

УДК 656.022.8

Король В.Ю.

ОБОСНОВАНИЕ КОЛИЧЕСТВЕННОГО СОСТАВА ГРУЗОВЫХ ПАРТИЙ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ LCL (LESS THAN CONTAINER LOAD) ПЕРЕВОЗОК

Аннотация. В статье исследуется вопрос обоснования количественного состава грузовых партий при формировании сборных отправок в контейнерах, разработаны и сформулированы соответствующие теоретические и методические положения, а также математические модели.

Ключевые слова: контейнер, LCL (less than container load) перевозка, транспортно-экспедиторская деятельность, загрузка контейнера.

UDC 656.022.8

Korol V.

JUSTIFICATION OF THE QUANTITATIVE COMPOSITION OF CARGO PARTIES AT THE ORGANIZATION OF LCL (LESS THAN CONTAINER LOAD) TRANSPORTATIONS

Abstract. The article examines the question of justifying the quantitative composition of cargo parties in the formation of consolidated shipments in containers, developed and formulated the corresponding theoretical and methodological provisions, as well as mathematical models.

Keywords: container, LCL (less than container load) transportation, freight forwarding activities, container loading.

УДК 656.022.8

Король В.Ю.

ОБҐРУНТУВАННЯ КІЛЬКІСНОГО СКЛАДУ ВАНТАЖНИХ ПАРТІЙ ПРИ ОРГАНІЗАЦІЇ LCL (LESS THAN CONTAINER LOAD) ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Анотація. У статті досліджується питання обґрунтування кількісного складу вантажних партій при формуванні збірних відправок в контейнерах, розроблені

та сформульовані відповідні теоретичні і методичні положення, а також математичні моделі.

Ключові слова: контейнер, LCL (Less than Container Load) перевезення, транспортно-експедиторська діяльність, завантаження контейнера.

Постановка проблемы в общем виде. Экономический рост любой страны невозможно сегодня представить без международной торговли. В ее транспортном обеспечении важную роль играют контейнерные перевозки. Организация таких перевозок практически не обходится без участия компаний, занимающихся транспортно-экспедиторской деятельностью (ТЭД). Одной из широко распространенных услуг, предоставляемых такими компаниями, является организация LCL (less than container load) перевозок. В процессе реализации LCL перевозок осуществляется доставка сборных грузов в составе консолидированного контейнера, в котором размещается небольшая партия груза одного клиента совместно с небольшими партиями грузов других отправителей. При этом оплата осуществляется не за контейнер в целом, а только за то место, которое занимает соответствующий груз. LCL перевозка является хорошим решением для небольших компаний, которые не нуждаются в аренде целого контейнера, а также выгодным направлением транспортного бизнеса для компаний, занимающихся ТЭД.

Одной из основных и весьма актуальных проблем экспедитора при организации LCL доставки является обоснование количественного состава грузовых партий при формировании загрузки контейнера сборными грузами различных клиентов транспортно-экспедиторской компании (ТЭК).

Анализ исследований и публикаций, в которых начато решение данной проблемы. Различным аспектам контейнерных перевозок и интермодальных технологий посвящены работы многих ученых. Состояние и использование технических средств перевозок грузов в контейнерах по железным дорогам Украины рассмотрены в работах [1, 2]. В этих публикациях с помощью теории массового обслуживания формализована технология следования контейнерных поездов. Разработан комплекс математических моделей следования контейнерных поездов с выполнением грузовых операций без отцепки вагонов. Предложен метод определения технического оснащения контейнерного терминала, который учитывает время нахождения контейнера и производительность соответствующих технических средств, обеспечивая тем

