

УДК 656.225.073.433

Д. И. Илесалиев**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ
ПОГРУЗОЧНО-РАЗГРУЗОЧНОГО УЧАСТКА ТАРНО-ШТУЧНЫХ ГРУЗОВ**

Дата поступления: 09.06.2015

Решение о публикации: 24.08.2015

Цель: Определить оптимальные значения параметров погрузочно-разгрузочного участка тарно-штучных грузов. **Методы исследования:** Используются методы теории вероятностей и математической статистики, а также метод направленного перебора. **Результаты:** Выявлено, что в первую очередь на эффективность перегрузочных работ влияют условия перевозок тарно-штучных грузов. Установлено, что продолжительность обслуживания крытых вагонов подчиняется экспоненциальному закону распределения. **Практическая значимость:** Для конкретного участка использованы фактические данные, проведен их статистический анализ. Определение оптимальных значений параметров железнодорожного погрузочно-разгрузочного участка с помощью математических методов позволит улучшить эксплуатационную работу.

Тарно-штучные грузы, пакетные перевозки, поддон, транспортный пакет, погрузка, выгрузка, погрузочно-разгрузочный участок.

Daurenbek I. Pesaliyev, post-graduate student, ilesaliev@mail.ru (Petersburg State Transport University)
DETERMINING BEST POSSIBLE VALUES OF PARAMETERS OF HANDLING AREA FOR UNIT LOADS

Objective: To determine best possible values of parameters of handling area for unit loads. **Methods:** Probability theory, mathematical statistics and vectored direct search methods were used. **Results:** The study established that the efficiency of material handling is primarily influenced by the conditions of unit loads transportation. It was established that the length of servicing covered waggons is subject to exponential law. **Practical importance:** Actual data on a concrete spot was used and statistically analysed. Determining best possible values of parameters of railway handling area using mathematical methods will allow to improve operational work.

Unit loads, unitised loads transportation, shipping skid, unitised load, loading, unloading, handling area.

Определение оптимальных значений параметров железнодорожного погрузочно-разгрузочного участка с помощью математических методов имеет большое значение для дальнейшего улучшения и совершенствования эксплуатационной работы. На погрузочно-разгрузочных участках ежедневно появляются ситуации, когда возникает массовый спрос на обслуживание транспортных потоков. При этом характерны большая неравномерность поступления крытых вагонов к погрузочно-разгрузочным участкам складских помеще-

ний, а также продолжительность их обслуживания [1–5].

Необходимо иметь в виду, что у перегрузочных складов количество средств механизации и обслуживающего персонала ограничено, поэтому они не всегда способны справиться со всеми поступающими заявками. В связи с ростом грузопотока тарно-штучных грузов в Узбекистане сооружаются и реконструируются склады с примыканием железнодорожного транспорта, также улучшается оснащение погрузочно-разгрузочного участка.

Исследование направлено на оптимизацию параметров погрузочно-разгрузочного участка на территории общего и необщего пользования. Для этого необходимо:

- математически описать характер поступления вагонов на погрузочно-разгрузочный участок;
- рассмотреть распределение времени обслуживания транспортных потоков;
- найти оптимальные значения количества погрузочно-разгрузочных машин, количества подач на погрузочно-разгрузочный участок, времени работы склада, а также времени, на которое должно хватить запаса пустых поддонов.

Зависимость между переменными $Q_{\text{сут}}$, $t_{\text{обс}}$, $m_{\text{в}}$, $x_{\text{п}}$, z , $t_{\text{см}}$, $T_{\text{п}}$ позволяет выразить $Q_{\text{сут}}$, $t_{\text{обс}}$ и $m_{\text{в}}$ через параметры $x_{\text{п}}$, z , $t_{\text{см}}$, $T_{\text{п}}$, т. е. задача сводится к определению оптимальных значений параметров погрузочно-разгрузочного участка. Критерием для выбора значений параметров технического оснащения и эксплуатации погрузочно-разгрузочного участка служат приведенные затраты. Задача оптимизации выглядит так:

$$C_{\text{общ}}(z, x_{\text{п}}, t_{\text{см}}, T_{\text{п}}) \rightarrow \min,$$

где $C_{\text{общ}}$ – суммарные приведенные затраты, руб.; z – количество погрузочно-разгрузочных машин; $x_{\text{п}}$ – количество подач; $t_{\text{см}}$ – рабочее время склада, ч; $T_{\text{п}}$ – время, на которое должно хватить запаса пустых поддонов, сут.

