

УДК 656.58

С. Гомбосэд, О. Б. Маликов

Петербургский государственный университет путей сообщения

ОПТИМИЗАЦИЯ РАСПОЛОЖЕНИЯ КОНТЕЙНЕРОВ НА ПРИГРАНИЧНЫХ ТЕРМИНАЛАХ

В международных транспортных коридорах, при переходе их из одной страны в другую, проектируются приграничные контейнерные терминалы, назначение которых состоит в том, чтобы преобразовывать грузопотоки контейнеров, поступающие из одной страны в другую. На таких терминалах бывает необходимость перегрузки контейнеров с железной дороги с шириной колеи 1435 мм железную дорогу с шириной колеи 1520 мм.

Обсуждаются вопросы оптимального расположения контейнеров на площадке терминала, обеспечивающего минимальные простои ускоренных контейнерных поездов обеих железных дорог, взаимодействующих через посредство приграничного контейнерного терминала.

транспортный коридор, контейнер, погрузчик, контейнерный терминал, штабель, ричстакер, срок хранения, производительность, время цикла работы погрузчика.

Введение

Наиболее рациональный вариант перегрузки контейнеров из поезда с одной ширины колеи на поезд с другой ширины колеи – это прямая перегрузка контейнеров автопогрузчиками-ричстакерами. Однако такая перегрузка практически невозможна без повышенных простоев вагонов железных дорог одной и другой колеи. Это объясняется одновременным прибытием поездов с контейнерами на терминал со стороны одной страны и поездов с порожними фитинговыми платформами другой стороны. Затруднение для прямой перегрузки контейнеров с одного поезда на другой представляют также пограничный и таможенный контроль, комплектование и подготовка контейнеров для погрузки в маршрутный поезд и некоторые другие технологические процедуры. В связи с этим на подобных контейнерных терминалах обычно предусматривают зону промежуточного хранения контейнеров в течение 5–7 суток двух- или трехъярусными штабелями по высоте. Возможная схема расположения штабелей на контейнерном терминале показана на рис. 1.

1 Устройство приграничных терминалов

На рис. 1 показаны основные возможные маршруты контейнерных автопогрузчиков-ричстакеров:

1) при выгрузке контейнеров из вагонов одной колеи:

A – перевозка контейнеров из фитинговых платформ прибывшего поезда в ближайший штабель (из адреса в ряду *E* в штабель в ряду *G*);

B – перевозка контейнеров из фитинговых платформ прибывшего поезда через поперечный проезд *R* в штабель, расположенный вдоль погрузочного пути другой ширины колеи (из адреса в ряду *E* через адрес поперечного проезда в штабель в ряду *H*);

2) при погрузке контейнеров в вагоны другой колеи:

C – перевозка контейнеров из ближайшего штабеля к погрузочному пути в фитинговые платформы порожнего поезда (из адреса в штабеле ряда *H* в адрес порожнего поезда в ряду *F*);

D – перевозка контейнеров из штабеля, расположенного вдоль выгрузочного пути

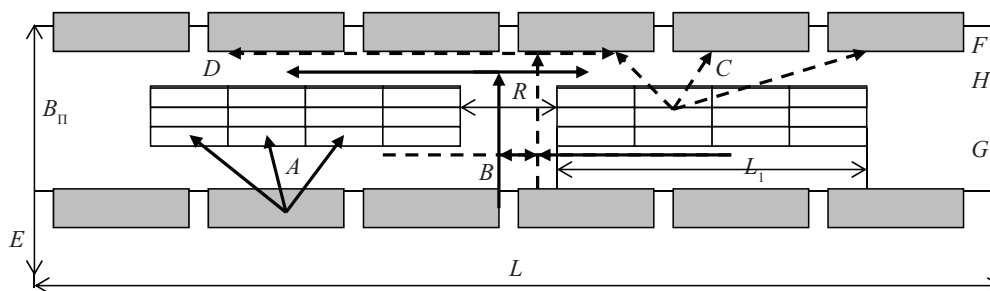


Рис. 1. Схема планировки контейнерной площадки с маршрутами движения ричстакеров *A, B* при выгрузке контейнеров из поезда ширины колеи 1435 мм (—→) и *C, D* – при погрузке контейнеров в поезд колеи 1520 мм (---→); *E, G, R, H, F, B* – ряды адресов в маршрутах движения погрузчиков по ширине площадки

через поперечный проезд *R* в фитинговые платформы порожнего поезда на погрузочном пути другой ширины колеи (с адреса в ряду *G* через адрес поперечного проезда *R* в адрес загружаемого поезда в ряду *F*).

