

УДК 65.012.34.003.1

ОПТИМИЗАЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИМПОРТИРУЕМЫХ КОНТЕЙНЕРОВ МЕЖДУ СКЛАДАМИ ЛОГИСТИЧЕСКОГО ЦЕНТРА

И.А. Козеренко

Одесский национальный морской университет, Одесса, Украина

Козеренко І.А. Оптимізація розподілення імпортованих контейнерів між складами логістичного центру.

Розроблена математична модель оптимального розподілу контейнерів між складами логістичного центру, які знаходяться як на території порту, так і поза неї. Оптимізація розподілу контейнерів основана на критерії одержання максимального прибутку в одиницю часу, тобто інтенсивності прибутку. У моделі враховані особливості митного очищення контейнера й тимчасові затримки, пов'язані з оформленням.

Ключові слова: логістичний центр, оптимізація, контейнер, митне очищення, склад, математична модель, інтенсивність прибутку

Козеренко И.А. Оптимизация распределения импортируемых контейнеров между складами логистического центра.

Разработана математическая модель оптимального распределения контейнеров между складами логистического центра, которые могут быть как на территории порта, так и вне ее. Оптимизация распределения контейнеров основана на критерии получения максимальной прибыли в единицу времени, т.е. интенсивности прибыли. В модели учтены особенности таможенной очистки контейнера и временные задержки, связанные с оформлением.

Ключевые слова: логистический центр, оптимизация, контейнер, таможенная очистка, склад, математическая модель, интенсивность прибыли

Kozerenko I. Optimization of imported containers distribution between logistics centre warehouses.

Mathematical model of optimal containers distribution between logistics centre warehouses (that are located in port or outside port territory) was developed. Optimization of containers distribution is based on criterion of obtaining the maximum profit per time unit. The model takes into account such features as custom clearance of container cargo and delays during port and authority formalities.

Keywords: logistics center, container, customs clearing, warehouse, mathematical model, intensity of profit

На сегодняшний день привлечение импортных грузопотоков в отечественные порты является первоочередной задачей, так как значительная часть доходов порта и логистического центра (ЛЦ) формируется благодаря импорту. При обработке импортных контейнеров складские площадки логистического центра или порта играют важную роль в связи с тем, что порт нацелен на обработку максимальных грузопотоков за минимальное время.

Необходимо отметить, что логистический центр может иметь собственные склады за территорией порта. В этом случае импортируемый контейнер может храниться как на территории порта, так и за его пределами.

Склады ЛЦ за пределами порта, как правило, представляют собой не только инфраструктурный объект, но и логистическую систему, которая состоит из многочисленных взаимозависимых элементов. Данные склады предоставляют все услуги по обработке контейнеров, включая таможенную очистку грузов. Таким образом, склад логистического центра вне территории порта и склад на территории порта являются взаимозаменяемыми, и возникает проблема оптимального распределения контейнеров между ними.

Для решения указанной проблемы необходимо разработать математическую модель, описывающую процессы складирования грузов на складах ЛЦ с учетом ключевых факторов, влияющих на обработку контейнеров.

Анализ последних исследований и публикаций

Методологические основы оптимизации процессов обработки грузов при транспортировке в соответствии с логистическими принципами рассматривает Лукинский В.В [1]. Он обозначает общие составляющие затрат при складировании грузов и процесс их формирования. Критерии интенсивности прибыли в рамках транспортных задач обозначены в работе [2]. Исследование классической транспортной задачи как модели класса многокритериальных задач проведено в [3], [4] и [5].

В то же время на сегодняшний день практически не рассматривается оптимизация складской деятельности в рамках логистического центра. Кроме того, в научных исследованиях не изучены

актуальные вопросы, касающиеся распределения контейнеров с импортируемыми грузами.

Целью статьи является разработка экономико-математической модели оптимального распределения контейнеров между складами логистического центра (в порту и вне его территории) для получения максимальной прибыли в единицу времени.