самым ускорение оборота контейнера. Проблемы, связанные с техническими и технологическими аспектами функционирования контейнерных терминалов, исследованы в публикациях [3, 4]. В одной из них [3] предложена методика оптимизации процессов управления перегрузочными средствами на контейнерных терминалах. В другой [4] – разработана система усовершенствования работы контейнерного терминала. Описанная технология обеспечивает упрощение работы для технического персонала терминала, сокращает время обработки контейнера и время его нахождения на терминале, ускоряет погрузочно-разгрузочные операции и процесс переоформления документов. Процессы организации и управления работой судов в контейнерных и паромных транспортно-технологических системах исследованы в трудах [5–7]. В публикации [5] разработана модель линейного целочисленного программирования, реализация которой позволяет обосновывать решения по оптимальному распределению контейнеропотоков между магистральными и фидерными линиями. Модель минимизирует расходы судовладельца, а ограничения учитывают специфику регулярной формы судоходства, структуру судоходной линии, технико-эксплуатационные особенности судов-контейнеровозов и транспортные характеристики грузов. В [6] сформулированы положения по обоснованию такой загрузки парома, которая обеспечивает его коммерчески целесообразную работу, а также учитывает возможность одновременного размещения на борту судна грузов различной номенклатуры и пассажиров. В [7] предложена математическая модель, которая позволяет оптимизировать композитную загрузку парома, учитывает его технико-эксплуатационные характеристики, целостность партии одного отправителя, возможность одновременного перемещения грузов вместе с сопровождающими пассажирами. При этом в вышеуказанных работах, к сожалению, не освещают вопросы сборных отправок контейнеризированных грузов, не уточняются, а, следовательно, не учитываются варианты использования средств транспортного оборудования (full container load, FCL или less than container load, LCL) и вопросы формирования их загрузок.

Общим теоретическим и практическим вопросам транспортно-экспедиторского обслуживания предприятий и организаций, независимо от специфики экспедируемых грузов, посвящены работы [8–10]. В работе [8] изложены основные этапы развития транспортно-экспедиторского обслуживания (ТЭО) на Украине и за рубежом. Проведен анализ различных

форм ТЭО, рассмотрены тенденции развития, принципы создания, структура и функции ТЭК. Представлены методики выбора рациональной формы организации ТЭО и определения целесообразности использования железнодорожного и автомобильного видов транспорта. В публикации [9] разработана система для определения оптимального варианта ТЭО, в работе [10] предложена многоцелевая модель этой системы. Однако, к сожалению, в [9-10] не рассматривается перевозка грузов морским транспортом, а также не освещается специфика ТЭО грузов в контейнерах.

Обзор указанных выше информационных ресурсов показывает следующее: вопросы организации LCL перевозок также, как и вопросы обоснования рационального состава грузовых партий в загрузке каждого контейнера при формировании сборных отправок, не находят отражения в работах современных авторов и остаются за пределами внимания ученых; ТЭО контейнерных грузопотоков в целом, а также организации сборных отправок грузов вовсе не уделяется внимания в научных публикациях; в практике компаний, занимающихся организацией LCL перевозок, все задачи, связанные с обоснованием рационального состава грузовых партий в контейнере, решаются на основе опыта и интуиции экспедиторов, поскольку формализованные методы их решения отсутствуют. Таким образом, сравнительный анализ существующих научных работ и прикладных аспектов контейнерных перевозок, позволяет выявить и сформулировать противоречие между теорией и практикой. С одной стороны, LCL перевозки являются перспективными и конкурентоспособными. С другой, – полностью отсутствует соответствующее методическое обеспечение, позволяющее экспедиторам обосновывать решения, связанные с формированием загрузки консолидированных контейнеров. В связи с этим, актуальным является решение вопроса обоснования количественного состава грузовых партий при формировании загрузки контейнера сборными грузами при организации LCL доставки.

Цель и задачи исследования. Целью статьи является разработка технологий обоснования количественного состава грузовых партий в загрузке консолидированного контейнера при организации LCL (less than container load) перевозок. Для достижения цели в работе поставлены следующие задачи:

– сформулировать общую постановку задачи обоснования количественного состава грузовых партий в загрузке консолидированного контейнера;

– сформулировать частные варианты интерпретации этой задачи, отражающие производственные ситуации, чаще всего возникающие на практике между экспедитором и грузовладельцем;

– для каждой из локальных производственных задач разработать технологию решения, которая учитывает особенности ситуации и исходной информации о планируемой отправке.

Результаты и пояснения. Количество однородного груза при формировании загрузки контейнера целесообразно осуществлять по методике, традиционно используемой в практике эксплуатации флота и портов [11]. Суть методики применительно к формированию моно загрузки контейнера заключается в следующем:

– определение удельной грузоподъемности контейнера типоразмера i (w^i):

$$w^i = \frac{W^i}{D^i} = \frac{W^i}{D_{\text{брутто}}^i - D_o^i}, \text{ м}^3/\text{т}, \quad (1)$$

где W^i – грузоподъемность контейнера типоразмера i , м^3 ; D^i – грузоподъемность контейнера типоразмера i , т ; $D_{\text{брутто}}^i$ – максимально допустимая (брутто) грузоподъемность контейнера типоразмера i , т ; D_o^i – масса порожнем контейнера типоразмера i , т ;

