

УДК 656.012.224

Ю.И. Кириллов

**ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
КОНТЕЙНЕРОПОТОКОВ МЕЖДУ СУДАМИ, ОБСЛУЖИВАЮЩИМИ
МАГИСТРАЛЬНО-ФИДЕРНЫЕ ЛИНИИ**

Статья посвящена разработке экономико-математической модели задачи распределения контейнеропотоков между судами, обслуживающими магистрально-фидерные линии в контейнерных транспортно-технологических системах.

Ключевые слова: контейнеропоток, транспортно-технологическая система, магистрально-фидерная линия, траншипмент, экономико-математическая модель.

Стаття присвячена розробці економіко-математичної моделі задачі розподілу контейнеропотоків між судами, обслуговуваними магистрально-фідерні лінії в контейнерних транспортно-технологічних системах.

Ключові слова: контейнеропотік, транспортно-технологічна система, магистрально-фідерна лінія, траншипмент, економіко-математична модель.

The purpose of the article is to develop the economic- mathematical model for the task of containers distribution between vessels, operating in transocean and feeder shipping lines withing container transport-technological systems.

Keywords: container traffic, transport-technological system, transocean-feeder line, transshipment, economic-mathematical model.

Постановка проблемы в общем виде. Основные контейнеропотоки в настоящее время корреспондируются между портами Европы, Азии и США, т. е. на направлениях, где расположены важнейшие центры мировой экономики и промышленного производства, а также сконцентрированы значительные объемы международной торговли. Регулярный сервис на данных направлениях предоставляют многие судоходные компании (СК) и организованные ими контейнерные линии. Крупнотоннажные суда, работающие на них, в силу своих конструктивных и технико-эксплуатационных характеристик заходят в ограниченное количество наиболее крупных и хорошо оборудованных глубоководных портов, выполняющих роль международных распределительных центров (Distribution Centers). Эти центры в различных источниках называют осевыми, базовыми, узловыми, магистральными портами, портами-ступицами или хабами (англ. hub – ступица, концентратор). В них стекается, с одной сто-

© Кириллов Ю.И., 2013

роны, значительная часть грузов трансокеанских (магистральных) маршрутов, с другой – региональных и внутрирегиональных (сухопутных и водных) грузопотоков, т. е. так называемых подпитывающих маршрутов. В свою очередь, региональные и внутрирегиональные судоходные линии, организованные на подпитывающих маршрутах, а также порты отправления данных грузопотоков называют фидерными.

Судоходные компании (СК), работающие в сфере линейных контейнерных перевозок, могут предоставлять:

- магистральный сервис, который предполагает перевозку грузов крупнотоннажными контейнеровозами, работающими на трансокеанских линиях между базовыми портами различных регионов. С целью же последующего фидерного обслуживания магистральных грузопотоков на региональных и внутрирегиональных направлениях компания прибегает к использованию коммерческого фидера. При этом:

а) для устойчивой части грузопотока компания на условиях слот-чартера арендует определенную долю вместимости судов местной линии;

б) для эпизодических грузопотоков фидерный сервис осуществляется по договору морской перевозки;

- фидерный сервис, который заключается в перевозках грузов мало и средне тоннажными судами (Feeder Ship), работающими на фидерных линиях между базовыми (магистральными) и подпитывающими (фидерными) портами соответствующего региона. Компании, организующие подобные линии, осуществляют одновременно фидерное обслуживание грузопотоков нескольких магистральных сервисов, сдавая им в аренду на условиях слот-чартера значительную часть контейнеровместимости своих судов;

- магистрально-фидерный сервис, при организации которого соответствующая судоходная линия включает магистральную и фидерную структурообразующие части и классифицируется как составная [1]. Таким образом, на внутрирегиональные порты с большим объемом грузопотока океанская линия организует собственную систему фидерного обслуживания, поддерживающую постоянный крупный грузопоток в направлении определенного аутпорта. Кроме того, магистрально-фидерная линия может предоставлять услуги по коммерческому фидеру для компаний-партнеров на условиях слот-чартерных соглашений. В случае организации магистрально-фидерного обслуживания грузопотоков, региональный головной офис океанской контейнерной линии устанавливает для портовых агентов базисную тарифную ставку за перевозку 20- и 40-футовых контейнеров (20` и 40` контейнеров) для всех фидерных портов, которые обслуживаются данной компанией в регионах назначения. Эта информация содержится в документе Rate Guideline (RGL), который рассылается агентам линии.

При всех вышеперечисленных разновидностях линейных сервисов возможны различные варианты маршрутизации судов (табл. 1) [1], что должно учитываться при принятии соответствующих локальных реше-

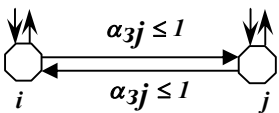
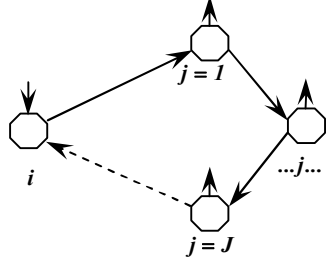
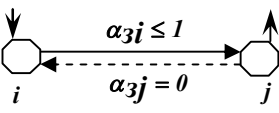
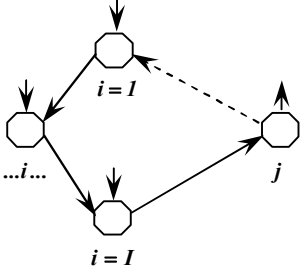
ний, зв'язаних з управлінням роботою судов на магістральній і фідерній частях складної судохідної лінії.

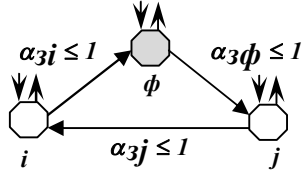
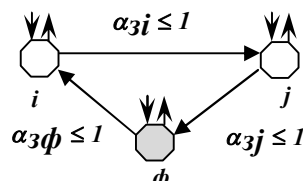
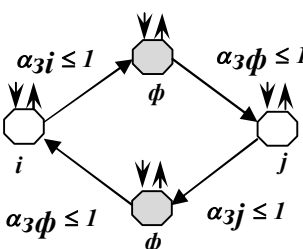
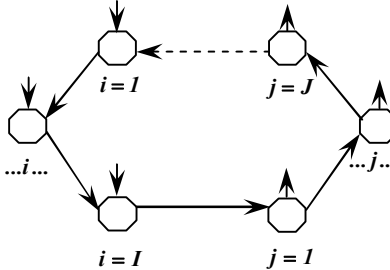
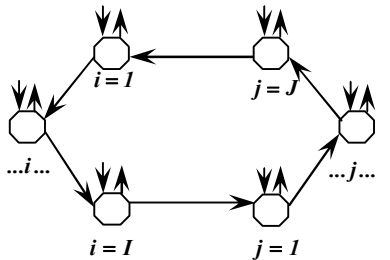
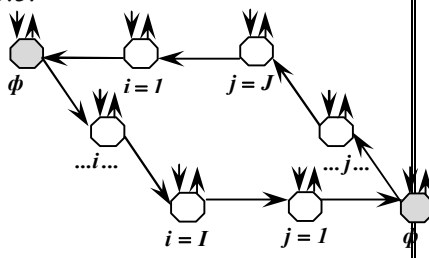



Магістрально-фідерне обслуговування контейнерних грузопотоків на пряму пов'язано з поняттям «траншипмент», яке широко використовується в світовій практиці торгового мореплавання. Формально траншипмент (англ. trans-shipment of cargo – перевалка) – це перевалка вантажів. В залежності від суб'єктів ринку транспортних послуг і правової основи їх взаимоотношень дане поняття уточнюється і набуває вповне конкретного юридичного значення:

- в стосунках між вантажовласником і лінійним перевізником поняття «траншипмент» означає умову коносамента, згідно з якою морський перевізник може в будь-який час і з будь-якої причини вивантажити з судна вантаж або його частину, складирувати його на березі, перегрузити на інше судно, незалежно від того, належить воно перевізнику чи ні;

Таблиця 1

Принципальні схеми типових варіантів руху лінійних судів при основних видах маршрутизації