На величину параметров накладывается система ограничений, определяемых эксплуатационными и экономическими соображениями:

$$\left. \begin{aligned} \frac{Q_{\text{сут}} \cdot t_{\text{э}}}{x_{\text{п}} \cdot G \cdot t_{\text{обс}}} &\leq z \leq z^{\max} \\ \frac{Q_{\text{сут}}}{q \cdot m_{\text{в}}} &\leq x_{\text{п}} \leq x_{\text{п}}^{\max} \\ \frac{Q_{\text{сут}} \cdot t_{\text{обс}}}{q \cdot m_{\text{в}}} &\leq t_{\text{см}} \leq t_{\text{см}}^{\max} \\ T_{\text{п}}^{\min} &\leq T_{\text{п}} \leq T_{\text{п}}^{\max} \end{aligned} \right\},$$

где $Q_{\text{сут}}$ – суточный грузопоток, т/сут; G – масса транспортного пакета, т; $t_{\text{э}}$ – время цикла работы электропогрузчика при транспортировке одного пакета с погрузочно-разгрузочного участка на склад, ч; $m_{\text{в}}$ – число вагонов в подходе, ваг./п.; q – размер транспортной партии груза (нагрузка вагона), т; $T_{\text{п}}^{\min}$ зависит от $Q_{\text{сут}}$ и нормативного срока хранения грузов, для перевалочного склада равен двум суткам. Минимальные значения параметров z и $x_{\text{п}}$ определяются требованием выполнения заданного объёма работы склада, а максимальные – наличием выделенных ресурсов.

Таким образом, цель – найти оптимальные значения параметров погрузочно-разгрузочного участка, которые бы минимизировали затраты.

Математическое описание системы обслуживания крытых вагонов

Для решения этой задачи исследованы транспортные потоки Ташкентского регионального железнодорожного узла и центра логистики «Ангрен». Проанализированы статистические материалы о порядке поступления крытых вагонов с различной продолжительностью обслуживания погрузочно-разгрузочными механизмами.

Для характеристики транспортного потока требований недостаточно указать на случайный характер их поступления в систему обслуживания. Необходимо выяснить закон распределения вероятностей на основе обработки данных. При этом определяются следующие параметры системы:

- наблюдаемая частота поступления вагонов на погрузочно-разгрузочный участок h_i ;
- среднее количество вагонов, поступающих на перегрузочный склад за время t , определяется по формуле [4]:

$$m_{\text{ср}}^* = \sum_{i=1}^k \bar{m}_i p_i^*,$$

где m_i – среднее количество поступивших вагонов за рабочее время погрузочно-разгру-

зочного участка; p_i^* – частота попадания случайной величины в i -разряд; i – номер разряда ($i = 1, 2, \dots, k$).

Вероятность поступления вагонов предположительно подчиняется пуассоновскому закону:

$$P(k) = \frac{(\lambda t)^k}{k!} e^{-\lambda t},$$

где λ – интенсивность входящего потока требований; t – период времени, в течение которого поступает требование; e – основание натурального логарифма, равно 2,71; $k!$ – 1, 2, 3, ..., k .

Чтобы принять или опровергнуть теоретическое распределение, определяется величина χ^2 Пирсона, характеризующая расхождение между статистическим и теоритическим распределениями [4]:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(h_i - f_i)^2}{f_i},$$

где h_i и f_i – число значений случайной величины в i -м разряде, соответственно, по статистическому и по теоретическому распределениям.

Результаты исследования поступления крытых вагонов при погрузке и выгрузке тарноштучных грузов приводятся в табл. 1.

При уровне значимости $\alpha = 0,05$ $\chi^2_{0,05} = 15,5$; неравенство $\chi^2_{0,05} > \chi^2$ выполнено, гипотезу можно принять.

График функции распределения входящих потоков вагонов на погрузочно-разгрузочный участок приведен на рис. 1. Графики на рис. 2 построены на основе натуральных наблюдений. Анализ показывает, что входящие потоки вагонов подчиняются пуассоновскому закону, но с различными параметрами λ .