– определение удельного объема грузового места: $u_r = (l_r \cdot b_r \cdot h_r) : m_r, \text{ м}^3/\text{т}$, где l_r, b_r, h_r, m_r – линейные размеры (длина, ширина, высота) грузового места, подлежащего консолидации, а также его масса;

– определение удельно-погрузочного объема (УПО) груза: $\bar{u}_r = u \cdot k^{\text{укл}}, \text{ м}^3/\text{т}$, где $k^{\text{укл}}$ – коэффициент укладки, который учитывает особенности размещения грузовых мест в контейнере, образовавшиеся технологические пустоты между ними, сепарацию и т. п.;

– установление категории груза на основании сравнения его УПО и удельной грузоподъемности контейнера:

а) для любого груза r , если его УПО (\bar{u}_r) меньше либо равен удельной грузоподъемности контейнера (w^i), т. е. $\bar{u}_r \leq w^i$, то груз является для данного средства транспортного оборудования «тяжелым» ($r \in R^m$). При данном условии ($\bar{u}_r \leq w^i$) загрузку контейнера лимитирует его грузоподъемность (D^i). Таким образом, при формировании FCL (Full Container Load) отправки, количество

«тяжелого» груза (Q_r^m) в контейнере (с учетом массы самого груза (Q_r), массы тары (Q_r^{mapa}) и сепарационных материалов (Q^{cen})) соответствует его чистой грузоподъемности (D^i):

$$\forall r \in R((\bar{u}_r \leq w^i \rightarrow r \in R^m) \Rightarrow (Q_r^m = Q_r + Q_r^{mapa} + Q^{cen} = D^i)), \quad (2)$$

где R – множество грузов, которое включает подмножества «тяжелых» (R^m) и «легких» (R^n) грузов, соответственно: $R = R^m \cup R^n$;

б) для любого груза r , если его УПО (\bar{u}_r) больше удельной грузоместимости контейнера (w^i), т.е. $\bar{u}_r > w^i$, то груз принадлежит к множеству «лёгких» грузов ($r \in R^n$). В этом случае полностью может быть использована только грузоместимость контейнера (W^i). Таким образом, при формировании FCL отправки количество «легкого» груза (Q_r^n) в загрузке контейнера определяется по формуле:

$$\forall r \in R((\bar{u}_r > w^i \rightarrow r \in R^n) \Rightarrow Q_r^n = \frac{W^i}{u_r} \leq D^i), \quad (3)$$

В случае организации LCL доставки в состав контейнера входят небольшие партии грузов, принадлежащие различным грузовладельцам – клиентам ТЭК. При этом процесс принятия решений по формированию загрузки контейнера значительно усложняется. Это актуализирует разработку технологии обоснования такого количественного состава грузовых партий в загрузке консолидированного контейнера, при котором максимально используются его технико-эксплуатационные характеристик (ТЭХ). Причем, это является актуальным не только для ТЭК, но и для клиентов. Поскольку от качества использования ТЭХ контейнера зависит величина расходов каждого клиента (R_r^K), «участвующего» своим грузом r в данной LCL отправки. Предлагается следующая постановка данной задачи в общем виде.

В ТЭК поступил предварительный запрос $k = \overline{1, K}$ от грузовладельца на предоставление соответствующих услуг по экспедиторскому обслуживанию груза r . Его УПО составляет \bar{u}_r , m^3/m . Предварительный запрос $k = \overline{1, K}$ грузовладельца содержит либо нефиксированную (свободную), либо фиксированную (твердую) информацию о количестве Q_r планируемого к перевозке груза $r \in \overline{1, R}$. В связи с этим на этапе обработки оферт, поступающих от разных грузовладельцев, до заключения с ними договора, экспедитор:

– может обсуждать с грузовладельцем возможное количество Q_r груза $r \in \overline{1, R}$ в партии, планируемой к отправке, для последующей фиксации данной информации в основной заявке и договоре на транспортное экспедирование;

– не может обсуждать с грузовладельцем размер грузовой партии Q_r , планируемой к отправке.

При рассмотрении запросов экспедитор планирует формирование сборной отправки грузовых партий в контейнере типоразмера i со следующими основными ТЭХ: D^i – грузоподъемность контейнера типоразмера i , t ; W^i – грузовместимость контейнера типоразмера i , m^3 .

Экспедитору необходимо обосновать количественный состав грузовых партий различных клиентов в загрузке консолидированного контейнера, при котором максимально будет использована его грузоподъемность ($D^i \rightarrow \max$) и/или грузоместимость ($W^i \rightarrow \max$).