№	Маятниковий маршрут	Кольцевої (кругової) маршрут
1.	<p>С прямим і зворотним повністю ($\alpha_3 = 1$) або частково ($\alpha_3 < 1$) вантажними переходами</p> 	<p>Розв'язочний кільцевої маршрут</p> 
2.	<p>С прямим повністю ($\alpha_3 = 1$) або частково ($\alpha_3 < 1$) вантажним переходом і зворотним балластним переходом ($\alpha_3 = 0$)</p> 	<p>Збірний кільцевої маршрут</p> 

	<p>С прямым и обратным полностью или частично гружеными переходами и заходом в промежуточный (факультативный) порт за попутным грузом или с целью выгрузки груза, предназначенного на этот порт 3.1.</p>  <p>3.2.</p>  <p>3.3.</p> 	<p>Сборно-развозочный кольцевой маршрут 3.1.</p>  <p>3.2.</p>  <p>3.3.</p> 
<p>где $i = \overline{1, I}$, $j = \overline{1, J}$ – порты погрузки / выгрузки; $\phi = \overline{1, \Phi}$ – промежуточный (фидерный) порт; $\alpha_{zi}, \alpha_{zj}, \alpha_{z\phi}$ – коэффициент загрузки судна;  – погрузка и, соответственно, выгрузка груза;  – переход судна с коммерческой загрузкой;  – балластный переход судна</p>		

- в отношениях между линейным перевозчиком и портом, а точнее органами таможенного контроля, под «таншипментом» понимают режим перевалки контейнеров, при котором они не покидают территорию порта, а при упрощенной форме их таможенного оформления перегружаются с одного судна на другое и следуют в порт назначения. Данный режим перевалки касается только грузов, перемещаемых с применением контейнеров. Однако специфика таншипмента обусловлена не столько видом применяемой единицы транспортного оборудования (контейнера), сколько содержанием операций по ее таможенному оформлению, которое не требует предоставления грузовой таможенной декларации, а ограничивается предъявлением коносамента.

В связи с вышесказанным, очевидно, что возможность перевалки контейнеров в режиме таншипмента является средством привлечения дополнительных грузопотоков и необходимым условием создания и функционирования магистрально-фидерных сервисов в рамках (КТТС).

До недавнего времени понятие «таншипмент» в украинском законодательстве не использовалось, а применение одноименного режима перевалки контейнеров через Украинские порты было невозможным, из-за отсутствия соответствующего правового поля, регулирующего подобные операции. Вместо таншипмента в портах Украины применялся режим обычного транзита [2]. Это значительно усложняло процедуру таможенного контроля и препятствовало реализации высокого транзитного потенциала страны. В связи с этим, фидерное обслуживание грузопотоков в украинских портах было затруднено. Однако в 2010 г. ситуация изменилась. Законом Украины «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо спрощення митного оформлення транзитних вантажів» от 01.06.2010 г. [3] был законодательно закреплён упрощенный порядок прохождения транзитных контейнеров в режиме таншипмента через морские торговые порты Украины. Появилось понятие транзита «мореморе», который был освобожден от необходимости оформления таможенной декларации [4]. И уже в сентябре 2010 г. впервые в Украине режим таншипмента был применен в Одесском морском торговом порту [2]. Таким образом, в настоящее время, когда термин «таншипмент» не только вошел в современный лексикон транспортной отрасли страны, но и получил официальное отражение в Украинском законодательстве, а обработка грузов в одноименном режиме стала применяться на практике, становится актуальным вопрос разработки и внедрения научно-обоснованных теоретических положений и методических рекомендаций, связанных с решением локальных производственных задач магистрально-фидерного обслуживания КТТС. Одной из локальных производственных задач в рамках функционирования КТТС является задача обоснования оптимального распределения контейнеропотоков, идущих в режиме таншипмента, между магистральными и фидерными частями судоходных линий.

Анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы. Информационные источники, относящиеся к вопросам контейнерных перевозок, можно условно разделить на несколько групп:

- работы, ориентированные на условия командно-административной системы управления [5,6,7];

- работы, освещающие специфику контейнерных перевозок и особенности эксплуатации специализированных судов [8,9];

- статьи, содержащие аналитические обзоры, статистические данные о состоянии и перспективах развития рынка контейнерных перевозок в Украине и в мире [10-15];

- работы, отражающие техническую сторону контейнерных перевозок, в частности: в [16] рассмотрен алгоритм выбора рациональных типов контейнеров в системе «контейнер-груз» с использованием метода экспертных оценок; в [17] представлены разработанные автором методы обоснования целесообразности стафирования контейнеров в порту и создания условий повышения эффективности контейнеризованного варианта перевозки груза с его предварительным стафированием в пункте перевалки; в [18] предложена методика оптимизации технико-эксплуатационных параметров судов, входящих в «океанско-фидерную ТТС», с помощью методов геометрического программирования; в [19] освещены методы управления контейнерным терминалом, описаны технологии радиочастотной идентификация контейнеров и тайм-слотирования;

- работы, посвящённые формированию загрузки контейнеровозов [20,21] и обоснованию целесообразности освоения контейнеропотоков в факультативных портах линии [22];

- работы, рассматривающие вопросы оптимизации доставки грузов в контейнерах различными видами транспорта, например: в [23] предложен подход к моделированию портового контейнерного терминала, основанный на представлении его в виде системы массового обслуживания, в которой происходит взаимодействие потока судов с потоком автомашин, выведена и решена система алгебраических уравнений относительно стационарных вероятностей состояний обслуживающей системы при ряде упрощающих предположений, вычислены основные показатели эффективности обслуживания; в [24] представлена вероятностная модель двухмодальной контейнерной системы доставки груза, построенная с помощью методов теории массового обслуживания и описывающая взаимодействие линейного контейнеровоза с потоками автомашин в пунктах погрузки и выгрузки;

- статьи, рассматривающие глобальные вопросы взаимоотношений между участниками рынка контейнерных перевозок, например, оптимизацию прибыли контейнерных перевозчиков – участников стратегических альянсов [25].

Кроме того, в современной транспортной периодике все чаще появляются публикации о внедрении и правовом регулировании системы траншипмента [26-30], без которой организация магистрально-фидерного обслуживания контейнеропотоков затруднительно.

На современном этапе развития КТТС в условиях, когда внедрение системы траншипмента в морских торговых портах Украины стало объективной реальностью, становится актуальным вопрос разработки и внедрения научно-обоснованных теоретических положений и методических рекомендаций по обоснованию распределения грузопотоков при магистрально-фидерном обслуживании КТТС.

Формулировка цели статьи. Целью статьи является повышение эффективности производственной деятельности субъектов рынка транспортных услуг, эксплуатирующих линейный тоннаж, путем разработки теоретических и методических положений по обоснованию оптимального распределения контейнеропотоков, идущих в режиме траншипмента, между магистральными и фидерными частями судоходных линий.

Изложение основного материала исследования с обоснованием полученных результатов. Учитывая особенности эксплуатации линейного тоннажа на магистрально-фидерных линиях, а также конструктивные и технико-эксплуатационные характеристики судов-контейнеровозов, содержательная постановка задачи оптимального распределения контейнеропотоков между судами, обслуживающими магистрально-фидерные сообщения, в общем виде формулируется следующим образом.

СК предлагает грузовладельцам множество линейных сервисов $L_i^{CK} = \{1, 2, \dots, L, \dots, L^{CK}\}$. Судоходная линия $L \in L_i^{CK}$ является магистрально-фидерной. Магистральная часть линии $L \in L_i^{CK}$ связывает порты-хабы отправления $i = \overline{1; I}$ и назначения $g = \overline{1; G}$. При этом, магистральное направление линии $L \in L_i^{CK}$ обслуживается крупнотоннажными контейнеровозами $b = \overline{1; B}$, которые имеют следующие характеристики:

а) расчетную величину грузоподъемности, которая соответствует условиям эксплуатации судна на данном направлении – $Dч_L^b$ ($L \in L_i^{CK}, b = \overline{1; B}$), т;

б) контейнеровместимость, включая:

- общее количество контейнеров, выраженное в 20`эквиваленте, которое судно способно принять на борт – $TEU_L^b (L = \overline{1; L^{CK}}, b = \overline{1; B})$;

- количество 20`контейнеров – $N_L^{b20'} (L = \overline{1; L^{CK}}, b = \overline{1; B})$;

- количество 40`контейнеров – $N_L^{b40'} (L = \overline{1; L^{CK}}, b = \overline{1; B})$.