Одновременно с этим рассматривали распределение времени обслуживания транспортных потоков. Продолжительность обслуживания – случайная величина, которая зависит от статической нагрузки, грузоподъемности

ТАБЛИЦА 1. Статистическое и теоретическое распределения поступлений вагонов на погрузочно-разгрузочный участок

| Количество поступающих вагонов m_i | Наблюдаемая частота h_i | Статистическая частота p_i^* | Математическое ожидание $p_i^* m_i$ | Теоретическая частота p_i | χ^2 |
|--------------------------------------|---------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|----------|
| 0–2 | 1 | 0,0083 | 0,0083 | 0,0071 | 0,0272 |
| 2–4 | 4 | 0,0333 | 0,1000 | 0,0543 | 0,9682 |
| 4–6 | 18 | 0,1500 | 0,7500 | 0,1625 | 0,1158 |
| 6–8 | 32 | 0,2667 | 1,8667 | 0,2560 | 0,0528 |
| 8–10 | 26 | 0,2167 | 1,9500 | 0,2475 | 0,4596 |
| 10–12 | 18 | 0,1500 | 1,6500 | 0,1612 | 0,0935 |
| 12–14 | 12 | 0,1000 | 1,3000 | 0,0755 | 0,9568 |
| 14–16 | 6 | 0,0500 | 0,7500 | 0,0266 | 2,4743 |
| 16–18 | 2 | 0,0167 | 0,2833 | 0,0073 | 1,4432 |
| 18–20 | 1 | 0,0083 | 0,1583 | 0,0016 | 3,3870 |
| Итого | 120 | 1 | 8,8167 | 0,9995 | 9,97 |

Примечания. $\lambda = m_{cp}^* = 9$ ваг; $R = 10 - 2 = 8$; $\chi^2 = 9,97$; $P(\chi^2) = 0,25$.

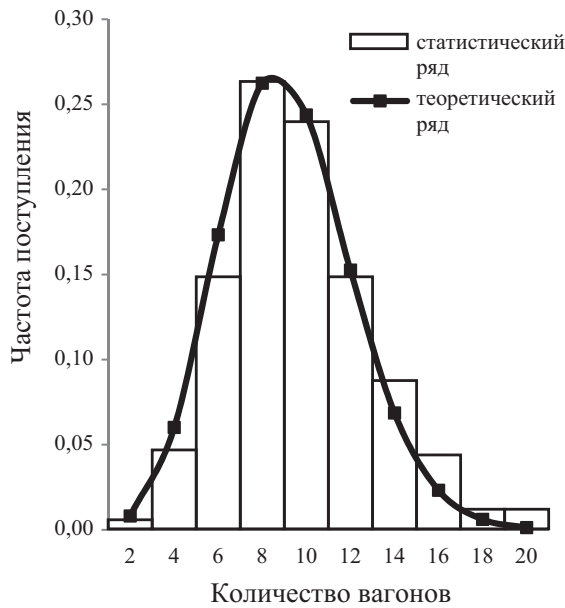


Рис. 1. График функции распределения при $\lambda = 9$ ваг./сут

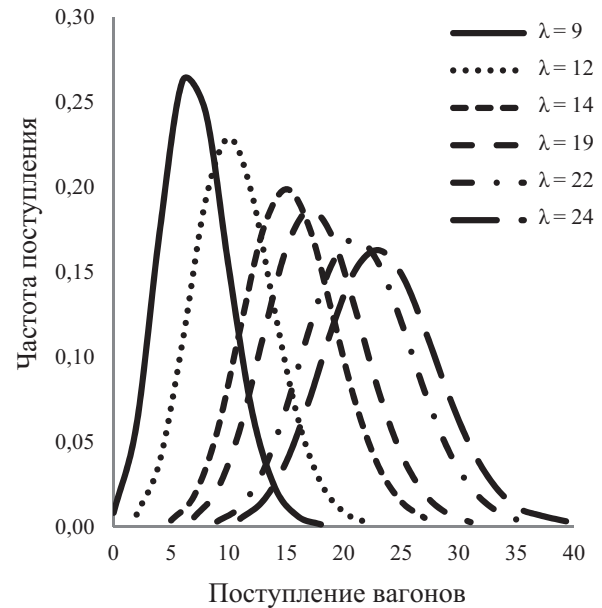


Рис. 2. График функции распределения с различными параметрами λ , ваг./сут

вагонов, а также используемых для погрузки и разгрузки средств механизации.