В производственной деятельности компаний, предоставляющих транспортно-экспедиторские услуги (ТЭУ) по организации LCL перевозок, наиболее частыми являются следующие типовые практические ситуации, отражающие конкретные условия относительно планируемой отправки:

Вариант 1 характеризуется тем, что совокупность предварительных запросов ($k = \overline{1, K} = \overline{1, 2}$), поступивших экспедитору от различных грузовладельцев, содержит информацию о двух грузовых партиях ($r = \overline{1, R} = \overline{1, 2}$, $R = R^m \cup R^l$). Причем размеры партий не зафиксированы, а, следовательно, подлежат обсуждению.

Вариант 2 характеризуется тем, что совокупность предварительных запросов ($k = \overline{1, K} = \overline{1, 2}$), поступивших экспедитору от различных грузовладельцев, также содержит информацию о двух грузовых партиях ($r = \overline{1, R} = \overline{1, 2}$). Однако, при этом размер одной партии строго зафиксирован, а второй – подлежит обсуждению.

Вариант 3 характеризуется тем, что совокупность предварительных запросов ($k = \overline{1, K}$, $K > 2$), поступивших от различных грузовладельцев, содержит информацию о более, чем двух партиях ($r = \overline{1, R}$; $R > 2$). Причем, размеры всех партий ($r = \overline{1, R}$; $R > 2$) в рассматриваемой совокупности запросов ($k = \overline{1, K}$, $K > 2$) не зафиксированы и могут согласовываться с грузовладельцами.

Вариант 4 также характеризуется тем, что совокупность предварительных запросов ($k = \overline{1, K}$, $K > 2$) содержит информацию о более, чем двух грузовых

партиях ($r = \overline{1, R}$; $R > 2$). Однако, при этом размеры всех грузовых партий ($r = \overline{1, R}$; $R > 2$) в рассматриваемой совокупности запросов ($k = \overline{1, K}$, $K > 2$) строго зафиксированы и не подлежат обсуждению с грузовладельцем.

Предлагается конкретизировать общую постановку задачи для каждой из приведенных производственных ситуаций и предложить конкретную технологию решения для каждой из них.

Для **варианта 1** сформулированная выше постановка задачи конкретизируется следующим образом. В ТЭК поступило два предварительных запроса ($k = \overline{1, K} = \overline{1, 2}$) от различных грузовладельцев на ТЭО грузов r ($r = \overline{1, R} = \overline{1, 2}$, $R = R^m \cup R^n$): груз 1 ($r = 1$) является «тяжелым» ($r \in R^m$), его УПО (\overline{u}_r) составляет $\overline{u}_r = \overline{u}_1^m$, m^3/m ; груз 2 ($r = 2$) является «легким» ($r \in R^n$), его УПО (\overline{u}_r) составляет $\overline{u}_r = \overline{u}_2^n$, m^3/m .

По предварительной информации грузовладельцев, оба запроса содержат нефиксированную информацию о количестве Q_r планируемого к перевозке груза $r = \overline{1, R} = \overline{1, 2}$, т.е. в процессе переговоров размер партии Q_r может согласовываться и уточняться. Экспедитору необходимо определить количественный состав сборной отправки грузов по рассматриваемым запросам. Полученные результаты решения задачи являются ориентиром для проведения последующих переговоров с грузовладельцами о размерах грузовых партий.

В рассмотренном случае для максимального использования ТЭХ консолидированного контейнера целесообразно воспользоваться подходом, который применяется в практике эксплуатации флота при формировании композитной загрузки судна [11]. На основании данного подхода предлагается решать следующую систему уравнений:

$$\begin{cases} Q_r^m + Q_r^n = D^i; \\ Q_r^m \cdot \overline{u}_r^m + Q_r^n \cdot \overline{u}_r^n = W^i. \end{cases} \quad (4)$$

Данная систем уравнений (4) базируются на следующих условиях:

– суммарная масса всех грузов, предъявленных к перевозке клиентами ТЭК, должна быть равна грузоподъемности контейнера:

$$\sum_{r=1}^{R=R^m \cup R^n} Q_r = Q_1 + Q_2 = D^i; \quad (5)$$

– суммарный объем всех грузов должен быть равен грузоместимости контейнера:

$$\sum_{r=1}^{R=R^m \cup R^n} (Q_r \cdot \overline{u_r}) = Q_1 \cdot \overline{u_1} + Q_2 \cdot \overline{u_2} = W^i. \quad (6)$$