Основной материал

Одним из эффективных путей усовершенствования управления складским хозяйством логистического центра является его оптимизация на базе применения математических методов, в частности использованием экономико-математических моделей. Они описывают состояние системы с учетом ключевых параметров и позволяют найти решение поставленных экономических задач.

Тут следует учитывать, что складская система логистического центра является синтезом субъекта и объекта логистического управления со своей организационной структурой и локальными критериями оптимизации функционирования. При этом необходимым условием логистического управления ими является координация и интеграция действий, направленных на подчиненность интересов и экономической концепции всей системы в целом. Объектом моделирования в нашем случае выступает склад, а в качестве субъекта рассмотрим процессы движения грузов на складе. В качестве критерия оптимальности разрабатываемой модели предлагается взять максимум интенсивности прибыли логистического центра, т.е. максимум получения прибыли в единицу времени.

Необходимо отметить, что импортируемые контейнеры будут поступать на склады логистического центра партиями, по мере судозаходов контейнеровозов в порт. В связи с этим в качестве временного периода предлагается рассматривать время от поступления партии контейнеров на причал порта до выпуска всей партии контейнеров за пределы ответственности логистического центра. При этом контейнеры могут проходить таможенную очистку как на территории порта или логистического центра, так и за ее пределами (внешний или внутренний транзит на иной пункт таможенной очистки).

Тогда прибыль логистического центра от партии контейнеров, импортируемых в страну, составит:

$$F = \frac{D - R}{T}, \tag{1}$$

где D – доходы логистического центра, грн; R – расходы логистического центра, грн; T – время, необходимое на обработку всей партии импортируемых контейнеров, сут.

Значительной проблемой многих портов является нехватка территории порта для организации складов для хранения грузов. Мировой тенденцией решения такой проблемы является перенос основной части складов за территорию порта и создание так называемого «сухого порта» или логистического центра с организацией в нем сопутствующих услуг по обработке и таможенной очистке грузов [6]. Эффективность обработки грузопотоков через сухой порт обусловлена высоким уровнем технологической оснащенности, внедрением современных информационных работ в оформлении грузов, возможностью оптимизации работы «сухого порта» с помощью логистических инструментов.

Предположим, что у рассматриваемого логистического центра есть два склада: первый расположен на территории порта (как следствие, он может быть более дорогим и иметь ограниченную площадь для размещения контейнеров), и второй склад, расположенный за пределами порта с площадями, достаточными для обработки прогнозируемого контейнеропотока. При этом услуги по таможенной очистке грузов предоставляются на обоих складах. Необходимо отметить, что зачастую загрузка пункта таможенного досмотра на складе вне территории порта ниже, чем непосредственно в порту.

Вышеизложенное предопределяет задачу логистического центра – оптимально распределить контейнеры между складами для получения максимальной прибыли в единицу времени.

Пусть i – порядковый номер контейнера в прибывшей партии, а n – общее количество прибывших контейнеров, TEU. Введем булеву переменную:

$$x_i = \begin{cases} 1, \text{ если контейнер } i \text{ хранится на складе на территории порта, } i = \overline{1, n} \\ 0, \text{ если контейнер } i \text{ хранится на складе за пределами порта, } i = \overline{1, n} \end{cases} \tag{2}$$

Пусть:

$$a_i = \begin{cases} 1, \text{ если таможенную очистку контейнера } i \text{ организует логистический центр} \\ 0, \text{ если таможенная очистка контейнера } i \text{ не требуется или ее организует клиент} \end{cases} \tag{3}$$

$$b_i = \begin{cases} 1, \text{ если контейнер } i \text{ является 40 – футовым} \\ 0, \text{ если контейнер } i \text{ является 20 – футовым} \end{cases} \tag{4}$$

Для упрощения примем, что под таможенной очисткой подразумевается весь комплекс операций (таможенных, экологических, радиологических, фитосанитарных и т.п.) над грузом, находящимся в контейнере.