Для определения продолжительности обслуживания вагонов вели хронометраж погрузки и выгрузки тарно-штучных грузов. По результатам наблюдения можно предположить, что продолжительность процесса подчиняется экспоненциальному закону распределения. На основании статистических данных подсчитали следующие параметры системы обслуживания:

- среднее значение времени обслуживания одного вагона

$$t_{\text{обсл}}^* = \sum_{i=1}^k \bar{t}_i p_i^* ;$$

- интенсивность обслуживания, т. е. среднее число обслуживаний вагонов за единицу времени,

$$\mu = \frac{1}{t_{\text{обсл}}^*} ;$$

- теоретическую частоту при показательном распределении времени обслуживания

$$P(t) = e^{-\mu t} .$$

Результаты исследования времени обслуживания крытого вагона при погрузке и выгрузке тарно-штучных грузов приведены в табл. 2.

При уровне значимости $\alpha = 0,05$ $\chi^2_{0,05} = 11,1$; неравенство $\chi^2_{0,05} > \chi^2$ выполнено. На основании расчётов параметров системы обслуживания, приведенных в табл. 2, построена кривая распределения обслуживания крытого вагона электропогрузчиком при $t_{\text{обсл}} = 70,5$ мин и $\mu = 0,015$ обслуживания за одну минуту (рис. 3).

Анализ кривой, показанной на рис. 3, позволяет сделать вывод, что при выбранном уровне значимости нулевая гипотеза о соответствии статистического распределения экспоненциальному не может быть отклонена.

В итоге, зная среднее значение λ и $t_{\text{обсл}}$, можно определить среднее время простоя вагонов под ожиданием обслуживания, под грузовыми операциями, а также простоя погрузочно-разгрузочных машин.

Среднее время ожидания обслуживания одного вагона определяется по формуле [6]

$$t_{\text{ож}} = \frac{\rho \cdot t_{\text{обсл}}}{1 - \rho} ,$$

ТАБЛИЦА 2. Статистическое и теоретическое распределения времени обслуживания вагонов

| Время обслуживания t_i , мин | Наблюдаемая частота h_i | Статистическая частота p_i^* | Математическое ожидание $p_i^* t_i$ | Теоретическая частота p_i | x^2 |
|--------------------------------|---------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|--------|
| 0–30 | 90 | 0,3202 | 4,8042 | 0,3465 | 0,1428 |
| 30–60 | 55 | 0,1957 | 8,8078 | 0,2264 | 0,0110 |
| 60–90 | 45 | 0,1601 | 12,0106 | 0,1479 | 0,0001 |
| 90–120 | 35 | 0,1245 | 13,0782 | 0,0967 | 0,0625 |
| 120–150 | 24 | 0,0854 | 11,5302 | 0,0631 | 0,9000 |
| 150–180 | 18 | 0,0640 | 10,5694 | 0,0412 | 1,5000 |
| 180–210 | 14 | 0,0498 | 9,7153 | 0,0269 | 1,0000 |
| Итого | 281 | 1,0000 | 70,5160 | 0,9491 | 3,7053 |

Примечания. $t_{\text{общ}}^* = 70,5$ мин; $\mu = 0,015$; $R = 7 - 2 = 5$; $x^2 = 3,70$; $P(x^2) = 0,60$.

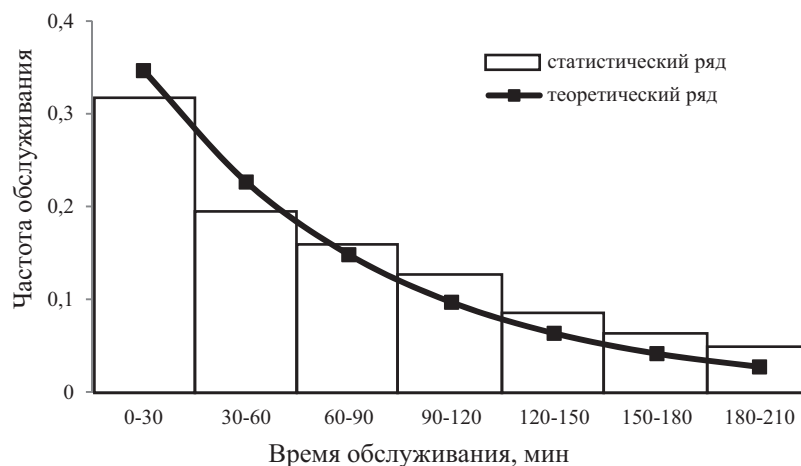


Рис. 3. График функции распределения обслуживания крытого вагона

где ρ – нагрузка погрузочно-разгрузочного участка, $\rho = \frac{\lambda}{\mu}$.