Таким образом, в рассматриваемом варианте 1 количество грузов ($Q_r^m = X_1^m - ?$, $Q_r^n = X_2^n - ?$) целесообразно определять в результате решения системы уравнений (4), которая содержит две неизвестные переменные:

$$\begin{cases} X_1^m + X_2^n = D^i; \\ X_1^m \cdot \overline{u_1^m} + X_2^n \cdot \overline{u_2^n} = W^i; \end{cases} \quad (7)$$

$$X_2^n = D^i - X_1^m; \quad (8)$$

$$X_1^m \cdot \overline{u_1^m} + (D^i - X_1^m) \cdot \overline{u_2^n} = W^i; \quad X_1^m \cdot (\overline{u_1^m} - \overline{u_2^n}) + D^i \cdot \overline{u_2^n} = W^i; \quad X_1^m = \frac{W^i - D^i \cdot \overline{u_2^n}}{(\overline{u_1^m} - \overline{u_2^n})}. \quad (9)$$

В результате решения системы уравнений (7), определяем искомый размер партии «тяжелого» груза $X_1^m = Q_1^m$ (9), подставляем его значение в (8) и устанавливаем размер партии «легкого» груза $X_2^n = Q_2^n$.

Сформулированная выше постановка задачи для **варианта 2** конкретизируется следующим образом. Аналогично рассмотренному выше варианту 1, в ТЭК поступило два предварительных запроса ($k = \overline{1}, \overline{K} = \overline{1, 2}$) от различных грузовладельцев на ТЭО грузов r ($r = \overline{1}, \overline{R} = \overline{1, 2}$, $R = R^m \cup R^n$). Один из грузов является «тяжелым» ($r = 1, r \in R^m, \overline{u_r} = \overline{u_1^m}$), другой – «легким» ($r = 2, r \in R^n, \overline{u_r} = \overline{u_2^n}$). При этом, один из запросов содержит фиксированную информацию относительно размера грузовой партии (Q_r), планируемой к перевозке, а другой – ориентировочную ($\approx Q_r = X_r - ?$) и подлежит согласованию. Экспедитору необходимо определить количество не зафиксированного в запросе груза ($\approx Q_r = X_r - ?$), при котором максимально будет использована грузоподъемность и/или грузоместимость контейнера. Таким образом, в процессе последующих переговоров может согласовываться размер только одной из партий. Ее величину предлагается устанавливать, исходя из упомянутого выше подхода [11]. При этом, если в запросе грузовладельца фиксируется количество «тяжелого» груза ($Q_r^m = Q_1^m$), а количество «легкого» ($Q_r^n = X_2^n - ?$) подлежит определению, то рассмотренная система уравнений (4) для данной производственной ситуации приобретает следующий вид:

$$\begin{cases} Q_1^m + X_2^n = D^i; \\ Q_1^m \cdot \overline{u_1^m} + X_2^n \cdot \overline{u_2^n} = W^i. \end{cases} \quad (10)$$

Количество же «легкого» груза ($Q_r^i = X_2^i - ?$) при этом следует определять, исходя из второго уравнения, представленной системы (10):

$$X_2^i = \frac{W^i - Q_1^m \cdot \overline{u_1^m}}{u_2^i}. \quad (11)$$

В свою очередь, первое уравнение системы (10) следует использовать для проверки качества использования грузоподъемности контейнера:

$$\alpha^i = \frac{Q_1^m + X_2^i}{D^i}, \quad (12)$$

где α^i - коэффициент использования грузоподъемности контейнера.

Наряду с этим, следует проверять и качество использования грузоместимости контейнера. В данном случае грузоместимость должна быть использована полностью, а значение соответствующего показателя (k_W^i) должно быть равным 1, т.е. составлять 100 %:

$$k_W^i = \frac{Q_1^m \cdot \overline{u_1^m} + X_2^i \cdot \overline{u_2^i}}{W^i} = 1 \quad (100\%) \quad (13)$$

где k_W^i - коэффициента использования грузоместимости контейнера.