Тогда (1) принимает вид:

$$F = \frac{D - R}{T} \rightarrow \max_{\{x_i, i=1, n\}}. \quad (5)$$

Доходы логистического центра складываются из доходов за обработку контейнера, доходов за таможенную очистку груза в контейнере и доходов за хранение контейнеров на складе:

$$D = \sum_{i=1}^n (P^{op}(b_i + 1) + P_i^{clear} a_i + P^{stor}(b_i + 1)t_i^{stor}), \quad (6)$$

где P^{op} – фиксированная цена логистического центра за обработку 1 TEU, которая включает в себя выгрузку, транспортировку контейнера и прочие платежи (помимо платежей за хранение и таможенную очистку), возникающие при движении контейнера с судна к получателю, грн/ TEU; P_i^{clear} – цена таможенной очистки контейнера i , грн. Она не зависит от типа контейнера и принимается различной для каждого контейнера в связи с тем, что в каждом контейнере находится уникальный груз; P^{stor} – фиксированная цена за

$$D = \sum_{i=1}^n ((b_i + 1)(P^{op} + P^{stor}) [t_0^{stor} d_i + t^{clear} a_i (mx_i + q(1 - x_i))] + P_i^{clear} a_i) \quad (8)$$

Тут следует учитывать, что основной риск задержек с оформлением импортных грузов в отечественных портах связан с возникновением проблем при таможенной очистке. Например, распространена проблема, когда водитель автотранспорта находится в порту на протяжении нескольких суток, ожидая своей очереди на таможенную очистку и разрешения на вывоз контейнера. В складской системе логистического центра данная ситуация решается благодаря наличию собственного автотранспорта с водителем. Водитель ЛЦ будет подходить к машине только в случае, когда требуется транспортировка контейнера. Также значительным преимуществом в решении проблемы с задержками является хорошо отлаженное функционирование принципа «единого документооборота». Под «единым документооборотом» имеется ввиду процесс, когда при разгрузке судна и осуществлении операций над грузами представитель ЛЦ заполняет единый документ оформления контейнера в электронном варианте через персональный компьютер, подключенный к единой базе данных. Это дает возможность проводить все операции по документообороту в режиме «онлайн» и экономить время. Функции экспедитора значительно сокращаются и сводятся к тому, что он оформляет электронный наряд и контролирует процесс оформления груза на складах логистического центра преимущест-

хранение на складе 1 TEU за 1 сутки, грн/сут. Является общей для обеих складов, так как клиент логистического центра не вправе выбирать на какой склад будет помещен его контейнер; t_i^{stor} – время нахождения контейнера i на складах логистического центра. Оно состоит из средне-статистического времени хранения одного контейнера t_0^{stor} и времени, затрачиваемого на таможенную очистку (если она осуществляется):

$$t_i^{stor} = t_0^{stor} d_i + t^{clear} a_i [mx_i + q(1 - x_i)], \quad (7)$$

где t^{clear} – среднее время таможенной очистки 1 контейнера (без учета его типа), сут.; d_i – коэффициент, позволяющий скорректировать среднее время нахождения контейнера i на складе в случае, если известна такая информация (например, владелец груза намеренно хочет оставить контейнер на складе дополнительное время); m – коэффициент задержек (загруженности) таможенных и прочих органов, находящихся на территории порта, $m \geq 1$; q – коэффициент задержек (загруженности) таможенных и прочих органов, находящихся на территории склада вне порта, $q \geq 1$.

Таким образом, (6) принимает вид:

венно через средства электронной связи. Вместо того чтобы посещать портовые службы лично, экспедитор осуществляет передачу документов в электронном виде и получает их с необходимыми подписями также через интернет. Это решает проблему задержек из-за очередей в офисах линейного агента, ошибок в документах и прочих непредвиденных ситуаций.