В свою очередь, фидерная часть линии $L \in L_I^{CK}$ связывает магистральные порты назначения $g = \overline{1; G}$ океанских грузопотоков с фидерными портами $j = \overline{1; J}$, т. е. магистральные порты назначения $g = \overline{1; G}$ одновременно являются портами отправления контейнеропотоков на фидерные порты $j = \overline{1; J}$.

Перевозки грузов на фидерных направлениях составной линии $L \in L_I^{CK}$ между портами отправления $g = \overline{1; G}$ и назначения $j = \overline{1; J}$ осуществляются мало и средне тоннажными судами $b' = \overline{1; B'}$, которые имеют следующие характеристики:

- а) грузоподъемность – $Dч_L^{b'} (L \in L_I^{CK}, b' = \overline{1; B'})$, т;
- б) контейнеровместимость, включая:
 - общее количество TEU, которое фидерное судно способно принять на борт – $TEU_L^{b'} (L = \overline{1; L^{CK}}, b' = \overline{1; B'})$;
 - количество 20` контейнеров – $N_L^{b', 20'} (L = \overline{1; L^{CK}}, b' = \overline{1; B'})$;
 - количество 40` контейнеров – $N_L^{b', 40'} (L = \overline{1; L^{CK}}, b' = \overline{1; B'})$.

В соответствии с заявками грузовладельцев:

- из магистрального порта $i = \overline{1; I}$ должны быть отправлены контейнеры типоразмера $n \in N = \{10', 20', \dots, n, \dots, N'\}$ партии $r = \overline{1; R}$ в количестве $N_i^{r, n}$. Например: количество 20` контейнеров составляет $N_i^{r, 20'}$; 40` - $N_i^{r, 40'}$;

- далее в фидерный порт $j = \overline{1; J}$ должны быть доставлены контейнеры типоразмера $n \in N = \{10', 20', \dots, n, \dots, N'\}$ партии $r = \overline{1; R}$ в количестве $N_j^{r, n}$.

В каждом порту отправления ($i = \overline{1; I}, g = \overline{1; G}$) магистрально-фидерной линии агенту выделяется определенный эллотмент (allotment) или квота контейнеровместимости магистрального ($b = \overline{1; B}$) и, соответственно, фидерного ($b' = \overline{1; B'}$) судна в TEU с разбивкой по экспорту ($TEU_i^{\text{Э}^*b}, TEU_g^{\text{Э}^*b}$), импорту ($TEU_i^{\text{И}^*b}, TEU_g^{\text{И}^*b}$) и транзиту ($TEU_i^{\text{T}^*b}, TEU_g^{\text{T}^*b}$).

Собственная система магистрально-фидерного обслуживания линии $L \in L_I^{CK}$ предусматривает:

- перевозку контейнеров клиентов данной линии от магистраль-

ного порта отправления $i = \overline{1; I}$ до фидерного порта $j = \overline{1; J}$ через магистральный порт перевалки $g = \overline{1; G}$ по соответствующим заранее установленным тарифным ставкам: f_{igL}^{brn} ; $f_{gjL}^{b'm}$;

- предоставление услуг по коммерческому фидеру, т. е. освоение эпизодических контейнеропотоков только на фидерные порты по тарифной ставке, рассчитанной агентом на основе RGL - $f_{gjL(\kappa\phi)}^{b'm}$;

- предоставление услуг по магистральному и/или фидерному обслуживанию контейнеропотоков компаний-партнеров по линейному бизнесу на основе слот-чартерных соглашений по соответствующим, заранее установленным и согласованным с участниками договора тарифным ставкам: $f_{igL(c-ч)}^{brn}$; $f_{gjL(c-ч)}^{b'm}$.

Тарифная ставка за перевозку контейнера типоразмера $n \in N$ устанавливается в соответствии с широко применяемой в линейном судоходстве тарифной системой FAK (Freight all kind)¹. В связи с этим, уточним вводимые в задачу обозначения тарифных ставок с целью последующего разукрупнения целевой функции экономико-математической модели:

$f_{igL}^{br20'}$; $f_{igL}^{br40'}$ – тарифные ставки за перевозку 20` и, соответственно, 40` контейнера партии $r = \overline{1; R}$ между базовыми портами отправления $i = \overline{1; I}$ и назначения $g = \overline{1; G}$ составной линии L ;

$f_{gjL}^{b'r20'}$; $f_{gjL}^{b'r40'}$ – тарифные ставки за перевозку 20` и, соответственно, 40` контейнера партии $r = \overline{1; R}$ между базовым портом отправления $g = \overline{1; G}$ и фидерным портом назначения $j = \overline{1; J}$ составной линии L ;

$f_{gjL(\kappa\phi)}^{b'r20'}$; $f_{gjL(\kappa\phi)}^{b'r40'}$ – тарифные ставки, рассчитываемые агентом на основе RGL, за перевозку 20` и, соответственно, 40` контейнера партии $r = \overline{1; R}$ между базовым портом $g = \overline{1; G}$ и аутопортом $j = \overline{1; J}$ в случае предоставления услуг по коммерческому фидеру при освоении эпизодических грузопотоков;

$f_{igL(c-ч)}^{br20'}$; $f_{igL(c-ч)}^{br40'}$; $f_{gjL(c-ч)}^{b'r20'}$; $f_{gjL(c-ч)}^{b'r40'}$ – тарифные ставки, заранее установленные и согласованные с участниками слот-чартерных соглашений, за перевозку 20` и, соответственно, 40` контейнера партии $r = \overline{1; R}$ на магистральном и фидерном направлениях составной линии L .

¹ На большинстве океанских и региональных контейнерных линиях применяется тарифная система Freight all kind (FAK), в соответствии с которой тарифная ставка устанавливается отдельно за перевозку 20- и 40-футового контейнера, независимо от рода груза

В случае применения иной тарифной системы, например, CBR (Commodity box rate)², при решении данной задачи следует ввести в модель, предлагаемую ниже, дополнительный индекс, учитывающий род перевозимого в контейнере груза.

Необходимо распределить заданное количество контейнеров типоразмера $n \in N$ между судами, которые обслуживают магистрально-фидерные линии СК таким образом, чтобы максимизировать прибыль судовладельца. Учитывая сформулированную выше содержательную постановку задачи, ее экономико-математическая модель, может быть представлена в следующем виде. Целевая функция в общем виде представляет собой линейную функцию, максимизирующую прибыль судовладельца:

$$\begin{aligned}
 Z = & \sum_{L=1}^{LCK} \left[\sum_{i=1}^I \sum_{g=1}^G \sum_{b=1}^B \sum_{r=1}^R \sum_{n=1}^{N'} (x_{igL}^{brn} \cdot f_{igL}^{brn} \cdot Y_i^m) + \right. \\
 & \left. + \sum_{g=1}^G \sum_{j=1}^J \sum_{b'=1}^{B'} \sum_{r=1}^R \sum_{n=1}^{N'} (x_{gjL}^{b'rn} \cdot f_{gjL}^{b'rn} \cdot Y_j^m) \right] + \\
 & + \left[\sum_{g=1}^G \sum_{j=1}^J \sum_{b'=1}^{B'} \sum_{r=1}^R \sum_{n=1}^{N'} (x_{gjL(\kappa\phi)}^{b'rn} \cdot f_{gjL(\kappa\phi)}^{b'rn} \cdot Y_j^m) \right] + \\
 & + \left[\sum_{i=1}^I \sum_{g=1}^G \sum_{b=1}^B \sum_{r=1}^R \sum_{n=1}^{N'} (x_{igL(c-u)}^{brn} \cdot f_{igL(c-u)}^{brn} \cdot Y_i^m) \right] + \\
 & + \left[\sum_{g=1}^G \sum_{j=1}^J \sum_{b'=1}^{B'} \sum_{r=1}^R \sum_{n=1}^{N'} (x_{gjL(c-u)}^{b'rn} \cdot f_{gjL(c-u)}^{b'rn} \cdot Y_j^m) \right] - \\
 & - \sum_{L=1}^{LCK} \left[\sum_{i=1}^I \sum_{g=1}^G \sum_{b=1}^B \sum_{r=1}^R \sum_{n=1}^{N'} R_{igL}^b + \sum_{g=1}^G \sum_{j=1}^J \sum_{b'=1}^{B'} \sum_{r=1}^R \sum_{n=1}^{N'} R_{gjL}^{b'} \right] \rightarrow \max, (1)
 \end{aligned}$$

где x_{igL}^{brn} – количество контейнеров типоразмера n партии r , которые перевозятся судном b между магистральными портами i и g судоходной линии L ;

$x_{gjL}^{b'rn}$ – количество контейнеров типоразмера n партии r , которые перевозятся фидерным судном b' между магистральным g и фидерным j портами составной линии L ;

$x_{gjL(\kappa\phi)}^{b'rn}$ – количество контейнеров типоразмера n партии r , которые перевозятся судном b' при предоставлении линией L услуг коммерческого фидера;

² Commodity box rate (CBR) - контейнерный тариф с учетом рода груза. В этой тарифной системе все грузы разбиты на ограниченное количество классов (5 – 7), для каждого из которых установлена своя величина ставки за перевозку отдельно 20- и 40-футового контейнера

$x_{igL(c-ч)}^{brm}$; $x_{gjL(c-ч)}^{b'm}$ – количество контейнеров типоразмера n партии r , которые перевозятся на магистральном и, соответственно, фидерном направлениях в рамках слот-чартерных соглашений.