В свою очередь, если в запросе грузовладельца фиксируется количество «легкого» груза ($Q_r^i = Q_2^i$), а количество «тяжелого» ($Q_r^m = X_1^m - ?$) подлежит определению, то рассмотренная система уравнений (4) для данной производственной ситуации приобретает следующий вид:

$$\begin{cases} X_1^m + Q_2^i = D^i; \\ X_1^m \cdot \overline{u_1^m} + Q_2^i \cdot \overline{u_2^i} = W^i. \end{cases} \quad (14)$$

Количество «тяжелого» груза ($Q_r^m = X_1^m - ?$), в свою очередь, следует определять, исходя из первого уравнения, представленной системы (14):

$$X_1^m = D^i - Q_2^i. \quad (15)$$

Второе уравнение системы (14) при этом следует использовать для проверки качества использования грузоместимости контейнера:

$$k_W^i = \frac{X_1^m \cdot \overline{u_1^m} + Q_2^i \cdot \overline{u_2^i}}{W^i} = 1 \quad (100\%) \quad (16)$$

Также рекомендуется проверять и качество использования грузоподъемности контейнера, которая в этом случае должна быть использована полностью, а величина соответствующего показателя (α^i) должна быть равной 1, т.е. составлять 100 %:

$$\alpha^i = \frac{X_1^m + Q_2^n}{D^i} = 1 (100\%) \quad (17)$$

Сформулированная выше постановка задачи для **варианта 3** конкретизируется следующим образом. В ТЭК поступило более двух запросов ($k = \overline{1, K}$, $K > 2$) от различных грузовладельцев на предоставление услуг по ТЭО грузов r ($r = \overline{1, R}$, $R = R^m \cup R^n$, $R > 2$): некоторые грузы являются «тяжелым» ($r = \overline{1, (r-1)}$, $r \in R^m$), УПО этих грузов составляют: $\overline{u_1^m}$, $\overline{u_2^m}$, ..., $\overline{u_{r-1}^m}$, M^3/m ; некоторые грузы являются «легким» ($r = \overline{r, R}$, $r \in R^n$), УПО этих грузов составляют: $\overline{u_r^n}$, ..., $\overline{u_{R^n}^n}$, M^3/m .

Все запросы содержат незафиксированную информацию о количестве планируемого к перевозке груза, т.е. в процессе переговоров, размеры всех партий могут согласовываться и уточняться. Экспедитору необходимо определить количественный состав сборной отправки грузов по полученным предварительным запросам.

Для реализации сформулированной задачи предлагается следующая математическая модель с последовательно формализованными целевой функцией и ограничениями. Целевая функция (18) максимизирует количество всех грузов по массе в загрузке консолидированного контейнера:

$$Z = \sum_{r=1}^{R=R^m \cup R^n} X_r = \sum_{r=1}^{R=R^m} X_r^m + \sum_{r=1}^{R=R^n} X_r^n \rightarrow \max \quad (r = \overline{1, R}; R = R^m \cup R^n). \quad (18)$$

На усмотрение лица, принимающего решение (ЛПР), качество выполнения задачи по планированию сборной отправки может характеризовать и целевая функция, находящая экстремум суммарного количества грузов по объему:

$$Z = \sum_{r=1}^{R=R^m \cup R^n} (X_r \cdot \overline{u_r}) = \sum_{r=1}^{R=R^m} (X_r^m \cdot \overline{u_r^m}) + \sum_{r=1}^{R=R^n} (X_r^n \cdot \overline{u_r^n}) \rightarrow \max \quad (r = \overline{1, R}; R = R^m \cup R^n). \quad (19)$$

Система ограничений задачи представлена следующими уравнениями и неравенствами:

– ограничение (20) обеспечивает полное использование грузоподъемности контейнера при формировании сборной отправки. Запись данного ограничения в виде уравнения имеет смысл только при условии, что размеры всех грузовых партий в предварительных запросах грузовладельцев строго не зафиксированы, а, следовательно, могут согласовываться с ними:

$$\sum_{r=1}^{R=R^m} X_r^m + \sum_{r=1}^{R=R^n} X_r^n = D^i \quad (i = \overline{1, I}); \quad (20)$$

- ограничение (21) обеспечивает полное использование грузоподъемности контейнера при планировании сборной отправки. Запись данного ограничения в виде уравнения также имеет смысл только при условии, которое конкретизировано в постановке задачи для варианта 3:

$$\sum_{r=1}^{R=R^m} (X_r^m \cdot \overline{u_r^m}) + \sum_{r=1}^{R=R^n} (X_r^n \cdot \overline{u_r^n}) = W^i \quad (i = \overline{1, I}); \quad (21)$$

- ограничения (22) отражают тот факт, что переменные задачи не могут принимать отрицательные значения вследствие физической сути:

$$X_r^m \geq 0; \quad X_r^n \geq 0 \quad (r = \overline{1, R}; \quad R = R^m \cup R^n), \quad (22)$$

где X_r – параметр управления, подлежащий оптимизации, Он отражает рекомендуемое грузовладельцам количество грузов в партии, с разбивкой на «тяжелые» (X_r^m) и «легкие» (X_r^n) грузы.