Выгрузка контейнеров из прибывшего грузового поезда *E* в ближайшие штабели ряда *G* по маршруту *A* обеспечило бы быструю разгрузку поезда с контейнерами. Но, во-первых, это не всегда возможно, так как в штабелях ряда *G* может не быть достаточного количества свободных мест для приема новых контейнеров. Во-вторых, расположение контейнеров в ряду *G* приведет к увеличению времени их последующей погрузки в связи с необходимостью более длительных циклов работы погрузчиков-ричстакеров по маршруту *D*. Проблема блокирования контейнеров в глубине штабеля вновь прибывшими контейнерами, которые будут устанавливаться на места, ближайшие к проезду, пока не рассматривается.

Расположение контейнеров в штабелях должно быть таким, чтобы обеспечивать минимальные простои при выполнении погрузочно-выгрузочных операций обоих поездов – грузового при выгрузке и порожнего при погрузке.

2 Расчеты производительности контейнерных погрузчиков

Маршруты погрузчиков-ричстакеров по контейнерной площадке могут быть оптимизированы при минимальной суммарной

продолжительности рейсов при выгрузке и погрузке контейнеров. Поскольку продолжительность рейса погрузчика зависит от расстояния его перемещения (остальные операции в цикле погрузчика будут одинаковыми во всех рейсах), то в качестве критерия оптимизации может быть взята общая длина маршрутов погрузчиков:

$$\sum_{i=1}^n L_i + \sum_{j=1}^m L_j \rightarrow \min, \quad (1)$$

где L_i – длина i -го рейса ричстакера при выгрузке контейнеров с фитинговых платформ прибывшего поезда колеи 1435 мм; n – число контейнеров в прибывшем поезде; L_j – длина j -го рейса ричстакера при погрузке контейнеров на фитинговые платформы загружаемого поезда колеи 1520 мм; m – число контейнеров, загружаемых в поезд колеи 1520 мм.

Технология работы контейнерной площадки может быть формализована с помощью приведенных далее математических моделей. При этом для определения времени рабочих циклов погрузчиков на контейнерную площадку накладывается сетка декартовой системы координат, в которой маршруты движения погрузчиков при перегрузке контейнеров фиксируются с помощью координат x (движение вдоль контейнерной площадки) и y (движение поперек контейнерной площадки).

В математических моделях рабочих циклов передвижения погрузчиков учитывалась только длина рейса, так как начально-конечные операции в цикле «время операций подъезда, маневрирования, захвата

контейнера, отъезда, выдвижения телескопической стрелы ричстакера, подъема и опускания грузозахвата» будут одинаковыми во всех маршрутах движения погрузчиков.

Все разности координат берутся по модулю, так как погрузчик может двигаться влево или вправо (по схеме планировки на рис. 1) и все его расстояния передвижения должны учитываться. Множитель 2 в формулах учитывает груженую и порожнюю часть рейса погрузчика.

Длина рейса A :

$$\sum_{i=1}^p L_{Ai} = 2\sum \{|x_E - x_G| + |y_E - y_G|\}_i. \quad (2)$$

Длина рейса B :

$$\sum_{j=1}^{r-p} L_{Bj} = 2\sum \{|x_E - x_R| + |x_R - x_H| + |y_E - y_R|\}_j. \quad (3)$$

Длина рейса C :

$$\sum_{i=1}^p L_{Ci} = 2\sum \{|x_H - x_F| + |y_H - y_F|\}_i. \quad (4)$$

Длина рейса D :

$$\sum_{j=1}^{r-p} L_{Dj} = 2\sum \{|x_E - x_R| + |x_R - x_H| + |y_E - y_R|\}_j. \quad (5)$$

В этих выражениях r – общее число контейнеров в поезде, прибывшем на приграничный терминал; p – число контейнеров, выгружаемых в ближайший штабель или загружаемых из ближайшего штабеля (т. е. без следования через поперечный проезд между штабелями).