Y_i^m – параметр, который принимает следующие значения: 1, если контейнер типоразмера n партии r заявлен к перевозке в магистральном порту i ; 0, в противном случае;

Y_j^m – параметр, который принимает следующие значения: 1, если портом назначения контейнера типоразмера n партии r является фидерный порт j ; 0, в противном случае;

R_{igL}^b ; $R_{gjL}^{b'}$ – расходы судоходной линии L , при обслуживании соответственно магистрального и фидерного направлений. Статьи расходов, входящие в структуру данных показателей, определяются лицом, принимающим решение.

Целевая функция (1) также может быть записана в следующей интерпретации (2), с учетом наиболее типичных для КТТС грузопотоков, состоящих из 20` и 40` контейнеров:

$$\begin{aligned}
 Z = & \sum_{L=1}^{LCK} \left[\left[\sum_{i=1}^I \sum_{g=1}^G \sum_{b=1}^B \sum_{r=1}^R (x_{igL}^{br20'} \cdot f_{igL}^{br20'} \cdot Y_i^{r20'} + x_{igL}^{br40'} \cdot f_{igL}^{br40'} \cdot Y_i^{r40'}) + \right. \right. \\
 & \left. \left. + \sum_{g=1}^G \sum_{j=1}^J \sum_{b'=1}^{B'} \sum_{r=1}^R (x_{gjL}^{b'r20'} \cdot f_{gjL}^{b'r20'} \cdot Y_j^{r20'} + x_{gjL}^{b'r40'} \cdot f_{gjL}^{b'r40'} \cdot Y_j^{r40'}) \right] + \right. \\
 & \left. + \left[\sum_{g=1}^G \sum_{j=1}^J \sum_{b'=1}^{B'} \sum_{r=1}^R (x_{gjL(\kappa\phi)}^{b'r20'} \cdot f_{gjL(\kappa\phi)}^{b'r20'} \cdot Y_j^{r20'} + x_{gjL(\kappa\phi)}^{b'r40'} \cdot f_{gjL(\kappa\phi)}^{b'r40'} \cdot Y_j^{r40'}) \right] + \right. \\
 & \left. + \left[\sum_{i=1}^I \sum_{g=1}^G \sum_{b=1}^B \sum_{r=1}^R (x_{igL(c-ч)}^{br20'} \cdot f_{igL(c-ч)}^{br20'} \cdot Y_i^{r20'} + x_{igL(c-ч)}^{br40'} \cdot f_{igL(c-ч)}^{br40'} \cdot Y_i^{r40'}) \right] + \right. \\
 & \left. + \left[\sum_{g=1}^G \sum_{j=1}^J \sum_{b'=1}^{B'} \sum_{r=1}^R (x_{gjL(c-ч)}^{b'r20'} \cdot f_{gjL(c-ч)}^{b'r20'} \cdot Y_j^{r20'} + x_{gjL(c-ч)}^{b'r40'} \cdot f_{gjL(c-ч)}^{b'r40'} \cdot Y_j^{r40'}) \right] \right] - \\
 & - \sum_{L=1}^{LCK} \left[\left[\sum_{i=1}^I \sum_{g=1}^G \sum_{b=1}^B \sum_{r=1}^R \sum_{n=10'}^{N'} R_{igL}^b + \sum_{g=1}^G \sum_{j=1}^J \sum_{b'=1}^{B'} \sum_{r=1}^R \sum_{n=10'}^{N'} R_{gjL}^{b'} \right] \right] \rightarrow \max, \quad (2)
 \end{aligned}$$

где $x_{igL}^{br20'}$; $x_{igL}^{br40'}$ – количество 20` и 40` контейнеров партии r , соответственно, которые перевозятся судном b между i -м и g -м магистральными портами линии L ;

$x_{gjL}^{b'r20'}$; $x_{gjL}^{b'r40'}$ – количество 20` и 40` контейнеров партии r , соответственно, которые перевозятся фидерным судном b' между g -м магистральным и j -м фидерным портами составной линии L ;

$Y_i^{r20'}$; $Y_i^{r40'}$ – параметри, которые принимают следующие значения: 1, если 20` и 40` контейнеры, соответственно, партии r заявлены к перевозке в магистральном порту i ; 0, в противном случае;

$Y_j^{r20'}$; $Y_j^{r40'}$ – параметри, которые принимают следующие значения: 1, если портом назначения 20` и 40` контейнеров, соответственно, партии r является фидерный порт j ; 0, в противном случае;

$X_{g|L(\kappa\phi)}^{b'r20'}$; $X_{g|L(\kappa\phi)}^{b'r40'}$ – количество 20` и 40` контейнеров партии r , соответственно, которые перевозятся фидерным судном b' между магистральным g и фидерным j портами составной линии L , предоставляющей услуги по коммерческому фидеру;

$X_{igL(c-u)}^{br20'}$; $X_{igL(c-u)}^{br40'}$ – количество 20` и 40` контейнеров партии r , соответственно, которые перевозятся судном b между магистральными портами i и g линии L , предоставляющей услуги по магистральному обслуживанию контейнеропотоков компаний-партнеров по линейному бизнесу на основе слот-чартерных соглашений между ними;

$X_{g|L(c-u)}^{b'r20'}$; $X_{g|L(c-u)}^{b'r40'}$ – количество 20` и 40` контейнеров партии r , соответственно, которые перевозятся судном b' между магистральным портом g и аутпортом j линии L , предоставляющей услуги по фидерному обслуживанию контейнеропотоков компаний-партнеров на основе слот-чартерных соглашений между ними.

Для реализации сформулированной выше задачи необходимо последовательно формализовать ее ограничительные условия.

Количество контейнеров, погруженных в каждом порту линии, не должно превышать значения эллотмента (allotment), выделенного агенту в данном порту, с разбивкой по экспорту, импорту и транзиту. В связи с этим в экономико-математическую модель вводятся ограничения (3)-(8):

для магистрального направления:

по экспорту

$$\sum_{L=1}^{LCK} \left[\sum_{g=1}^G \sum_{r=1}^R \sum_{n=10'}^{N'} \left(X_{igL}^{brn} \cdot \Theta_i^m \cdot K_i^{\Theta^*b} \right) + \left(X_{igL(c-u)}^{brn} \cdot \Theta_i^m \cdot K_i^{\Theta^*b} \right) \right] \leq TEU_i^{\Theta^*b} \quad (3)$$

или

$$\sum_{L=1}^{LCK} \left[\sum_{g=1}^G \sum_{r=1}^R \sum_{n=10'}^{N'} \Theta_i^m \cdot K_i^{\Theta^*b} \cdot \left(X_{igL}^{brn} + X_{igL(c-u)}^{brn} \right) \right] \leq TEU_i^{\Theta^*b}$$

$$(b = \overline{1, B}; i = \overline{1, I});$$

по импорту

$$\sum_{L=1}^{LCK} \left[\sum_{g=1}^G \sum_{r=1}^R \sum_{n=10'}^{N'} \left(x_{igL}^{brn} \cdot I_i^m \cdot K_i^{H*b} \right) + \left(x_{igL(c-q)}^{brn} \cdot I_i^m \cdot K_i^{H*b} \right) \right] \leq TEU_i^{H*b} \quad (4)$$

