизации стоимости простоя железнодорожных платформ на подъездном пути ОКП заинтересован в скорейшей отправке необходимых партий контейнеров [13, 14]. Это накладывает на его деятельность два дополнительных ограничения:

1. ОКП должен обеспечить необходимую квоту 20 футовых импортных контейнеров на еженедельной основе для их последующего репозиционирования и повышения эффективности логистического решения в целом.

2. Приоритет в дверных доставках 20 футовых контейнеров должен отдаваться грузополучателям находящимся во 2-й зоне доставки. На основании проведенного исследования в 1-й зоне доставки нет импортёров 20 футовых

контейнеров. В качестве цели планирования оператор контейнерного поезда должен осуществить 100 доставок гружёных 20 футовых контейнеров в течение первых 2-х рабочих дней недели.

Все доставки будут производиться в режиме сброса груженого контейнера на территории грузополучателя в соответствии с таймингами:

- заезд автомобиля на железнодорожный терминал и забор контейнера – 40 минут;

- сброс контейнера на территории грузополучателя – 40 минут;

- сброс порожнего контейнера на железнодорожном терминале – 40 минут.

Для моделирования оптимальной операционной работы ОКП с использованием Simplex LP (США) при линейном программировании [16] используем следующие константы и требования к уровню сервиса:

- C_{PD20} = 300 дол. США;

- C_{PD40} = 400 дол. США;

- PE_{DP} = 150 дол. США;

- C_{DE} = 300 дол. США;

- C_{PD20} = USD 300 дол. США;

- C_{PD40} = USD 400 дол. США,

- PE_{DP} = USD 150 дол. США и применимо к каждому импортному 40” контейнеру;

- C_{DE} = USD 300 дол. США и применимо к каждому импортному 20” контейнеру, который доставляется в течение первой операционной недели;

- 60 % фитинговых ж/д платформ используется под 20” контейнерами, 40 % фитинговых ж/д платформ используется под 40” контейнерами;

- максимальное количество 20” контейнеров Q_{PD} должно быть доставлено в первые 2 операционных дня недельного цикла, чтобы обеспечить отправку наибольшего числа контейнеров к экспортеру на 1й и 2й день операций. Это требует выполнения 100 % дверных импортных доставок к получателям из 2й зоны доставки;

- для проведения исследования и в соответствии с реальным распределением получателей по зонам доставки проведем следующее распределение объемов контейнерных грузов:

- 20”: Z1 – 0, Z2 – 66 %, Z3 – 10 %, Z4 – 5 %, Z5 – 5 %, Z5 - 4 %, Z6 – 4 %, Z7 – 10 %;

- 40”: Z1 – 50 %, Z2 – 30 %, Z3 – 10 %, Z4 – 3 %, Z5 – 3 %, Z6 – 0, Z7 – 4 %;

- в качестве минимального уровня сервиса для каждой зоны установлено минимальное количество доставок контейнеров на уровне 50 % от общего числа контейнеров в зоне, но не менее 1 контейнера;

- для обеспечения наиболее ранней доступности оборудования 20” контейнеров для экспорта уровень сервиса для Зоны 2 установлен на уровне 66 % от общего недельного объема контейнеров для этой зоны доставки. Эти контейнеры должны быть доставлены в 1й и 2й операционные дни. Это также поз-

волит ограничить стационарные расходы на хранение фитинговых ж/д платформ на терминале в Киеве до 2х дней;

- стоимость пользования одной автомобильной платформой установлена на уровне USD 20 в день;

- ввиду того, что количество груженых рейсов в 1-й и 2-й зонах доставки превышает 2 в день, необходимо аллоцировать 2 платформы под каждый из задействованных для доставок тягачей;

- поскольку наибольшее количество доставок приходится на 1й и 2й операционные дни, не все тягачи из парка будут задействованы для доставок в операционные дни с 3 по 5. Это потребует покрытие затрат на уровне USD 144 за каждый операционный день за каждый неиспользуемый тягач. Эта сумма включает прежде всего стоимость работы водителя в день исходя из месячной заработной платы в USD 1296 в месяц. Также в нее входят затраты на обслуживание и администрирование каждого тягача из расчета USD 80 в день. Эта статья затрат называется – Штраф за неиспользование автомобильного ресурса;

- введем величину: Скорректированная выручка=Выручка–Штраф за неиспользование автомобильного ресурса.