Задача, сформулированная выше в общей постановке, для **варианта 4** конкретизируется следующим образом. Аналогично предыдущему варианту 3, в ТЭК поступило более двух предварительных запросов ($k = \overline{1, K}$, $K > 2$) от различных грузовладельцев на предоставление услуг по экспедиторскому обслуживанию грузов r ($(i = \overline{1, I}), R = R^m \cup R^n, R > 2$):

Некоторые партии характеризуются «тяжелыми» грузами ($(r = \overline{1, (r-1)}, r \in R^m, \overline{u_r} = \overline{u_1^m})$), некоторые – «легкими» ($(r = \overline{r, R}, r \in R^n, \overline{u_r} = \overline{u_2^n})$). Причем, ряд запросов содержат фиксированную информацию относительно размера партии Q_r , планируемой к перевозке. Другая же часть запросов включает ориентировочные данные относительно количества груза ($\approx Q_r$).

Экспедитору необходимо определить размеры не зафиксированных в запросах грузовых партий ($\approx Q_r = X_r - ?$), при максимальном использовании грузоподъемности ($D^i \rightarrow \max$) и/или грузоподъемности ($W^i \rightarrow \max$) контейнера типоразмера i .

Таким образом, размеры грузовых партий, которые могут согласовываться в процессе последующих переговоров с грузовладельцем, определяются в результате реализации предложенной ниже математической модели (23)–(27). Модель представлена следующей совокупностью математических соотношений, описывающих суть решаемой задачи.

Целевая функция (23) максимизирует загрузку контейнера по его грузоподъемности с учетом тех грузов, количество которых строго зафиксировано в предварительных запросах клиентов.

$$Z = \sum_{r=1}^{R=R^m \cup R^n} Q_r + \sum_{r=1}^{R=R^m \cup R^n} X_r = \left[\sum_{r=1}^{R=R^m} Q_r^m + \sum_{r=1}^{R=R^n} Q_r^n \right] + \left[\sum_{r=1}^{R=R^m} X_r^m + \sum_{r=1}^{R=R^n} X_r^n \right] \rightarrow \max \quad (23)$$

$$(r = \overline{1, R}; R = R^m \cup R^n).$$

На усмотрение ЛПР, в качестве критерия оптимальности может быть также принята загрузка контейнера по его грузовместимости, которую необходимо максимизировать. При этом также следует учитывать грузы, количество которых зафиксировано в предварительных запросах грузовладельцев (первое слагаемое (24)).

$$Z = \sum_{r=1}^{R=R^m \cup R^n} Q_r \cdot \overline{u_r} + \sum_{r=1}^{R=R^m \cup R^n} X_r \cdot \overline{u_r} =$$

$$= \left[\sum_{r=1}^{R=R^m} Q_r^m \cdot \overline{u_r^m} + \sum_{r=1}^{R=R^n} Q_r^n \cdot \overline{u_r^n} \right] + \left[\sum_{r=1}^{R=R^m} X_r^m \cdot \overline{u_r^m} + \sum_{r=1}^{R=R^n} X_r^n \cdot \overline{u_r^n} \right] \rightarrow \max \quad (24)$$

$$(r = \overline{1, R}; R = R^m \cup R^n).$$

Система ограничений представлена следующими неравенствами:

– ограничение по грузоподъемности контейнера (25) обеспечивает такие размеры не зафиксированных партий, которые не превышают грузоподъемность контейнера с учетом грузов, количество которых строго оговорено в запросах:

$$\sum_{r=1}^{R=R^m} X_r^m + \sum_{r=1}^{R=R^n} X_r^n \leq D^i - \left[\sum_{r=1}^{R=R^m} Q_r^m + \sum_{r=1}^{R=R^n} Q_r^n \right] \quad (i = \overline{1, I}; R = R^m \cup R^n); \quad (25)$$