или

$$\sum_{L=1}^{LCK} \left[\sum_{g=1}^G \sum_{r=1}^R \sum_{n=10'}^{N'} I_i^m \cdot K_i^{H*b} \cdot \left(x_{igL}^{brn} + x_{igL(c-q)}^{brn} \right) \right] \leq TEU_i^{H*b}$$

$$(b = \overline{1, B}; i = \overline{1, I});$$

по транзиту

$$\sum_{L=1}^{LCK} \left[\sum_{g=1}^G \sum_{r=1}^R \sum_{n=10'}^{N'} \left(x_{igL}^{brn} \cdot T_i^m \cdot K_i^{T*b} \right) + \left(x_{igL(c-q)}^{brn} \cdot T_i^m \cdot K_i^{T*b} \right) \right] \leq TEU_i^{T*b} \quad (5)$$

или

$$\sum_{L=1}^{LCK} \left[\sum_{g=1}^G \sum_{r=1}^R \sum_{n=10'}^{N'} T_i^m \cdot K_i^{T*b} \cdot \left(x_{igL}^{brn} + x_{igL(c-q)}^{brn} \right) \right] \leq TEU_i^{T*b}$$

$$(b = \overline{1, B}; i = \overline{1, I});$$

для фидерного направления:

по экспорту

$$\sum_{L=1}^{LCK} \left[\sum_{j=1}^J \sum_{r=1}^R \sum_{n=10'}^{N'} \left(x_{gjL}^{b'm} \cdot \mathcal{E}_g^m \cdot K_g^{\mathcal{E}*b'} \right) + \left(x_{gjL(\kappa\phi)}^{b'm} \cdot \mathcal{E}_g^m \cdot K_g^{\mathcal{E}*b'} \right) + \right. \\ \left. + \left(x_{gjL(c-q)}^{b'm} \cdot \mathcal{E}_g^m \cdot K_g^{\mathcal{E}*b'} \right) \right] \leq TEU_g^{\mathcal{E}*b'} \quad (6)$$

или

$$\sum_{L=1}^{LCK} \left[\sum_{j=1}^J \sum_{r=1}^R \sum_{n=10'}^{N'} \mathcal{E}_g^m \cdot K_g^{\mathcal{E}*b'} \cdot \left(x_{gjL}^{b'm} + x_{gjL(\kappa\phi)}^{b'm} + x_{gjL(c-q)}^{b'm} \right) \right] \leq TEU_g^{\mathcal{E}*b'}$$

$$(b' = \overline{1, B'}; g = \overline{1, G});$$

по импорту

$$\sum_{L=1}^{LCK} \left[\sum_{j=1}^J \sum_{r=1}^R \sum_{n=10'}^{N'} \left(x_{gjL}^{b'm} \cdot I_g^m \cdot K_g^{H*b'} \right) + \left(x_{gjL(\kappa\phi)}^{b'm} \cdot I_g^m \cdot K_g^{H*b'} \right) + \right. \\ \left. + \left(x_{gjL(c-q)}^{b'm} \cdot I_g^m \cdot K_g^{H*b'} \right) \right] \leq TEU_g^{H*b'} \quad (7)$$

ИЛИ

$$\sum_{L=1}^{LCK} \left[\sum_{j=1}^J \sum_{r=1}^R \sum_{n=10'}^{N'} I_g^m \cdot K_g^{H*b'} \cdot (x_{gjL}^{b'm} + x_{gjL(\kappa\phi)}^{b'm} + x_{gjL(c-\psi)}^{b'm}) \right] \leq TEU_g^{H*b'}$$

$$(b' = \overline{1, B'}; g = \overline{1, G});$$

по транзиту

$$\sum_{L=1}^{LCK} \left[\sum_{j=1}^J \sum_{r=1}^R \sum_{n=10'}^{N'} (x_{gjL}^{b'm} \cdot T_g^m \cdot K_g^{T*b'}) + (x_{gjL(\kappa\phi)}^{b'm} \cdot T_g^m \cdot K_g^{T*b'}) + \right. \\ \left. + (x_{gjL(c-\psi)}^{b'm} \cdot T_g^m \cdot K_g^{T*b'}) \right] \leq TEU_g^{T*b'} \quad (8)$$

ИЛИ

$$\sum_{L=1}^{LCK} \left[\sum_{j=1}^J \sum_{r=1}^R \sum_{n=10'}^{N'} T_g^m \cdot K_g^{T*b'} \cdot (x_{gjL}^{b'm} + x_{gjL(\kappa\phi)}^{b'm} + x_{gjL(c-\psi)}^{b'm}) \right] \leq TEU_g^{T*b'}$$

$$(b' = \overline{1, B'}; g = \overline{1, G}),$$

где $\mathcal{E}_i^m, I_i^m, T_i^m$ ($\mathcal{E}_g^m, I_g^m, T_g^m$) – параметры, которые принимают следующие значения: 1, если контейнер типоразмера n партии r , забронированный для перевозки в магистральном направлении из порта i (в фидерном направлении из порта g), относится, соответственно, к экспортному, импортному или транзитному грузопотоку; 0, в противном случае;

$K_i^{\mathcal{E}*b}, K_i^{H*b}, K_i^{T*b}$ ($K_g^{\mathcal{E}*b}, K_g^{H*b}, K_g^{T*b}$) – параметры, которые принимают следующие значения: 1, если судно b (b') в соответствии с соглашением линейного объединения (конференции) может осваивать, соответственно, экспортный, импортный и/или транзитный грузопоток в магистральном (фидерном) направлении; 0, в противном случае;

Группа ограничений (9)–(11) по вывозу всех грузов, забукированных и забронированных к погрузке на судно в магистральном порту i составной линии, представляется следующим образом:

в общем виде

$$\sum_{L=1}^{LCK} \left[\sum_{g=1}^G \sum_{b=1}^B (x_{igL}^{brn} \cdot Y_i^m) + (x_{igL(c-\psi)}^{brn} \cdot Y_i^m) \right] = N_i^m \quad (9)$$

или
$$\sum_{L=1}^{LCK} \left[\sum_{g=1}^G \sum_{b=1}^B Y_i^m \cdot (x_{igL}^{brn} + x_{igL(c-\psi)}^{brn}) \right] = N_i^m \quad (n \in N; r = \overline{1, R}; i = \overline{1, I}).$$

по количеству $20'$ контейнеров

$$\sum_{L=1}^{LCK} \left[\sum_{g=1}^G \sum_{b=1}^B (x_{igL}^{br20'} \cdot Y_i^{r20'} \cdot Z^{20'}) + (x_{igL(c-\psi)}^{br20'} \cdot Y_i^{r20'} \cdot Z^{20'}) \right] = N_i^{r20'}, \quad (10)$$

$$\text{или } \sum_{L=1}^{LCK} \left[\sum_{g=1}^G \sum_{b=1}^B Y_i^{r20'} \cdot Z^{20'} \cdot (x_{igL}^{br20'} + x_{igL(c-u)}^{br20'}) \right] = N_i^{r20'} ;$$

по количеству 40`контейнеров

$$\sum_{L=1}^{LCK} \left[\sum_{g=1}^G \sum_{b=1}^B (x_{igL}^{br40'} \cdot Y_i^{r40'} \cdot Z^{40'}) + (x_{igL(c-u)}^{br40'} \cdot Y_i^{r40'} \cdot Z^{40'}) \right] = N_i^{r40'} , \quad (11)$$

$$\text{или } \sum_{L=1}^{LCK} \left[\sum_{g=1}^G \sum_{b=1}^B Y_i^{r40'} \cdot Z^{40'} \cdot (x_{igL}^{br40'} + x_{igL(c-u)}^{br40'}) \right] = N_i^{r40'} .$$

Группа ограничений (12)–(14) по удовлетворению спроса в фирменном порту j составной линии:

в общем виде

$$\sum_{L=1}^{LCK} \left[\sum_{g=1}^G \sum_{b'=1}^{B'} (x_{gjL}^{b'm} \cdot Y_j^m) + (x_{gjL(\kappa\phi)}^{b'm} \cdot Y_j^m) + (x_{gjL(c-u)}^{b'm} \cdot Y_j^m) \right] = N_j^m \quad (12)$$