С целью поиска максимальной недельной выручки ОКП проведем моделирование 9 операционных сценариев с использованием Simplex LP при линейном программировании [16]. Моделирование базируется на гипотезе, что 100 % доставленных 20 футовых контейнеров конвертируется для подсыла экспортёру. Результаты моделирования базового сценария приведены в табл. 4.

Степень удовлетворения дверных доставок 20” и 40” контейнеров – это соотношение числа доставленных импортных контейнеров грузополучателям к общему числу контейнеров доставленных на железнодорожный терминал в течение одной рабочей недели. Это значение подчеркивает возможность того, что не все клиенты смогут принять груженный контейнер под выгрузку по той или иной причине в течение недели их прибытия. На рис. 5 схематически отображены результаты расчетов основных показателей уровня удовлетворения дверных доставок контейнеров.

Таким образом, очевидно, что ОКП достигнет наивысших финансовых результатов наивысших финансовых результатов при реализации сценария 3, однако самый высокий уровень сервиса достигается при реализации сценария 2.

Используем альтернативный подход с целью сравнение результатов моделирования 2 наборов операционных сценариев. Ключевое изменение – сокращение числа возможных груженых рейсов автотранспорта на (1) для 1й и 2й зон доставки. С сокращением также вносятся изменения в аллокации количества авто платформ для Зоны 2 это уже будет 1 аллокация. Результаты моделирования первого набора сценариев приведены в табл. 5 и графически показаны на рис. 6.

Следовательно, при неизменном количестве тягачей на терминале ОКП будет достигать существенно меньших уровней недельной выручки. Так, при втором сценарии показатель скорректированной выручки снизится на 7 %. Также существенно снижается степень удовлетворения доставок для контейнеров обоих типов, а это в свою очередь означает меньшее количество контейнеров доступных для экспортных отправок.

Таблица 4

Моделирование операционных сценариев при базовом подходе

Показатели	Сценарии								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Общее кол-во ж/д платформ, шт.	120	120	120	100	100	90	85	80	80
Общее кол-во тягачей, шт.	30	25	20	20	15	15	15	15	10
Целевое кол-во 20"контейнеров к доставке	144	144	144	120	120	108	102	96	96
Кол-во обслуженных 20"контейнеров к перевозке	137	137	135	116	106	98	95	84	57
Целевое кол-во 40"контейнеров к доставке	48	48	48	40	40	36	34	32	32
Кол-во обслуженных 40"контейнеров к перевозке	48	48	42	40	36	35	33	32	20
Штраф за не использование автотранспорта, USD	104 52	685 2	371 2	457 6	279 6	328 8	259 2	339 6	206 4
Выручка, USD	120 924	120 924	116 964	102 232	930 12	864 86	836 46	748 16	504 80
Общее кол-во авто платформ, шт.	40	40	36	34	28	28	26	24	20
Скорректированная выручка, USD	110 472	114 072	113 252	976 56	902 16	831 98	810 54	714 20	484 16
k , отношение числа авто платформ/тягачам	1.33	1.60	1.80	1.70	1.87	1.87	1.73	1.60	2.00
Степень удовлетворения доставок 20"	0.95	0.95	0.94	0.97	0.88	0.91	0.93	0.88	0.59
Степень удовлетворения доставок 40"	1.00	1.00	0.88	1.00	0.90	0.97	0.97	1.00	0.63
c , отношение кол-ва тягачей к кол-ву ж/д платформ	0.25	0.20 83	0.16 67	0.2	0.15	0.16 67	0.17 65	0.18 75	0.12 5