Расходы логистического центра складываются из расходов на выгрузку контейнера (R^{unl}), на перевозку контейнера с причала на один из складов (R^{transf}), на хранение (R^{stor}), на таможенную очистку (R^{clear}) и прочих расходов – (R^{other}):

$$R = R^{unl} + R^{transf} + R^{stor} + R^{clear} + R^{other}. \quad (9)$$

В свою очередь, расходы на выгрузку разнятся в зависимости от вида контейнера (20- или 40-футовый):

$$R^{unl} = \sum_{i=1}^n (V^{40} b_i + V^{20} (1 - b_i)), \quad (10)$$

где V^{40} и V^{20} – средние затраты логистического центра на выгрузку 40-футового и 20-футового контейнера соответственно, грн.

Расходы на перевозку зависят от расстояния между причалом и складами:

$$R^{transf} = \sum_{i=1}^n (h_1 x_i + h_2 (1 - x_i)) (s^{40} b_i + s^{20} (1 - b_i)), \quad (11)$$

где h_1 – расстояние от причала до склада на территории порта, км; h_2 – расстояние от причала до склада вне территории порта, км; s^{40} и s^{20} – затраты на перемещение 1 контейнера (40- или 20-футового) на 1 км, (грн/км). В свою очередь, затраты s^{40} и s^{20} могут быть найдены путем умножения цены топлива на средний расход грузового автомобиля при перевозке данного типа контейнера, с добавлением амортизационных и прочих расходов.

Себестоимость таможенной очистки отличается для каждого контейнера и склада, и может быть определена на основе ретроспективного анализа по аналогичным грузам:

$$R^{clear} = \sum_{i=1}^n a_i (W_i^{port} x_i + W_i^{ware} (1 - x_i)), \quad (12)$$

$$R = \sum_{i=1}^n \left[V^{40} b_i + V^{20} (1 - b_i) + [(h_1 x_i + h_2 (1 - x_i)) (s^{40} b_i + s^{20} (1 - b_i))] + [a_i W_i^{port} x_i + a_i W_i^{ware} (1 - x_i) + t_i^{stor} (1 + b_i) [c_1 x_i + c_2 (1 - x_i)]] \right] + R^{other}. \quad (14)$$

При этом общий бюджет времени на обработку рассматриваемой партии контейнеров составляет сумму бюджетов времени на таможенную очистку (T^{clear}), перевозку на склад (T^{transf}), хранение (T^{stor}) и прочие потери времени (T^{other}):

$$T = T^{clear} + T^{transf} + T^{stor} + T^{other}. \quad (15)$$

Время на таможенную очистку составляет:

$$T^{clear} = \sum_{i=1}^n \left(t^{clear} a_i \left(\frac{m x_i}{k_1} + \frac{q (1 - x_i)}{k_2} \right) \right), \quad (16)$$

где k_1 и k_2 – среднее количество одновременно обрабатываемых контейнеров в таможенных органах в порту и вне территории порта соответственно, ед.

Временной бюджет на перевозку определяется по следующей формуле:

$$T = \sum_{i=1}^n \left(t^{clear} a_i \left(\frac{m x_i}{k_1} + \frac{q (1 - x_i)}{k_2} \right) \right) + \frac{\sum_{i=1}^n (h_1 \cdot x_i + h_2 (1 - x_i))}{24lp} + \max_i \{ t_0^{stor} d_i \} + T^{other}. \quad (19)$$

Предложенная модель предусматривает ряд ограничений.

Ввозимые на склад контейнеры не должны превышать его вместимость:

$$G_0 + \sum_{i=1}^n (1 - x_i) (1 + b_i) \leq G \quad (20)$$

$$J_0 + \sum_{i=1}^n x_i (1 + b_i) \leq J \quad (21)$$

где W_i^{port} и W_i^{ware} – средняя стоимость таможенной очистки контейнера i в таможенных органах, находящихся в порту и на складе соответственно, грн.

Расходы на хранение подсчитываются за 1 TEU и отличаются в зависимости от склада:

$$R^{stor} = \sum_{i=1}^n (t_i^{stor} (b_i + 1) [c_1 x_i + c_2 (1 - x_i)]), \quad (13)$$

где c_1 – затраты на хранение 1 TEU на складе в порту за 1 сутки, грн/сут; c_2 – затраты на хранение 1 TEU на складе вне порта за 1 сутки, грн/сут.