или

$$\sum_{L=1}^{LCK} \left[\sum_{g=1}^G \sum_{b'=1}^{B'} Y_j^m \cdot (x_{gjL}^{b'm} + x_{gjL(\kappa\phi)}^{b'm} + x_{gjL(c-u)}^{b'm}) \right] = N_j^m$$

$$(n \in N ; r = \overline{1, R} ; j = \overline{1, J}) ;$$

по количеству 20`контейнеров

$$\sum_{L=1}^{LCK} \left[\sum_{g=1}^G \sum_{b'=1}^{B'} (x_{gjL}^{b'r20'} \cdot Y_j^{r20'} \cdot Z^{20'}) + (x_{gjL(\kappa\phi)}^{b'r20'} \cdot Y_j^{r20'} \cdot Z^{20'}) + (x_{gjL(c-u)}^{b'r20'} \cdot Y_j^{r20'} \cdot Z^{20'}) \right] = N_j^{r20'} \quad (13)$$

$$\text{или } \sum_{L=1}^{LCK} \left[\sum_{g=1}^G \sum_{b'=1}^{B'} Y_j^{r20'} \cdot Z^{20'} \cdot (x_{gjL}^{b'r20'} + x_{gjL(\kappa\phi)}^{b'r20'} + x_{gjL(c-u)}^{b'r20'}) \right] = N_j^{r20'} ;$$

по количеству 40`контейнеров

$$\sum_{L=1}^{LCK} \left[\sum_{g=1}^G \sum_{b'=1}^{B'} (x_{gjL}^{b'r40'} \cdot Y_j^{r40'} \cdot Z^{40'}) + (x_{gjL(\kappa\phi)}^{b'r40'} \cdot Y_j^{r40'} \cdot Z^{40'}) + (x_{gjL(c-u)}^{b'r40'} \cdot Y_j^{r40'} \cdot Z^{40'}) \right] = N_j^{r40'} \quad (14)$$

или
$$\sum_{L=1}^{L^{CK}} \left[\sum_{g=1}^G \sum_{b'=1}^{B'} Y_j^{r40'} \cdot Z^{40'} \cdot (x_{gjL}^{b'r40'} + x_{gjL(\kappa\phi)}^{b'r40'} + x_{gjL(c-ч)}^{b'r40'}) \right] = N_j^{r40'}$$

Группа ограничений (15)-(17) по контейнеровместимости судов, обслуживающих магистральную часть составной линии:

по количеству *TEU*

$$\sum_{i=1}^I \sum_{g=1}^G \sum_{r=1}^R \sum_{n=10'}^{N'} (x_{igL}^{brn} \cdot Y_i^m \cdot k_n^{TEU}) + (x_{igL(c-ч)}^{brn} \cdot Y_i^m \cdot k_n^{TEU}) \leq TEU_L^b \quad (15)$$

$$(L = \overline{1, L^{CK}}; b = \overline{1, B}),$$

где k_n^{TEU} – коэффициент перевода фактического количества контейнеров типоразмера $n \in N$ в 20`эквивалент (*TEU*);

по количеству 20`контейнеров

$$\sum_{i=1}^I \sum_{g=1}^G \sum_{r=1}^R (x_{igL}^{brn} \cdot Y_i^{r20'} \cdot Z^{20'}) + (x_{igL(c-ч)}^{brn} \cdot Y_i^{r20'} \cdot Z^{20'}) \leq N_L^{b20'} \quad (16)$$

или

$$\sum_{i=1}^I \sum_{g=1}^G \sum_{r=1}^R Y_i^{r20'} \cdot Z^{20'} \cdot (x_{igL}^{brn} + x_{igL(c-ч)}^{brn}) \leq N_L^{b20'}$$

$$(L = \overline{1, L^{CK}}, b = \overline{1, B});$$

по количеству 40`контейнеров

$$\sum_{i=1}^I \sum_{g=1}^G \sum_{r=1}^R (x_{igL}^{brn} \cdot Y_i^{r40'} \cdot Z^{40'}) + (x_{igL(c-ч)}^{brn} \cdot Y_i^{r40'} \cdot Z^{40'}) \leq N_L^{b40'} \quad (17)$$

или

$$\sum_{i=1}^I \sum_{g=1}^G \sum_{r=1}^R Y_i^{r40'} \cdot Z^{40'} \cdot (x_{igL}^{brn} + x_{igL(c-ч)}^{brn}) \leq N_L^{b40'} \quad (L = \overline{1, L^{CK}}; b = \overline{1, B}),$$

где $Z^{20'}$; $Z^{40'}$ – параметры, которые определяются следующим образом: 1, если грузовое место является 20` и 40` контейнером, соответственно; 0 – в противном случае.

Группа ограничений (18)-(20) по контейнеровместимости судов, обслуживающих фидерную часть составной линии:

по количеству *TEU*

$$\begin{aligned} & \sum_{g=1}^G \sum_{j=1}^J \sum_{r=1}^R \sum_{n=10'}^{N'} (x_{gjL}^{b'rn} \cdot Y_j^m \cdot k_n^{TEU}) + (x_{gjL(\kappa\phi)}^{b'rn} \cdot Y_j^m \cdot k_n^{TEU}) + \\ & + (x_{gjL(c-ч)}^{b'rn} \cdot Y_j^m \cdot k_n^{TEU}) \leq TEU_L^b, \end{aligned} \quad (18)$$

ИЛИ

$$\sum_{g=1}^G \sum_{j=1}^J \sum_{r=1}^R \sum_{n=10'}^{N'} Y_j^{rn} \cdot k_n^{TEU} \cdot (x_{gjL}^{b'rn} + x_{gjL(\kappa\phi)}^{b'rn} + x_{gjL(c-ч)}^{b'rn}) \leq TEU_L^{b'}$$

$$(L = \overline{1, L^{CK}}; b' = \overline{1, B'});$$

по количеству 20`контейнеров

$$\sum_{g=1}^G \sum_{j=1}^J \sum_{r=1}^R (x_{gjL}^{b'r20'} \cdot Y_j^{r20'} \cdot Z^{20'}) + (x_{gjL(\kappa\phi)}^{b'r20'} \cdot Y_j^{r20'} \cdot Z^{20'}) + (x_{gjL(c-ч)}^{b'r20'} \cdot Y_j^{r20'} \cdot Z^{20'}) \leq N_L^{b'20'}, \quad (19)$$

ИЛИ $\sum_{g=1}^G \sum_{j=1}^J \sum_{r=1}^R Y_j^{r20'} \cdot Z^{20'} \cdot (x_{gjL}^{b'r20'} + x_{gjL(\kappa\phi)}^{b'r20'} + x_{gjL(c-ч)}^{b'r20'}) \leq N_L^{b'20'};$

по количеству 40`контейнеров

$$\sum_{g=1}^G \sum_{j=1}^J \sum_{r=1}^R (x_{gjL}^{b'r40'} \cdot Y_j^{r40'} \cdot Z^{40'}) + (x_{gjL(\kappa\phi)}^{b'r40'} \cdot Y_j^{r40'} \cdot Z^{40'}) + (x_{gjL(c-ч)}^{b'r40'} \cdot Y_j^{r40'} \cdot Z^{40'}) \leq N_L^{b'40'}, \quad (20)$$

ИЛИ $\sum_{g=1}^G \sum_{j=1}^J \sum_{r=1}^R Y_j^{r40'} \cdot Z^{40'} \cdot (x_{gjL}^{b'r40'} + x_{gjL(\kappa\phi)}^{b'r40'} + x_{gjL(c-ч)}^{b'r40'}) \leq N_L^{b'40'}.$

Ограничение (21) по грузоподъёмности судов, обслуживающих магистральную часть составной линии

$$\sum_{i=1}^I \sum_{g=1}^G \sum_{r=1}^R \sum_{n=10'}^{N'} (x_{igL}^{brn} \cdot Y_i^{rn} \cdot q_{igL}^{brn}) + (x_{igL(c-ч)}^{brn} \cdot Y_i^{rn} \cdot q_{igL}^{brn}) \leq Dq_L^b \quad (21)$$

ИЛИ

$$\sum_{i=1}^I \sum_{g=1}^G \sum_{r=1}^R \sum_{n=10'}^{N'} Y_i^{rn} \cdot q_{igL}^{brn} \cdot (x_{igL}^{brn} + x_{igL(c-ч)}^{brn}) \leq Dq_L^b (L = \overline{1, L^{CK}}; b = \overline{1, B}).$$