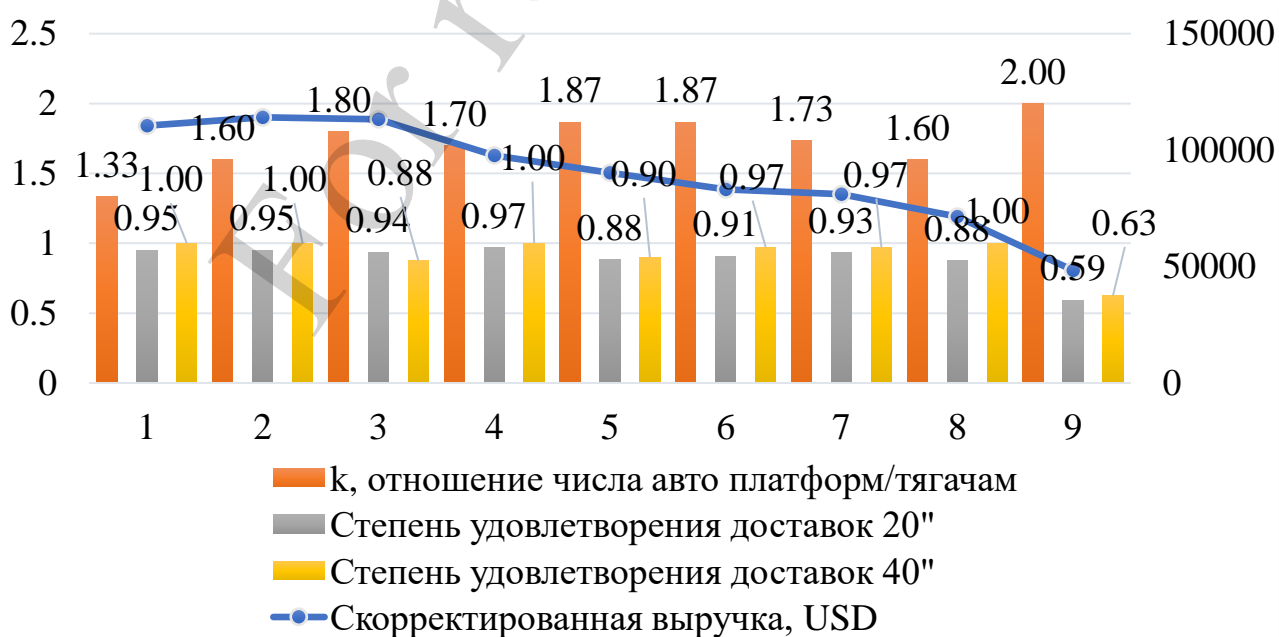


Рис. 5. Результаты моделирования операционных сценариев при базовом подходе

Таблица 5

Моделирование операционных сценариев при альтернативном подходе (при уменьшении количества доставок в течение операционного дня на 1)

Показатели	Сценарии								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Общее кол-во ж/д платформ, шт.	120	120	120	100	100	90	85	80	80
Общее кол-во тягачей, шт.	30	25	20	20	15	15	15	15	10
Целевое кол-во 20"контейнеров к доставке	144	144	144	120	120	108	102	96	96
Кол-во обслуженных 20"контейнеров к перевозке	139	126	106	100	80	82	82	83	61
Целевое кол-во 40"контейнеров к доставке	48	48	48	40	40	36	34	32	32
Кол-во обслуженных 40"контейнеров к перевозке	42	42	42	36	36	33	31	30	20
Штраф за не использование автотранспорта, USD	6572	4072	2464	2992	1240	2076	2076	2220	1696
Выручка, USD	120192	110076	95916	88596	74436	73902	73186	73056	53648
Общее кол-во авто платформ, шт.	54	48	38	38	28	30	30	30	20
Скорректированная выручка, USD	113620	106004	93452	85604	73196	71826	71110	70836	51952
k , отношение числа авто платформ/тягачам	1.80	1.92	1.90	1.90	1.87	2.00	2.00	2.00	2.00
Степень удовлетворения доставок 20"	0.97	0.88	0.74	0.83	0.67	0.76	0.80	0.86	0.64
Степень удовлетворения доставок 40"	0.88	0.88	0.88	0.90	0.90	0.92	0.91	0.94	0.63
c , отношение кол-ва тягачей к кол-ву ж/д платформ	0.25	0.2083	0.1667	0.2	0.15	0.1667	0.1765	0.1875	0.125