Среднее время простоя одного вагона под погрузочно-разгрузочными операциями определяется следующим образом:

$$t_{\text{пр}} = \frac{1}{t_{\text{см}}} \cdot \left(t_{\text{ож}} + t_{\text{н}} + \frac{q}{z \cdot Q_{\text{час}} \cdot x_{\text{п}}} \right),$$

где $t_{\text{н}}$ – нормированное время простоя под подготовительно-заключительными операциями для одного вагона, ч; $Q_{\text{час}}$ – произво-

дительность погрузочно-разгрузочного механизма, т/ч; q – размер транспортной партии груза (нагрузка вагона), т.

Определение оптимальных параметров погрузочно-разгрузочного участка с помощью построения модели

Функция $C_{\text{общ}}(z, x_{\text{п}}, t_{\text{см}}, T_{\text{п}})$, непрерывная при $z \geq z_{\text{мин}}$; $x_{\text{п}} \geq x_{\text{п}}^{\text{мин}}$; $t_{\text{см}} \geq t_{\text{см}}^{\text{мин}}$; $T_{\text{п}} \geq T_{\text{п}}^{\text{мин}}$, имеет частные производные. Приведем функционал

к минимуму, перебирая параметры, – таким образом решается поставленная задача.

Алгоритм поиска оптимальных параметров погрузочно-разгрузочного участка включает следующие этапы:

- определение минимально допустимых значений параметров;
- последовательное увеличение параметров на одну единицу, для каждого этого значения определяется величина приведенных расходов. Перебор продолжается до тех пор, пока приведенные расходы не начнут увеличиваться.
- продолжение перебора до тех пор, пока не будут найдены оптимальные параметры, соответствующие минимуму суммарных приведенных затрат.

Для случайного потока вызовов экономико-математической модели выражение приведенных затрат можно представить в виде

$$C_{\text{общ}}(z, x_{\text{п}}, t_{\text{см}}, T_{\text{п}}) = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 + C_6 + C_7 + C_8 + C_9 + C_{10}.$$

C_1 – расходы на заработную плату при погрузке (или разгрузке) транспортной партии груза:

$$C_1 = \frac{q \cdot w \cdot 20000 \cdot 1,34}{21 \cdot t_{\text{общ}}},$$

где w – трудоемкость погрузки (или разгрузки) 1 т груза (принимают $w = 0,0614$ чел.-ч/т для варианта погрузки или разгрузки пакетированных грузов на поддонах электропогрузчиком; $w = 0,171$ чел.-ч/т при трудоёмкости ручной погрузки-разгрузки с использованием поддонов и электропогрузчика, чел.-ч/т; 20 000 руб./мес. – средняя заработная плата рабочего в месяц; 1,34 – коэффициент страхового взноса; 21 день/мес. – среднее число рабочих дней в месяце.

C_2 – расходы на содержание железнодорожного пути погрузочно-разгрузочного участка:

$$C_2 = \left(\frac{m \cdot l_{\text{в}}}{x_{\text{п}}} + l_{\text{л}} \right) \cdot \frac{S_{\text{ж.д}} \cdot (2 + 6 + 2, 2)}{365},$$

где m – количество вагонов, ваг.; $l_{\text{в}}$ – длина пути для установки одного вагона, м; $l_{\text{л}}$ – длина пути для установки одного локомотива, м; $S_{\text{ж.д}}$ – удельный показатель стоимости сооружения погонного метра железнодорожного пути (из расчета 33 млн руб./км), 33 000 руб./пог. м; 2% – норма амортизационных отчислений за год на полное восстановление и капитальный ремонт строительных сооружений; 6% – норма отчислений на текущий ремонт строительных сооружений; 2,2% – ставка налога на имущество.