Таким образом, (9) принимает вид:

$$T^{transf} = \frac{\sum_{i=1}^n (h_1 x_i + h_2 (1 - x_i))}{24lp}, \quad (17)$$

где l – средняя скорость грузовой машины, км/ч; p – количество грузовых машин у логистического склада, ед.

Время, затрачиваемое логистическим центром на хранение партии контейнеров на складе, определяется по длительности хранения контейнера, который покинет склад последним.

$$T^{stor} = \max_i \{ t_0^{stor} d_i \}. \quad (18)$$

Отметим, что это время не растет пропорционально количеству контейнеров в партии, так как они хранятся на складе одновременно. Тогда

где G – вместимость склада вне порта, TEU; J – вместимость склада в порту, TEU; G_0 – количество контейнеров на складе вне порта до получения рассматриваемой партии, TEU; J_0 – количество контейнеров на складе в порту до получения рассматриваемой партии, TEU.

Логично заключить, что должно соблюдаться условие безубыточности деятельности логистического центра, то есть его доходы должны превышать расходы:

$$D > R. \quad (22)$$

Отметим, что использование интенсивности прибыли как критерия оптимальности позволит определить оптимальное распределение контейнеров между складами даже при линейных величинах. Это связано с тем, что сила влияния постоянных величин (постоянные доходы и время, которые не зависят от распределения контейнеров) является различной для составных частей выражения (5).

Необходимо также учесть, что при малом значении дохода логистического центра D определяющее значение на оптимизацию будет иметь фактор расходов, так как при сокращении времени расходы начинают превышать эти доходы, и вместо прибыли мы получим убытки – как суммарные, так и за единицу времени [2]. При достаточно большом значении доходов определяющее значение приобретает уже фактор времени, поскольку прибыль всегда положительная и значительно не меняется в относительных величинах. При среднем значении дохода необходимо оптимальное сочетание факторов расходов и времени, которое и приведет к максимизации прибыли в единицу времени.

Что касается наличия исходных данных для оптимизации, то характер процесса движения контейнеропотоков через логистический центр влияет на состав и структуру массивов информации, используемой в качестве исходных величин. По частоте обновления она может быть подразделена на постоянную (пассивный компонент информационной базы, например, стоимость хранения контейнера в сутки на складе) и сменную (активный компонент, например, стоимость оформления определенного вида груза). Пассивный компонент включает нормативные данные и справочную информацию, которая продолжительное время остается без перемен. Активный компонент, который включает сведения об отдельных контейнерных партиях, претерпевает резкие изменения во времени как по объему, так и по содержанию. Относительно рассмотренной системы информация может быть разделена на входящую внешнюю, входящую внутреннюю, исходящую внешнюю и исходящую внутреннюю, а также промежуточную.

Входящая внешняя – сведения об отдельных грузовых отправлениях, которые поступают от внешних относительно логистического центра источников (сопредельные виды транспорта, подача судна к причалу и т.д.) Кроме этих сведений, к входящая внешней информации нужно отнести запросы на выдачу информации о грузах, которые поступают от потребителей, не являющихся подразделениями порта или логистического центра.

Входящая внутренняя информация – сведения о будущих грузовых отправлениях, которые поступают из подразделов порта (грузовых терминалов) а также запросы на выдачу регламентной и нерегламентной информации, поступающие от

должностных лиц ЛЦ и порта в информационный центр оптимизации складских операций.

Исходящая внешняя составляющая массивов данных – исходящая информация, используемая клиентами ЛЦ, которую они могут получать в режиме онлайн.