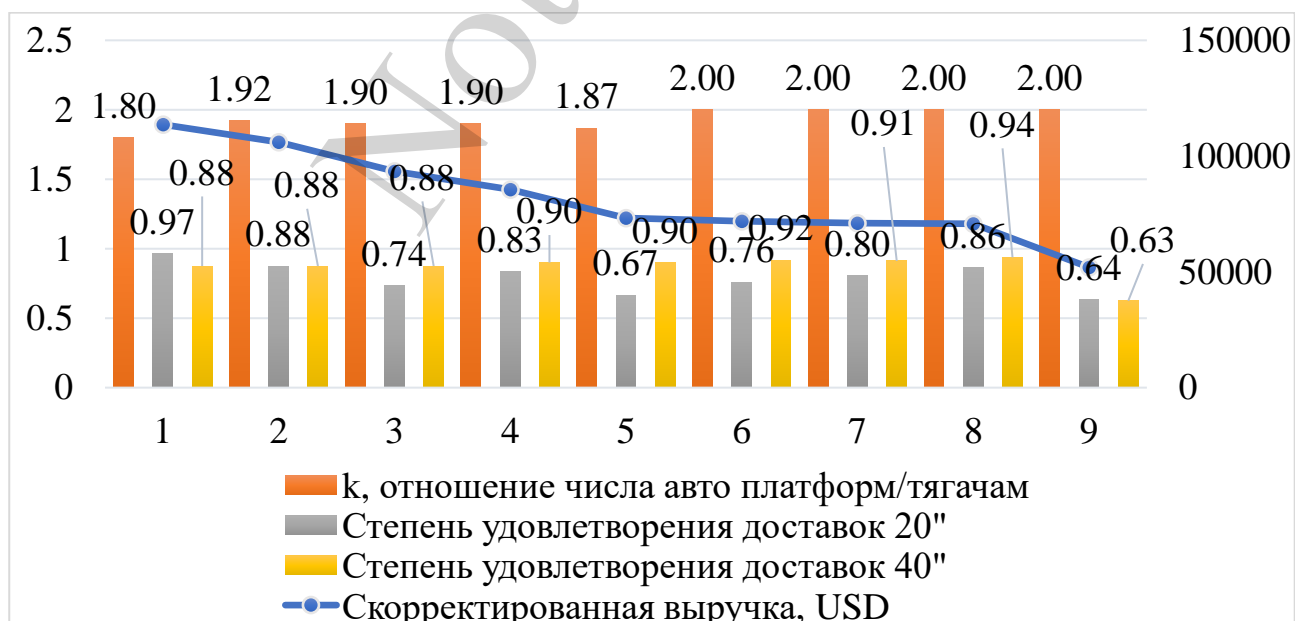


Рис. 6. Результаты моделирования операционных сценариев при альтернативном подходе (при снижении количества ежедневных доставок на 1)

Результаты моделирования 2-го набора сценариев при альтернативном подходе и снижении количества груженых рейсов на (2) для зон доставки 1 и 2 представлены в табл. 6 и на рис. 7.

Таблица 6

Моделирование операционных сценариев при альтернативном подходе (при уменьшении количества доставок в течение операционного дня на 2)

Показатели	Сценарии				
	1	2	3	4	5
Общее кол-во ж/д платформ, шт.	120	100	100	100	100
Общее кол-во тягачей, шт.	30	30	40	50	25
Целевое кол-во 20"контейнеров к доставке	144	120	120	120	120
Кол-во обслуженных 20"контейнеров к перевозке	92	86	106	119	76
Целевое кол-во 40"контейнеров к доставке	48	40	40	40	40
Кол-во обслуженных 40"контейнеров к перевозке	42	36	36	40	36
Штраф за не использование автотранспорта, USD	4712	6800	12320	18212	4060
Выручка, USD	86832	79644	93804	104524	72192
Общее кол-во авто платформ, шт.	54	54	74	92	45
Скорректированная выручка, USD	82120	72844	81484	86312	68132
k , отношение числа авто платформ/тягачам	1.80	1.80	1.85	1.84	1.80
Степень удовлетворения доставок 20"	0.64	0.72	0.88	0.99	0.63
Степень удовлетворения доставок 40"	0.875	0.9	0.9	1	0.9
c , отношение кол-ва тягачей к кол-ву ж/д платформ	0.25	0.3	0.4	0.5	0.25