C_3 – расходы на эксплуатацию погрузочно-разгрузочных машин:

$$C_3 = z \cdot \frac{S_{\text{п.р.м}} \cdot 50 \cdot (10 + 6 + 2, 2)}{365},$$

где $S_{\text{п.р.м}}$ – стоимость погрузочно-разгрузочных машин, 35 000 долл. США; 50 руб./долл. – курс 1 долл. США по ставке Центробанка на 25.05.2015 г.; 10% – норма амортизационных отчислений за год на полное восстановление и капитальный ремонт электропогрузчика.

C_4 – расходы на эксплуатацию крытой рампы:

$$C_4 = L_{\text{гр}} \cdot \frac{5,5 \cdot 50 \cdot 55 \cdot (2 + 6 + 2, 2) \cdot 1,1}{365},$$

где 5,5 – ширина крытой грузовой рампы, м; $L_{\text{гр}}$ – длина грузовой рампы для установки вагонов под погрузку или разгрузку, м; 55 – удельная стоимость 1 м² крытой грузовой рампы, долл./м²; 1,1 – коэффициент, учитывающий стоимость освещения грузовой рампы.

C_5 – расходы на раздвижные ворота из склада на рампу:

$$C_5 = n_{\text{вр}} \cdot \frac{S_{\text{вр}} \cdot 50 \cdot (10 + 6 + 2, 2)}{365},$$

где $n_{\text{вр}}$ – количество раздвижных ворот из склада на рампу; $S_{\text{вр}}$ – стоимость раздвижных ворот из склада на рампу, с электроприводом, долл.

C_6 – расходы, связанные с простоем вагонов под погрузочно-разгрузочными операциями:

$$C_6 = T_{\text{пр}} \cdot S_{\text{пр}} = m \cdot \frac{1}{t_{\text{см}}} \left(t_{\text{ож}} + t_{\text{н}} + \frac{q}{z \cdot Q_{\text{час}} \cdot x_{\text{П}}} \right) \cdot S_{\text{пр}},$$

где $T_{\text{пр}}$ – общее время простоя вагонов под погрузочно-разгрузочными операциями за время $t_{\text{см}}$, ч; $S_{\text{пр}}$ – стоимость простоя вагоно-часа под погрузкой и разгрузкой, руб.

C_7 – расходы, связанные с простоем погрузочно-разгрузочных машин:

$$C_7 = T_{\text{пм}} \cdot S_{\text{пм}} = (z \cdot t_{\text{см}} - m \cdot t_{\text{обс}}) \cdot S_{\text{пм}},$$

где $T_{\text{пм}}$ – общее время простоя всех погрузочно-разгрузочных машин за рабочее время погрузочно-разгрузочного участка, ч; $S_{\text{пм}}$ – стоимость простоя погрузочно-разгрузочных машин, руб.

C_8 – расходы на содержание запаса поддонов на складе:

$$C_8 = \frac{Q_{\text{сут}} \cdot T_{\text{П}}}{G} \cdot \frac{S_{\text{П}} \cdot (18,1 + 6 + 2,2)}{365},$$

где $T_{\text{П}}$ – время, на которое должен быть запас пустых поддонов, сут.; $S_{\text{П}}$ – стоимость одного стандартного плоского деревянного поддона, руб.; 18,1 – амортизационные отчисления по деревянным поддонам, %.

C_9 – расходы на перемещение транспортного пакета:

$$C_9 = \frac{Q_{\text{сут}} \cdot S_{\text{сэ}} \cdot 1,1}{x_{\text{П}}} \cdot \left(\frac{t_3 \cdot t_3 \cdot N_3 \cdot \eta}{G \cdot t_{\text{обс}}} \right),$$

где $S_{\text{сэ}}$ – стоимость 1 кВт·ч силовой электроэнергии, руб./кВт·ч; t_3 – время цикла работы электропогрузчика при транспортировке одного пакета с погрузочно-разгрузочного участка на склад (принимают $t_3 = 0,05$ ч для пакетированных грузов; $0,04$ ч – для ручной укладки грузов на поддон в вагоне), ч; t_3 – вре-

мя зарядки аккумуляторной батареи электропогрузчика, ч; N_3 – установленная мощность электродвигателей на электропогрузчики, кВт; η – коэффициент использования мощности для машин циклического действия.