Исходная внутренняя – регламентная и нерегламентная информация, необходимая подразделениям и должностным лицам ЛЦ и порта. Эта информация отображает состояние управляемого объекта (складского хозяйства) на данный момент времени. Подобные данные являются основой для принятия решений относительно регулирования процесса движения контейнеров через склады ЛЦ (прием груза на составы, отправление грузов в тот или иной пункт назначения, передача грузов с состава на состав и т.д.). К исходящей внутренней информации нужно также отнести сведения, которые скапливаются для решения задач других подсистем.

Массивы промежуточной информации можно подразделить на главные (архивы) и вспомогательные. Главные массивы (архивы) подлежат продолжительному хранению и централизованно используются в процессе решения задач распределения потока контейнеров. Они корректируются по мере поступления входящей информации. Вспомогательные массивы создаются и хранятся лишь на период работы конкретных комплексов программ, а потом уничтожаются.

Структурированность исходных данных согласно рассмотренной выше классификации позволяет оперативно получать доступ к нужной информации в процессе оптимизации функционирования складов ЛЦ.

Выводы

Таким образом, предложенная модель позволяет оптимально распределить контейнеры из прибывшей импортируемой партии, максимизируя прибыль логистического центра в единицу времени. При этом она легко трансформируется в модель для экспортной партии контейнеров, позволяя максимизировать прибыль логистического центра на всех этапах его деятельности. Применяя данные принципы оптимизации, логистический центр более эффективно использует складские территории; распределяет перегрузочную технику и грузовые автомобили таким образом, чтобы минимизировать их перемещение; снижает риск возникновения задержек при оформлении контейнеров и повышает качество предоставляемых клиенту услуг; снижает общее число операций грузопереработки; сокращает время простоя транспортных средств под погрузкой и разгрузкой; достигает большей гибкости ценовой политики, благодаря отлаженному процессу оптимизации обслуживания клиентов в ЛЦ и уменьшению логистических издержек.

В последующих исследованиях предлагается трансформировать модель для экспортной партии контейнеров и расширить возможности модели,

добавив в нее новый параметр управления – сдачу в аренду части пустующих площадей складов.

Список литературы:

1. Транспортировка в логистике : учеб. пособие: [по специальности 062200 «Логистика» / В.С. Лукинский и др.]. ; Федер. агентство по образованию, С.-Петерб. гос. инженер.-экон. ун-т. – СПб. : СПбГИЭУ, 2005. – 138 с.
2. Холоденко А.М. Транспортні задачі за критерієм інтенсивності прибутку / А.М. Холоденко // Методи та засоби управління розвитком транспортних систем : збірник наукових праць. – Одеса: ОНМУ, 2002. – Вип. 3. – С. 144-155.
3. Колечкіна Л.М. Багатокритеріальна транспортна задача на комбінаторних множинах та метод її розв'язання / Л.М. Колечкіна // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2009. – № 6. – С. 44-50.
4. Лубенцова В.С. Экономико-математические методы и модели в логистике: учеб. пособ. / В.С. Лубенцова ; под редакцией В.П. Радченко. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2008. – 157 с.
5. Самойленко Н.И. Транспортные системы большой размерности: монография / Н.И. Самойленко, А.А. Кобец, под ред. Н.И. Самойленко. – Х.: НТМТ, 2010. – 212 с.
6. Козеренко І.А. Огляд світових тенденцій розвитку морських портів на основі логістичної концепції / Л.В. Ширяєва, І.А. Козеренко // Всеукраїнська студентська науково-практична конференція «Проблеми і перспективи морського транспорту: технологія, управління, економіка, логістика, право», 29-30 квітня 2010. – Одеса, ОНМУ, 2010. – С. 40-42.

Подано до редакції 15.08.2013

Козеренко Ірина Анатоліївна / Iryna A. Kozerenko
irella11@gmail.com

Посилання на статтю / Reference a Journal Article:

Оптимизация распределения импортируемых контейнеров между складами логистического центра [Электронный ресурс] / И.А. Козеренко // Экономика: реалії часу. Науковий журнал. – 2013. – № 3 (8). – С. 56-61. – Режим доступу до журн.: <http://economics.opu.ua/files/archive/2013/n3.html>