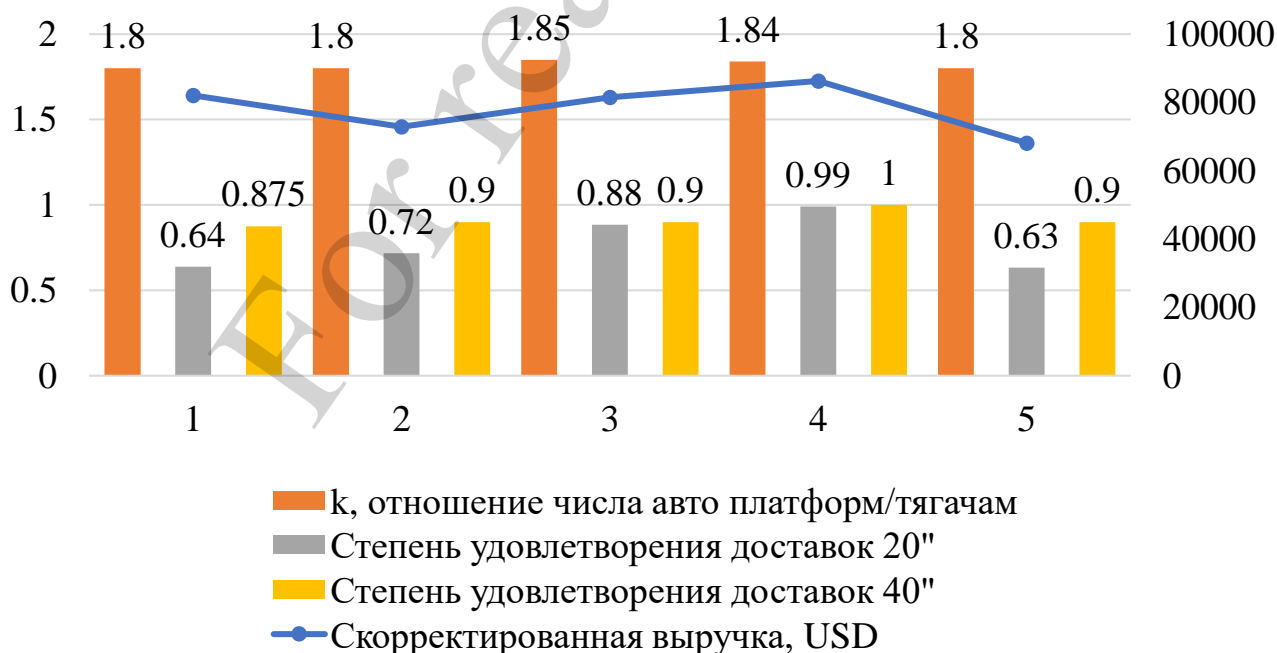


Рис. 7. Результаты моделирования операционных сценариев при альтернативном подходе (при снижении количества ежедневных доставок на 2)

При дальнейшем уменьшении числа груженых рейсов автотранспорта для получателей из Зоны 1 и Зоны 2 модель становится неустойчивой при сохранении аллокации тягачей неизменной. Следовательно, в целях моделирования необходимо существенно увеличить количество тягачей для обеспечения необходимого числа доставок в течение недели.

8. Обсуждение результатов моделирования операционной деятельности оператора контейнерного поезда

Разработанная модель оптимизации операционных процессов в системе управления интермодальными операциями по доставке контейнеров в составе контейнерного поезда имеет своей особенностью универсальность применения в реалиях рынков разных развивающихся стран. Предложенная модель с упором на максимизацию выручки ОКП от реализации услуг учитывает основные реалии протекания наземных логистических операций и дает четкую концепцию и конкретные предписания.

Результаты исследования при базовом, основном, сценарии представлены в табл. 4 и на рис. 5. Наивысшие показатели недельной выручки ОКП и степень удовлетворения дверных доставок грузополучателям достигается при использовании 120 ж/д платформ в составе контейнерного поезда и 25 автомобильных тягачей для дверных доставок. Также при такой конфигурации аллокаций активов достигается высокий уровень сервиса. Его характеризует показатель «Степень удовлетворения доставок» на уровне 0.95 и 1.00 для 20” и 40” контейнеров соответственно.