– ограничение по грузовместимости контейнера (26) обеспечивает формирование сборной отправки, при которой размеры не зафиксированных в запросах партий, не превышают грузовместимость контейнера за вычетом количества грузов, не подлежащих согласованию:

$$\sum_{r=1}^{R=R^m} (X_r^m \cdot \overline{u_r^m}) + \sum_{r=1}^{R=R^n} (X_r^n \cdot \overline{u_r^n}) \leq W^i - \left[\sum_{r=1}^{R=R^m} (Q_r^m \cdot \overline{u_r^m}) + \sum_{r=1}^{R=R^n} (Q_r^n \cdot \overline{u_r^n}) \right] \quad (i = \overline{1, I}; R = R^m \cup R^n); \quad (26)$$

– ограничения (27) – условия неотрицательности переменных:

$$X_r^m \geq 0; \quad X_r^n \geq 0 \quad (r = \overline{1, R}; R = R^m \cup R^n). \quad (27)$$

Выводы

Разработанные теоретические и методические положения, а также математические модели, с одной стороны, представляют научный интерес и

способствуют развитию теории транспортных процессов и систем. С другой - имеют прикладную направленность и представляют практический интерес для транспортных компаний (автотранспортных, судоходных, стивидорных, экспедиторских и т.п.), оказывающих транспортно-экспедиторские услуги в соответствии с законодательством Украины. Внедрение сформулированных положений обеспечит повышение эффективности производственной деятельности этих компаний и позволит осуществлять рациональное транспортно-экспедиторское обслуживание систем доставки контейнеризированных грузов в региональном, межрегиональном и международном сообщениях.

Література

1. Котенко А. М., Шевченко В. І. Математичні моделі та удосконалення технологій перевезення вантажів в універсальних контейнерах // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2007. №4/5(28). С. 31-35.

2. Шевченко В. І., Шилаєв П. С., Котенко А. М. Удосконалення технології перевезення вантажів в універсальних контейнерах // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2007. №6/5(30). С. 12-17.

3. Данько М. І., Крячко В. І., Крячко К. В. Оптимізація управління перевантажувальними засобами на контейнерних терміналах // Зб. наук. пр. – Харків: УкрДАЗТ. 2004. Вип. 62. С. 37-45.

4. Лаврухін О. В., Немировський Б. М. Удосконалення технології роботи контейнерних терміналів на основі впровадження інтелектуальних передових технологій // Транспортні системи та технології перевезень: зб. наук. праць ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна. – Харків: ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна. 2017. № 13. С. 46-51. DOI: <https://doi.org/10.15802/tstt2017/110768>.

5. Кириллова Е.В. До питання обґрунтування розподілу контейнеропотоків між суднами, обслуговуючими магістрально-фідерні лінії // Науковий вісник Херсонської державної морської академії: науковий журнал. – Херсон: Херсонська державна морська академія. 2014. № 2 (11). С. 55-68. - ISSN 2313-4763.

6. Kirillova Ye. V., Meleshenko Ye. S. Justification of Financial Safety Analysis Approach in Cargo-and-Passenger Ferry Operations Management // Transport and Telecommunication Journal. Riga : Transport and telecommunication institute (TSI). 2014. Vol. 15, Issue 2. pp. 111-119. DOI : 10.2478/ttj-2014-0010.

7. Kirillova Ye., Meleshenko Ye. Development of an economic and mathematical model of loading a freight and passenger ferry // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2016. № 3(4). С. 28-37. DOI: 10.15587/1729-4061.2016.71215.

8. Нагорний Є. В., Черниш Н. Ю. Транспортно-експедиційне обслуговування підприємств та організацій в умовах ринку. – Харків: ХНАДУ. 2002. 358 с.

9. Павленко О.В. Розробка системи для визначення оптимального варіанту транспортно-експедиційного обслуговування // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. Харьков. 2007. № 6 (30). С. 25-28.

10. Павленко О.В. Аналіз ефективності багатоцільової моделі системи транспортно-експедиційного обслуговування // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Харьков. 2008. № 5/5 (35). С. 30-32.

11. Бакаев В.Г. Эксплуатация морского флота / В.Г. Бакаев. – М.: Транспорт. 1965. 560 с.

Рецензенти:

Мішутін А.В., д-р техн. наук, ОДАБА (Одеса)

Безуглий А.О, канд. економ. наук, заступник директора ДП “ДерждорНДІ” (Київ)

Reviewers:

Mishutin A.V., Dr.Tech.Sci., OSACEA (Odesa)

Bezuglyi A.M., Ph.D., Deputy Director of “DerzhdorNDI” (Kyiv)

Стаття надійшла до редакції: **01.09.2017 р.**