Ограничение (22) по грузоподъёмности судов, обслуживающих фидерную часть составной линии

$$\sum_{g=1}^G \sum_{j=1}^J \sum_{r=1}^R \sum_{n=10'}^{N'} (x_{gjL}^{b'rn} \cdot Y_j^{rn} \cdot q_{gjL}^{b'rn}) + (x_{gjL(\kappa\phi)}^{b'rn} \cdot Y_j^{rn} \cdot q_{gjL}^{b'rn}) + (x_{gjL(c-ч)}^{b'rn} \cdot Y_j^{rn} \cdot q_{gjL}^{b'rn}) \leq Dq_L^{b'}, \quad (22)$$

или

$$\sum_{g=1}^G \sum_{j=1}^J \sum_{r=1}^R \sum_{n=10'}^{N'} Y_j^{rn} \cdot q_{gjl}^{b'm} \cdot (x_{gjl}^{b'm} + x_{gjl(\kappa\phi)}^{b'm} + x_{gjl(c-u)}^{b'm}) \leq Dq_L^{b'}$$

$$(L = \overline{1, L^{CK}}; b' = \overline{1, B'}),$$

где $q_{gjl}^{b'm}$, $q_{gjl}^{b'm}$ – средневзвешенная масса контейнеров типоразмера n партии r , которые перевозятся судами b и b' на магистральном ($i-g$) и, соответственно, фидерном ($g-j$) направлениях судоходной линии L .

Ограничение (23) по использованию площадей контейнерного терминала по прибытию контейнеров, доставленных судами линии L в магистральный порт назначения g

$$\sum_{i=1}^I \sum_{b=1}^B \sum_{r=1}^R \sum_{n=10'}^{N'} (x_{igL}^{brn} \cdot Y_i^{rn}) + (x_{igL(c-u)}^{brn} \cdot Y_i^{rn}) \leq d_{gL}^{TEU} \quad (23)$$

или
$$\sum_{i=1}^I \sum_{b=1}^B \sum_{r=1}^R \sum_{n=10'}^{N'} Y_i^{rn} \cdot (x_{igL}^{brn} + x_{igL(c-u)}^{brn}) \leq d_{gL}^{TEU} \quad (L = \overline{1, L^{CK}}; g = \overline{1, G}).$$

Ограничение (24) по использованию площадей контейнерного терминала по отправлению контейнеров, идущих в режиме траншипмента из магистрального в фидерный порт назначения

$$\sum_{j=1}^J \sum_{b=1}^{B'} \sum_{r=1}^R \sum_{n=10'}^{N'} (x_{gjl}^{b'm} \cdot Y_j^{rn}) + (x_{gjl(\kappa\phi)}^{b'm} \cdot Y_j^{rn}) + (x_{gjl(c-u)}^{b'm} \cdot Y_j^{rn}) \leq d_{gL}^{TEU} \quad (24)$$

или

$$\sum_{j=1}^J \sum_{b=1}^{B'} \sum_{r=1}^R \sum_{n=10'}^{N'} Y_j^{rn} \cdot (x_{gjl}^{b'm} + x_{gjl(\kappa\phi)}^{b'm} + x_{gjl(c-u)}^{b'm}) \leq d_{gL}^{TEU}$$

$$(L = \overline{1, L^{CK}}; g = \overline{1, G}),$$

где d_{gL}^{TEU} – пропускная способность контейнерного терминала в магистральном порту g , обслуживаемом линией L , TEU .

Ограничения (25)–(31) накладываются на параметры управления экономико-математической модели.

Условия неотрицательности переменных (25), (26)

$$x_{igL}^{brn} \geq 0; x_{igL(c-u)}^{brn} \geq 0 \quad (25)$$

$$(n \in N; r = \overline{1, R}; b = \overline{1, B}; L \in L_i^{CK}; i = \overline{1, I}; g = \overline{1, G});$$

$$x_{\overline{g}j\overline{L}}^{b'rn} \geq 0; x_{\overline{g}j\overline{L}(k\phi)}^{b'rn} \geq 0; x_{\overline{g}j\overline{L}(c-ч)}^{b'rn} \geq 0 \quad (26)$$

$$(n \in N; r = \overline{1, R}; b' = \overline{1, B'}; L \in L_l^{CK}; g = \overline{1, G}; j = \overline{1, J}).$$

Условия целочисленности переменных (27), (28)

$$x_{i\overline{g}L}^{brn} = 1, 2, \dots, K; x_{i\overline{g}L(c-ч)}^{brn} = 1, 2, \dots, K \quad (27)$$

$$(n \in N; r = \overline{1, R}; b = \overline{1, B}; L \in L_l^{CK}; i = \overline{1, I}; g = \overline{1, G});$$

$$x_{\overline{g}j\overline{L}}^{b'rn} = 1, 2, \dots, K; x_{\overline{g}j\overline{L}(k\phi)}^{b'rn} = 1, 2, \dots, K; x_{\overline{g}j\overline{L}(c-ч)}^{b'rn} = 1, 2, \dots, K \quad (28)$$

$$(n \in N; r = \overline{1, R}; b' = \overline{1, B'}; L \in L_l^{CK}; g = \overline{1, G}; j = \overline{1, J}).$$

Ограничение (29) характеризует недоиспользование площадей контейнерных терминалов в портах перевалки

$$x_{\overline{g}g\overline{L}}^{brn} \geq 0 \quad (29)$$

$$(n \in N; r = \overline{1, R}; b = \overline{1, B}; L \in L_l^{CK}; g = \overline{1, G}).$$

Условие (30) отражает связи каждого контейнерного терминала с самим собой. Поскольку эти связи не могут иметь место на практике, то и переменная, которая обуславливает эти связи, должна принимать значение 0

$$x_{\overline{g}g\overline{L}}^{brn} = 0 \quad (30)$$

$$(n \in N; r = \overline{1, R}; b = \overline{1, B}; L \in L_l^{CK}; g \neq \overline{1, G}; g = \overline{1, G}).$$

Условия (31) запрещают прямую доставку контейнеров судами b из магистрального порта отправления i в фидерный порт j линии L

$$x_{i\overline{g}L}^{brn} = 0; x_{i\overline{g}L(c-ч)}^{brn} = 0 \quad (31)$$

$$(n \in N; r = \overline{1, R}; b = \overline{1, B}; L \in L_l^{CK}; i = \overline{1, I}; j = \overline{1, J}).$$

Выводы

1. В процессе проведенного исследования сформулирована содержательная постановка задачи обоснования оптимального распределения контейнеропотоков между судами, привлеченными к магистрально-фидерному обслуживанию грузопотоков в контейнерной ТТС, разработана

её экономико-математическая модель (1)-(31), требующая целочисленного решения.

2. Разработанная экономико-математическая модель (1)-(31), относится к классу распределительных задач линейного программирования со смешанными условиями.

3. Представленную экономико-математическую модель (1)-(31) следует реализовывать отдельно для прямого и обратного направлений работы линейных судов. При этом следует учитывать, что при решении задачи для обратного направления пунктами отправления становятся фидерные порты, а конечными пунктами назначения – магистральные порты;

4. Экономико-математическая модель (1)-(31) применима:

- для всех вариантов маятниковых маршрутов (табл. 1) движения магистральных и фидерных судов;

- для кругового развозочного, сборочного и варианта 3.1 сборно-развозочно маршрутов (табл. 1). Для вариантов 3.2 и 3.3 сборно-развозочного маршрутов требуется модификация экономико-математической модели (1)-(31);

- для распределения грузопотоков между судами одной судоходной компании;

- для распределения грузопотоков между судами компаний, входящих в состав объединения (конференции, альянса). При этом введение в экономико-математическую модель индекса, отражающего компанию, входящую в состав объединения, не является обязательным. Необходимым и достаточным условием при решении подобной задачи является наличие индекса, обозначающего конкретное судно-контейнеровоз, юридическая принадлежность которого известна соответствующим лицам и не требует их уточнения, обеспечивая строгую конфиденциальность информации. Кроме того необходимо условие, отражающее долю участия судна каждой компании в общем объеме перевозок в соответствии с соглашением, заключённым с объединением. Данное условие описывают ограничения (3)-(8).