Важной метрикой исследования является «Штраф за не использование автотранспорта», который характеризует степень риска для ОКП при падении грузопотока по одной из недель. Локальный оптимум здесь может быть достигнут при использовании 100 ж/д платформ и 15 автомобильных тягачей.

Результаты моделирования других наборов сценариев, которые приведены в табл. 5, 6 указывают на существенное снижение недельной выручки ОКП при сокращении количества груженых рейсов автотранспорта. При неизменной конфигурации аллокаций транспортных активов уровень сервиса не превышает 0.9 для обоих типов контейнеров.

Предложенный подход к построению интермодальных операций обладает рядом ограничений практического характера. Таможенное оформление груза должно происходить в порту. Грузовладелец, который по субъективным причинам не сможет пойти на оформление груза в порту, не сможет воспользоваться преимуществами доставки контейнерным поездом. Консолидация грузов в порту происходит в течение нескольких рабочих дней одной недели. Соответственно грузополучатели теряют возможность продолжительного хранения грузов в порту, что на практике может влиять на фактическую утилизацию контейнерного поезда. Предполагается аллокация фиксированного количества ж/д платформ из общего парка, с возможностью незначительного возврата и добора последних при падении или росте недельных объемов. Транспортное решение опирается на постоянное прибытие необходимого ресурса автотранспорта на наземном терминале, готового к интенсивной работе. Высокая степень зависи-

мости от операционной эффективности процесса выгрузки и качества планирования грузополучателей. В итоге это подводит ОКП к избирательности в выборе грузовладельцев и грузов, что снижает вероятность покрытия высокого % контейнеров с массой груза выше 20 тонн.

Перспективы дальнейшего исследования заключаются в анализе возможностей обеспечения безопасности грузов при движении по ж/д. В частности, требует изучения и оценки целесообразности внедрения технологий отслеживания контейнеров и авто платформ на основе GPS. Также очевидно, что сбор и анализ данных, полученных в режиме реального времени, позволит проводить более углубленный анализ оптимизации процессов доставки. Особенно это касается направления координации забора порожних контейнеров после выгрузки у получателя.

9. Выводы

1. В качестве ключевых характеристик рынков доставки контейнерных грузов из морских портов развивающихся стран выделены: дисбаланс грузопотоков, акцент на дверную доставку автомобильным транспортом. В целях уменьшения нагрузки на автомобильные дороги и затрат на их ремонт, а также предложения грузоотправителям более рентабельного варианта доставки, целесообразно осуществлять перевозки контейнеров железнодорожным транспортом в составе контейнерного поезда. При этом необходимо ориентироваться на построение стабильного и регулярного сервиса контейнерного поезда с высокой точностью планирования и операционной эффективностью логистических процессов. Большое количество судоходных компаний, грузовладельцев и посредников при организации интермодальных перевозок является основной предпосылкой для централизации процесса с внедрением института Оператора Контейнерного Поезда.

2. Основными целевыми установками при построении модели операционной деятельности ОКП является достижение высокого уровня выручки при одновременном обеспечении необходимого уровня сервиса для клиентов. Достижение таких целей предполагает и сокращение рисков простоя автотранспорта, максимальную утилизацию транспортных активов. Экономическая привлекательность доставки грузов контейнерным поездом для клиента обеспечивается установлением её стоимости на уровне 50 % от стоимости аналогичной доставки автомобильным транспортом.

Предложенное комплексное решение должно учитывать и удовлетворять требованиям системного экспортера, которые могут поддержать загрузку контейнеров на регулярной основе.

3. Основные предложения связаны с еженедельной координацией аллокаций фактического объема контейнеров от каждой судоходной компании, необходимость получения информации об объемах при выходе морских судов из страны отправления; выполнение дверных доставок в режиме сброса контейнеров и сокращение времени выгрузки контейнеров у получателя; планирование еженедельных операций с экспортерами. Локальный оптимум достигается при

использовании 120 ж/д платформ в составе контейнерного поезда и 25 автомобильных тягачей для дверных доставок.