Если принять состав маршрутного контейнерного поезда из k длиннобазовых фитинговых платформ с длиной по автосцепкам 19,6 м, то общее число контейнеров в поезде:

$$r = \frac{СФЭ + ДФЭ}{k \cdot 3 \cdot 2 \cdot СФЭ + ДФЭ}, \quad (6)$$

где k – число фитинговых платформ в составе маршрутного поезда; 3 – число 20-футо-

вых контейнеров, помещающихся на длиннобазовой фитинговой платформе длиной по автосцепкам 19,6 м; СФЭ и ДФЭ – соответственно проценты (или доля) 40-футовых и 20-футовых контейнеров в общем контейнеропотоке (в настоящее время составляют примерно 70 и 30 %, или 0,7 и 0,3).

Наличие свободных мест в ближайших к железнодорожным путям и наиболее удаленных от железнодорожных путей штабелях в общем случае можно принять равновероятным

$$P(G) = P(H) = \frac{0,5}{n-1}. \quad (7)$$

Математическую модель оптимизации расположения контейнеров на площадке (1) можно представить в таком виде:

$$P(G, H) \times \left\{ \sum_{i=1}^p L_{Ai} + \sum_{j=1}^{r-p} L_{Bj} + \sum_{i=1}^p L_{Ci} + \sum_{j=1}^{r-p} L_{Dj} \right\} \rightarrow \min. \quad (8)$$

Поиск минимума ведется для конкретных условий проектирования контейнерного терминала с помощью теории графов и теории матриц или простым перебором основных предельных вариантов, с учетом особенностей параметров контейнеропотоков, проходящих через проектируемый терминал.

Координаты адресов x, y , по которым проходят искомые маршруты погрузчиков, зависят от размеров контейнерной площадки, ее конфигурации, расположения штабелей, числа поперечных и продольных проездов между штабелями контейнеров; числа контейнеров в штабелях по ширине и длине контейнерной площадки и числа ярусов складирования контейнеров по высоте; размеров групп вагонов, на которые делится контейнерный маршрутный поезд при подаче вагонов на грузовой терминал.

Для установления взаимосвязей между этими параметрами была составлена система уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \frac{k \cdot l_B}{s} &= y \cdot (l_{ДФЭ} + \lambda) + B \cdot n \\ y \cdot (l_{ДФЭ} + \lambda) &= L_1 \cdot (n-1) \end{aligned} \right\}, \quad (9)$$

где k – число фитинговых платформ в контейнерном поезде (принимают $k = 41$); l_B – длина вагона (фитинговой платформы) по автоцепкам; s – число подач, на которое делится контейнерный поезд; $l_{ДФЭ}$ – длина 20-футового контейнера; λ – зазор между контейнерами в штабеле; B – ширина поперечного проезда между штабелями контейнеров; n – число поперечного проездов между штабелями контейнеров по длине площадки; L_1 – длина одного штабеля контейнеров.

Первое из уравнений системы (9) показывает зависимость числа контейнеров по длине площадки (т. е. емкости контейнерной площадки) от длины состава контейнерного поезда и числа поперечных проездов по площадке. Второе уравнение системы показывает зависимость емкости контейнерной площадки от числа поперечных проездов и длины отдельных штабелей контейнеров.

Для того чтобы сократить расстояния движения погрузчиков при разгрузке и погрузке контейнеров на маршрутные поезда, нужно число проходов n делать больше, а расстояния между ними L_1 – меньше. Однако это уменьшает емкость, а следовательно, перерабатывающую способность контейнерной площадки.

Преобразовывая систему уравнений (9), получаем формулу для определения числа поперечных проездов n в зависимости от длины одного штабеля (т. е. расстояния между поперечными проездами) L_1 и числа подач s , на которые делится маршрутный поезд для разгрузки или погрузки на терминале:

$$n = \frac{k \cdot l_B + s \cdot L_1}{s \cdot (L_1 + B)}. \quad (10)$$

На основании этой формулы выполнен расчет числа поперечных проездов по контейнерной площадке n в зависимости от расстояния между проездами по длине площадки L_1 (длины одного штабеля) и от числа подач s , на которые делится маршрутный поезд при подаче на терминал для погрузки или разгрузки.