5. Экономико-математическая модель (1)-(31) имеет прикладное значение для служб эксплуатации судоходных компаний, линейных агентов, логистических провайдеров и мультимодальных транспортных операторов в части принятия управленческих решений на этапах планирования и оперативного регулирования трансокеанских и фидерных перевозок грузов.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кириллов Ю. И. Обоснование классификационной принадлежности морских грузовых линий / Ю.И. Кириллов // *Проблемы техники: Научно-производственный журнал*. – Одеса: ОНМУ, 2010. – Вып. 1. – С. 69-77.

2. Васьков Ю. Траншипмент играет важную роль в борьбе за транзит [Электронный ресурс] / Ю. Васьков // Центр транш-портных стратегий. – Режим доступа: <http://cfts.org.ua/opinions/40833>
3. Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо спрощення митного оформлення транзитних вантажів : Закон України від 01.06.2010 р. // Відомості Верховної Ради України. – Офіц. вид. – К.: Парлам. вид-во, 2010. – № 30. – Ст. 400.
4. Венгрук Анатолий. Траншипмент ускоряет перевозки товаров [Электронный ресурс] : обзор результатов пятого международного «Черноморского контейнерного саммита 2011» / Анатолий Венгрук // Митна справа, – 2011. – № 5 (77). – С. 56-61. – Режим доступа: http://www.nbu.gov.ua/portal/socgum/ms/2011_5/56.pdf.
5. Контейнерная транспортная система / Под ред. А.Т. Дерибаса. – М.: Транспорт, 1974. – 432 с.
6. Клименко К.Н. Контейнерные и пакетные перевозки: организация и технология перевозок на морском транспорте / К.Н. Клименко. – М.: Транспорт, 1978. – 192 с.
7. Козлов Ю.Т. Автоматизация управления контейнерными перевозками / Ю.Т. Козлов. – М.: Транспорт, 1984. – 191 с.
8. Саркисов С.В. Контейнерные перевозки в капиталистических странах / С.В. Саркисов. – М.: Транспорт, 1991. – 161 с.
9. Снопков В.И. Эксплуатация специализированных судов / В.И. Снопков. – М.: Транспорт, 1987. – 287 с.
10. Савельева И.В. Перспективы развития контейнерного производства в Украине / И.В. Савельева // Развитие методів управління та господарювання на транспорті: Зб. наук. праць. – Одеса: ОДМУ, 2001. – Вип. 10. – С. 113-129.
11. Шибаетов О.Г. Морська індустрія й глобальна економічна криза / О.Г. Шибаетов, Ю.І. Кириллов / Зб. наук. праць по матеріалам міжнародної науково-технічної конференції кафедр Української державної академії та спеціалістів залізничного транспорту і підприємств. – Харків: УкрДАЗТу, 2009. – С. 113-129.
12. Сахно А.А. Рынок контейнерных перевозок в условиях экономического кризиса / А.А. Сахно // Развитие методів управління та господарювання на транспорті: Зб. наук. праць. – Одеса: ОНМУ, 2010. – Вип. 31. – С. 214-227.
13. Кириллов Ю.И. Состояние рынка контейнерного тоннажа / Ю.И. Кириллов // Сб. научн. трудов по материалам международной научно-практической конференции «Современные направления теоретических и прикладных исследований 2011». Том 1. Транспорт. – Одесса: Черноморье, 2011. – С. 63-65.

14. Галаевская Д.В. Роль контейнерных перевозок в развитии портовой деятельности Украины / Д.В. Галаевская // Развитие методів управління та господарювання на транспорті: Зб. наук. праць. – Одеса: ОНМУ, 2011. – Вип. 37. – С. 35-46.
15. Савельева И.В. Эконометрические модели прогнозирования контейнерных перевозок через порты Украины / И.В. Савельева // Развитие методів управління та господарювання на транспорті: Зб. наук. праць. – Одеса: ОНМУ, 2010. – Вип. 32. – С. 5-24.
16. Базовой Н.Г. Экспертная оценка приоритетности типа контейнера в системе «контейнер-груз» / Н.Г. Базовой // Методи та засоби управління розвитком транспортних систем: Зб. наук. праць. – Одеса: ОНМУ, 2008. – Вип. 14. – С. 208-220.
17. Макушев П.А. Совершенствование организации стафирования контейнеров в порту / П.А. Макушев // Методи та засоби управління розвитком транспортних систем: Зб. наук. праць. – Одеса: ОНМУ, 2008. – Вип. 14. – С. 196-207.
18. Курлянд А.М. Метод оптимизации параметров судов, обеспечивающих океанско-фидерную систему доставки груза / А.М. Курлянд, М.Я. Постан, И.В. Савельева // Методи та засоби управління розвитком транспортних систем: Зб. наук. праць. – Одеса: ОНМУ, 2010. – Вип. 16. – С. 7-17.
19. Щербина В.В. Вдосконалення методів управління контейнерним терміналом / В.В. Щербина // Развитие методів управління та господарювання на транспорті: Зб. наук. праць. – Одеса: ОНМУ, 2011. – Вип. 37. – С. 24-34.
20. Шибяев А.Г. Моделирование загрузки контейнеровоза на линии / А.Г. Шибяев, Ю.И. Кириллов // Вісник Одеського національного морського університету: Зб. наук. праць. – Одеса: ОНМУ, 2008. – Вип. 25. – С. 134-145.
21. Кириллов Ю.И. Оптимизация загрузки контейнеровоза на линии / Ю.И. Кириллов // Сб. научн. трудов по материалам международной научно-практической конференции «Современные проблемы и пути их решения науке, транспорте, производстве и образовании, 2008». Том 1. Транспорт, Туризм и рекреация. – Одесса: Черноморье, 2008. – С. 10-15.
22. Кириллов Ю.И. Целесообразность освоения контейнерных грузопотоков в факультативных портах линии / Ю.И. Кириллов, Е.В. Кириллова // Судовождение: Сб. научн. трудов. – Одесса: ИздатИнформ, 2007. – Вип. 14. – С. 44-50.
23. Савельева И.В. Об одной вероятностной модели функционирования контейнерного терминала / И.В. Савельева // Методи та засоби управління розвитком транспортних систем: Зб. наук. праць. – Одеса: ОНМУ, 2011. – Вип. 17. – С. 160-174.

24. *Постан М.Я. Моделирование работы двухмодальной контейнерной системы доставки груза в условиях неопределенности и риска / М.Я. Постан, И.В. Савельева // Методи та засоби управління розвитком транспортних систем: Зб. наук. праць. – Одеса: ОНМУ, 2012. – Вип. 19. – С. 55-73.*
25. *Холоденко А.М. Оптимизация прибыли контейнерных перевозчиков – участников глобальных стратегических альянсов / А.М. Холоденко, В.В. Щербина // Методи та засоби управління розвитком транспортних систем: Зб. наук. праць. – Одеса: ОНМУ, 2006. – Вип. 11. С. 120-130.*
26. *Кравченко О.А. Вибір пріоритетних напрямків організаційного розвитку морських торговельних портів України в умовах глобалізації світової економіки / О.А. Кравченко, Ю.А. Стребко // Праці Одеського політехнічного університету: Зб. наук. праць. – Одеса: ОПУ, 2011. – Вип. 2 (36). – С. 284-289.*
27. *Альошинський Є.С. Оптимізація процесу виконання митних операцій на припортових пунктах переробки міжнародних контейнерних вантажів / Є.С. Альошинський // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті: Науково-технічний журнал. – Харків: Українська державна академія залізничного транспорту, 2008. – Вип. 3. – С. 3-7.*
28. *Додін Є.В. Митне регулювання траншипменту / Є.В. Додін // Митна справа: Науково-аналітичний журнал. – Львів, 2010. – Вип. 6 (72). – С. 26-31.*
29. *Мачкур Н. Формування системи траншипменту і перспективи його розвитку / Н. Мачкур // Митна справа: Науково-аналітичний журнал. – Львів, 2012. – Вип. 1(79). – С. 30-34.*
30. *Вороний В.И. Перспективы оптимизации таможенного регулирования траншипмента в портах Украины / В.И. Вороний // Митна справа: Науково-аналітичний журнал. – Львів, 2009. – № 6 (66). – С. 48-51.*

Стаття надійшла до редакції 21 вересня 2012 р.