C_{10} – расходы, связанные с подачей и уборкой вагонов с погрузочно-разгрузочного участка:

$$C_{10} = x_{\text{П}} \cdot t_{\text{м}} \cdot S_{\text{л}},$$

где $t_{\text{м}}$ – суммарная продолжительность подачи и уборки вагонов, ч; $S_{\text{л}}$ – стоимость одного локомотиво-часа при маневровых работах, руб.

С учетом изложенных соображений при перерабатывающей способности погрузочно-разгрузочного участка $Q_{\text{пер}} = 180$ т/сут, длине склада $L_{\text{скл}} = 72$ м, часовой производительности погрузчика $Q_{\text{час}} = 37,8$ т/ч, транспортной партии груза (нагрузке вагона) 20 т составим упрощенное развернутое выражение приведенных затрат, зависящих от переменных z , $x_{\text{П}}$, $t_{\text{см}}$, $T_{\text{П}}$.

Для варианта погрузки или выгрузки пакетированных грузов погрузчиком:

$$C_{\text{общ}}(z, x_{\text{П}}, t_{\text{см}}, T_{\text{П}}) = 1588 + \frac{837}{x_{\text{П}}} + 872 \cdot z + \frac{330}{t_{\text{см}}} \cdot \left(31,9 + \frac{44}{z \cdot x_{\text{П}}} \right) + 40 \cdot t_{\text{см}} \cdot z + \frac{475}{x_{\text{П}}} + 225 \cdot x_{\text{П}}.$$

Для варианта укладки штучных грузов на поддон вручную, перемещения груженых поддонов погрузчиком:

$$C_{\text{общ}}(z, x_{\text{П}}, t_{\text{см}}, T_{\text{П}}) = 3267 + \frac{837}{x_{\text{П}}} + 872 \cdot z + \frac{330}{t_{\text{см}}} \cdot \left(31,9 + \frac{44}{z \cdot x_{\text{П}}} \right) + 40 \cdot t_{\text{см}} \cdot z + 52 \cdot T_{\text{П}} + \frac{380}{x_{\text{П}}} + 225 \cdot x_{\text{П}}.$$

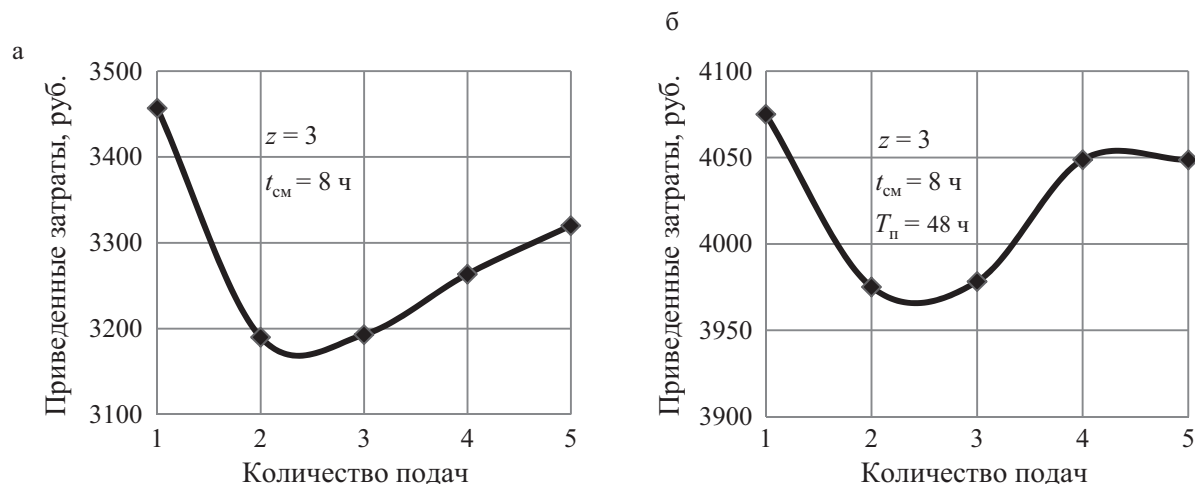


Рис. 4. Зависимость приведенных затрат погрузочно-разгрузочного участка тарно-штучных грузов:

а) в пакетах, перемещение погрузчиками; б) укладка на поддон вручную, перемещение груженых поддонов погрузчиками

На рис. 4 даны графики зависимости приведенных затрат при $Q_{\text{сут}} = 180$ т/сут, $z = 3$; $t_{\text{см}} = 8$ ч; $T_{\text{п}} = 48$ ч.