Необходимость разделения маршрутного поезда на несколько подач возникает при

ограниченной длине погрузочно-разгрузочных путей по условиям генплана контейнерного терминала. Это решение тоже имеет преимущества и недостатки. Преимущества состоят в сокращении длины площадки и самого земельного участка терминала, применении менее мощных и более дешевых маневровых локомотивов. Недостатки разделения маршрутного поезда на несколько подач заключаются в усложнении пограничного, таможенного, технического, коммерческого осмотров вагонов, занятии путей станции на все время грузовых операций с контейнерным поездом, большей занятости маневровых локомотивов станции.

Результаты исследований числа поперечных проездов на контейнерном терминале показаны в графическом виде на рис. 2.

На схеме планировки контейнерной площадки на рис. 1 показано упрощенное расположение контейнеров на площадке с двумя штабелями по длине площадки и одним штабелем по ширине площадки, обслуживаемым погрузчиками-рачстакерами из двух продольных проездов. В действительности число штабелей по ширине может быть 2, 3 и более.

Число контейнеров по ширине контейнерной площадки можно определить по формуле:

$$x = \varepsilon \left\{ \frac{B_n - 2 \cdot B_{ж} - m \cdot B}{b + \lambda} \right\}, \quad (11)$$

где B_n – ширина контейнерной площадки (расстояние между осями железнодорожных путей разной колеи); $B_{ж}$ – ширина проездов для погрузчиков вдоль железнодорожного пути (принимается равной 25 м с учетом габарита приближения строений к железнодорожному пути и возможности проезда автомобилей, на которые можно перегружать контейнеры с маршрутного поезда по прямому варианту перегрузки (*Cross-docking* в английской терминологии); m – число продольных проездов между штабелями для погрузчиков вдоль контейнерной площадки; B – ширина проезда для погрузчиков между штабелями (принимается так же, как

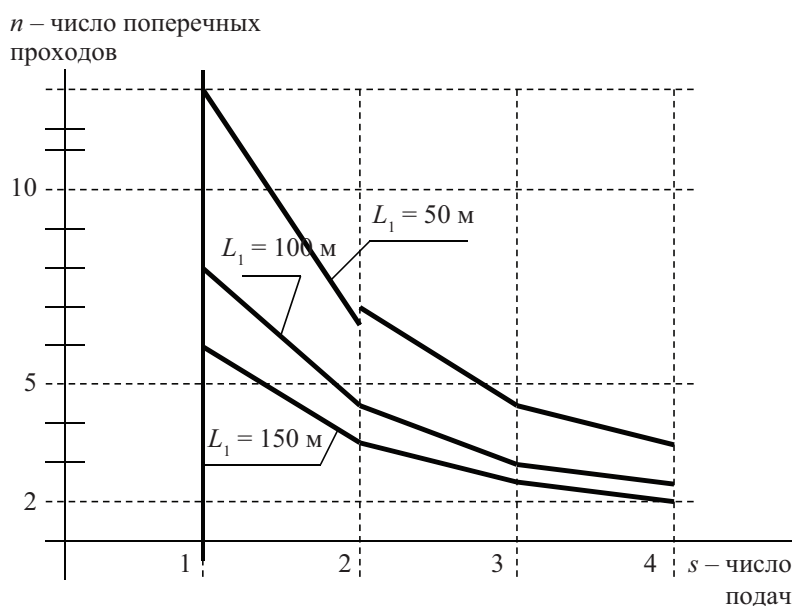


Рис. 2. Зависимости числа поперечных проездов по контейнерной площадке от числа подач, на которые делится маршрутный поезд при разной длине штабелей контейнеров

у поперечных проездов – 15 м); b – ширина контейнера (8 футов, или 2,44 м); λ – зазор между контейнерами в штабеле (принимают $b + \lambda = 6,3$ м для 20-футового контейнера); $\varepsilon\{\dots\}$ – обозначение целой части числа, получающегося в результате выполнения действий в скобках (округление в меньшую сторону).

Общую вместимость контейнерной площадки предлагается определять по формуле (в ДФЭ – двадцатифутовый эквивалент или TEU – *Twenty-Feet-Equivalent Unit* – в английской терминологии):

$$R = x \cdot y \cdot z, \quad (12)$$

где x – число контейнеров по ширине контейнерной площадки (по формуле (11)); y – число контейнеров по длине площадки (из системы уравнений (9)); z – число ярусов контейнеров по высоте (принимают равное 3).