Увеличение времени выгрузки контейнеров у получателей, как следствие снижение числа груженых ходок в день, является одним из наиболее критических факторов, который влияет на кратное сокращение выручки.

Литература

1. Macharis, C. & Bontekoning, Y. M. (2004) Opportunities for OR in intermodal freight transport research: A review, *European Journal of Operational Research*, 153, pp. 400-416.
2. P. Arnold, D. Peeters, and I. Thomas, "Modelling a rail/road intermodal transportation system," *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, vol. 40, no. 3, pp. 255–270, 2004.
3. Kim, NS., Wee, B. (2011). The relative importance of factors that influence the break-even distance of intermodal freight transport systems. *Journal of Transport Geography - J TRANSP GEOGR*. 19. 859-875. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2010.11.001>.
4. Morlok, E. K., Sammon, J. P., Spasovic, L. N. & Nozick, L. K. (1995) Improving productivity in intermodal rail-truck transportation, in: P. Harker (Ed.) *The Service Productivity and Quality Challenge*, pp. 407-434 (Dordrecht: Kluwer).
5. Morlok, E. K. & Spasovic, L. N. (1994) Redesigning rail-truck intermodal drayage operations for enhanced service and cost performance, *Journal of the Transportation Research Forum*, 34(1), pp. 16-31.
6. Walker, W. T. (1992) Network economics of scale in short haul truck-load operations, *Journal of Transport Economics and Policy*, XXVI(1), pp. 3-17.
7. Ballis, A., Golias, J. (2004) Towards the improvement of a combined transport chain performance, *European Journal of Operational Research*, 152, pp. 420-436.
8. Mario J. BT, Carlos J. Vidal Holguín, Juan J. Bravo Bastidas (2019) Planning and design of a chassis container terminal, *IFAC-PapersOnLine*, Volume 52, Issue 13, pp. 2578-2583
9. Zhang, C., Liu, J., Wan, YW, Murty KG, Linn, RJ (2003) Storage space allocation in container terminals, *Transportation Research Part B* 37 (2003) 883–903
10. Bostel, N., Dejax, P. (1998) Models and algorithms for container allocation problems on trains in a rapid transshipment shunting yard, *Transportation Science*, 32(4), pp. 370-379.
11. Zhang R, Yun WY, Kopfer H (2010) Heuristic-based truck scheduling for inland container transportation, *OR spectrum* 32(3):787–808
12. Braekers, K., Caris, A., Janssens, G. (2013). Integrated planning of loaded and empty container movements. *Operations Research-Spektrum*. 35. 457-478. [10.1007/s00291-012-0284-5](https://doi.org/10.1007/s00291-012-0284-5).
13. Corry, P. & Kozan, E. (2006) An assignment model for dynamic load planning of intermodal trains, *Computers & Operations Research*, 33, pp. 1-17.

14. Namboothiri R, Erera AL (2008) Planning local container drayage operations given a port access appointment system. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 44(2), pp. 185–202
15. Shiri, S., Huynh, N. (2016). Optimization of Drayage Operations with Time-Window Constraints. *International Journal of Production Economics*, Volume 176. 10.1016/j.ijpe.2016.03.005., pp. 7-20
16. Ileri, Y., Bazaraa, M., Gifford, T. et al. (2006) An optimization approach for planning daily drayage operations, *cent.eur.j.oper.res.* 14, 141–156
17. Bruns, F., Knust, S. (2011). Optimized load planning of trains in intermodal transportation. *Or Spektrum.* 36. 1-23. 10.1007/s00291-010-0232-1.
18. Peng, Z., Wang, H., Wang, W. et al. (2019) Intermodal transportation of full and empty containers in harbor-inland regions based on revenue management. *Eur. Transp. Res. Rev.* 11, 7
19. Voges, J., Kesselmeier, H. & Beister, J. (1994) Simulation and performance analysis of combined transport terminals, in: *Proceedings INTERMODAL '94 Conference*, Amsterdam, The Netherlands.
20. Ukrainian ports annual performance report (2019), <http://www.uspa.gov.ua/ru/pokazateli-raboty/pokazateli-raboty-2019>
21. Kyiv traffic data within delivery zones (2020), <https://goo.gl/maps/DkNAbM1yFVfzwj676>