Заключение

Анализ входящих потоков на погрузочно-разгрузочные участки показывает, что большинство из них являются простейшими. Оптимальные параметры на погрузочно-разгрузочные операции зависят, в первую очередь, от типа вагонов, так как с повышением грузоподъемности их количество увеличивается.

Также потребность зависит от технологии перевозки тарно-штучных грузов в крытых вагонах: при их перевозке на поддонах требуется меньшее число погрузочно-разгрузочных машин, чем навалом, так как загрузка или разгрузка происходят с высокой скоростью. Сравнение результатов расчетов параметров погрузочно-разгрузочного участка показало, что для детерминированной и недетерминированной моделей значения совпадают и при поставленной задаче оптимизации можно ограничиться детерминированной моделью.

Библиографический список

1. Болотин В. А. Техничко-экономическое обоснование вариантов складов на железнодорожном транспорте : учеб. пособие / В. А. Болотин, О. Б. Ковалёнок, Е. К. Коровяковский. – СПб. : Петербург. гос. ун-т путей сообщения, 2011. – 65 с.
2. Коровяковская Ю. В. Складские комплексы как элементы логистической цепи / Ю. В. Коровяковская, О. Б. Маликов // Вестн. инж.-электромехаников ж.-д. трансп. – 2003. – Вып. 1. – С. 222–224.
3. Коровяковский Е. К. Проблемы развития системы логистических центров на железнодорожном транспорте / Е. К. Коровяковский // Логистич. системы в глобальной экономике. – 2013. – № 3–1. – С. 121–125.
4. Кудрявцев В. А. Применение математических методов в эксплуатационных расчётах на железнодорожном транспорте : методич. указания. Ч. 1 / В. А. Кудрявцев, Е. М. Жуковский, Ю. И. Ефименко и др. ; под общ. ред. В. А. Кудрявцева. Л. : ЛИИЖТ, 1977. – 65 с.
5. Маликов О. Б. О комплексном проектировании складов / О. Б. Маликов // Логистика. – 2014. – № 2. – С. 20–22.
6. Смехов А. А. Математические модели процессов грузовой работы / А. А. Смехов. – М. : Транспорт, 1982. – 256 с.

References

1. Bolotin V.A., Kovalenok O.B. & Korovyakovskiy Ye. K. *Tekhniko-ekonomicheskoye obosnovaniye variantov skladov na zheleznodorozhnom transporte: uchebnoye posobiye* [Feasibility Study of Warehousing Options on Railway Transport: Study Guide]. St. Petersburg, Petersburg State Transport University, 2011. 65 p.

2. Korovyakovskaya Yu. V. & Malikov O. B. *Vestnik inzhenerov-elektromekhanikov zheleznodorozhnogo transporta – Bull. of the Railway Transp. Electrical Eng.*, 2003, Is. 1, pp. 222-224.

3. Korovyakovskiy Ye. K. *Logisticheskiye sistemy v globalnoy ekonomike – Logistical Syst. in Global Economy*, 2013, No. 3–1, pp. 121-125.

4. Kudryavtsev V.A., Zhukovskiy Ye. M., Yefimenko Yu. I., Romanov A. P. & Semenov V. M. *Primeneniye matematicheskikh metodov v ekspluatatsionnykh*

raschetakh na zheleznodorozhnom transporte: metodicheskiye ukazaniya [Applying Mathematical Methods to Operational Calculations in Railway Transport: Instructional Guidelines], ed. V.A. Kudryavtsev. Pt. 1. Leningrad, LIIZhT, 1977. 65 p.

5. Malikov O. B. *Logistika – Logistics*, 2014, No. 2, pp. 20-22.

6. Smekhov A. A. *Matematicheskiye modeli protsessov gruzovoy raboty* [Mathematical Simulations of Freight Operation Processes]. Moscow, Transport, 1982. 256 p.

ИЛЕСАЛИЕВ Дауренбек Ихтиярович – аспирант, ilesalev@mail.ru (Петербургский государственный университет путей сообщений Императора Александра I)