Перерабатывающая способность контейнерного терминала – ДФЭ в сутки

$$\Omega = \frac{R}{\tau}, \quad (13)$$

или маршрутных поездов в сутки

$$\Omega = \frac{R}{\tau \cdot k \cdot 3}, \quad (14)$$

где τ – срок хранения контейнеров на терминале (принимают равным 3–5 суток); k – число фитинговых платформ в составе маршрутного поезда (обычно 41); 3 – число ДФЭ, помещающихся на длиннобазовую платформу длиной по автосцепкам (19,6 м).

Требуемое число автопогрузчиков-ричстакеров можно определить по формуле:

$$АП = \frac{\Omega \cdot t}{T \cdot k_t \cdot 60} \cdot \frac{СФЭ + ДФЭ}{2 \cdot СФЭ + ДФЭ} \cdot p, \quad (15)$$

где t – среднее время рабочего цикла ричстакера (3–6 мин); T – число часов работы терминала в сутки; k_t – коэффициент использования оборудования по времени (0,85–0,9); 60 – число минут в часе; p – число перегрузок контейнеров на терминале (без перестановки контейнеров – 2, с перестановками – 4–5).

Остальные величины пояснены ранее. При необходимости время рабочего цикла погруз-

чика-ричстакера определяется расчетом, приведенным в специальной литературе [1, 2].

Рекомендуется использовать приведенные здесь формулы, методы и математические модели для определения параметров контейнерных приграничных терминалов.

Заключение

Производительность автопогрузчиков-ричстакеров, перегружающих контейнеры на приграничных таможенных терминалов из одного поезда в другой, зависит от расположения штабелей контейнеров на этих терминалах, числа поперечных проездов между штабелями и числа подач, на которые делят маршрутный поезд при подаче его под выгрузку на терминале.

Для увеличения производительности контейнерных погрузчиков на приграничных терминалах и соответственного сокращения времени разгрузки контейнеров из поезда в штабель число поперечных проездов по площадке между штабелями контейнеров следует принимать не менее 4–5 при подаче под выгрузку целого маршрутного поезда и 2–3 при разделении маршрута на 2–3 подачи.

Сокращение длины контейнерного терминала и погрузочно-разгрузочных путей на нем и разделение маршрутных поездов на 2–3 группы вагонов обеспечивает сокращение суммарного времени простоя маршрутных поездов при грузовых операциях на

2–5 часов (в зависимости от числа частей, на которые будет разделен поезд для выгрузки), а также других технологических операциях, выполняемых с маршрутными контейнерными поездами на приграничных таможенных терминалах, которые при такой технологии могут частично выполняться параллельно с выгрузкой контейнеров на терминале.

Приведенные здесь формулы, методы и математические модели могут быть использованы для определения параметров контейнерных приграничных терминалов и размещения на них контейнеров. При этом расположение контейнеров на терминалах должно быть оптимизировано с учетом конкретных условий каждого отдельного терминала, хотя и может быть выполнено по одной и той же методике, изложенной в этой статье. Для каждой конфигурации контейнерной площадки на основании этого метода могут быть определены оптимальное число поперечных проездов по площадке, длина штабелей контейнеров между этими проездами и время разгрузки маршрутного контейнерного поезда.

Библиографический список

1. **Склады** и грузовые терминалы / О. Б. Маликов. – СПб. : Бизнес-пресса, 2005. – 648 с.
2. **Транспортно-грузовые системы** / Н. П. Журавлев, О. Б. Маликов. – М. : Маршрут, 2006. – 366 с.

УДК 656.2

А. Г. Котенко, К. Е. Ковалёв, А. Б. Васильев, Д. А. Кулигин, А. В. Решина

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ВИРТУАЛЬНОГО УЧАСТКА ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ДВИЖЕНИЯ НА БАЗЕ 3D-СИММУЛЯТОРА

Предлагается описание модели виртуального участка высокоскоростного движения, рассматриваются ее возможности и пути дальнейшего развития. Представлена перспектива создания тренажера по организации движения поездов на базе модели.

высокоскоростное железнодорожное движение, виртуальное моделирование, визуализация работы.