

УДК 656.224/225

Н. П. НЕГРЕЙ, кандидат технических наук, С. Н. КАЛЕНИК, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

### ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ ТРАНСПОРТНО-ГРУЗОВОГО ТЕРМИНАЛА

Исследована оптимизация режимов обслуживания транспортно-грузового терминала, определены оптимальные параметры взаимодействия железнодорожного и автомобильного транспорта.

Под оптимизацией понимают процесс выбора наилучшего варианта из множества всех возможных. С точки зрения инженерных расчетов методы оптимизации позволяют выбирать наилучший вариант конструкции, технологии, наилучшее распределение ресурсов и так далее.

В процессе решения задач оптимизации, как правило, необходимо найти оптимальное значение некоторых параметров, которые определяют данную задачу. При решении инженерных задач их принято называть проектными параметрами. Число проектных параметров характеризует размерность (степень сложности) задачи оптимизации.

Выбор оптимального решения или сравнения двух альтернативных решений проводится с помощью некоторой зависимой величины (функции), которая определяется проектными параметрами. Эта величина называется целевой функцией или критерием качества. В процессе решения задачи оптимизации должны быть найдены такие значения проектных параметров, при которых целевая функция имеет максимум (или минимум). Таким образом, целевая функция – это глобальный критерий оптимальности в математических моделях, с помощью которых описываются инженерные задачи.

В теории оптимизации работы транспортно-грузовых логистических центров важное место занимает оптимизация режимов обслуживания грузовых терминалов. Исследованию этого процесса большое внимание уделял профессор И. Г. Тихомиров. Широко известна его формула для расчета оптимального количества подач уборок:

$$X_{пу} = \sqrt{\frac{n_{п} e_{в-ч} (C + 24)}{t_{пу} e_{л-ч}}}, \quad (1)$$

где  $n_{п}$  – среднесуточное количество поступающих на грузовой пункт вагонов;  $e_{в-ч}$  – стоимость одного вагоно-часа;  $e_{л-ч}$  – стоимость одного маневрового локомотива-часа;  $C$  – параметр накопления;  $t_{пу}$  – время на маневровую работу по подаче и уборке вагонов, включая подборку, расстановку, сборку и сортировку вагонов.

Принципиальным недостатком формулы является наличие зависимости между параметрами  $X_{пу}$  и  $t_{пу}$ . Без знания  $X_{пу}$  невозможно точно определить  $X_{пу}$ , и наоборот. Поэтому, используя методы оптимизации целевой функции с ограничителями, В. В. Скоробогатко получена формула для определения числа подач-уборок вагонов к грузовому фронту в сутки:

$$X_{пу} = \frac{n_{сут}^p}{\sqrt{\frac{y(1+t_{под})}{0,25 + 30 \frac{P_{тех}^{(в)}}{z_p Q_ч}}}}, \quad (2)$$

где  $n_{сут}^p$  – расчетный суточный вагонопоток;  $y$  – отношение стоимости маневрового локомотива-часа к стоимости вагоно-часа простоя;  $t_{под}$  – время на подачу групп вагонов со станции ее формирования до грузового фронта.

Число подач-уборок округляют до целого значения, и оно должно удовлетворять условию

$$\frac{n_{сут}^p l_{в}}{L_{фр}^ж} \leq X_{пу} \leq \frac{k_{см} t_{см}}{m_{п.у.} \frac{P_{тех}^{(в)}}{\beta z Q_ч}}, \quad (3)$$

где  $L_{фр}^ж$  – длина фронта работ со стороны установки железнодорожного подвижного состава, м,

$$L_{фр}^ж = m_{под} l_{в} + a_{м}; \quad (4)$$

$m_{под}$  – число вагонов в подаче-уборке;  $a_{м}$  – удлинение грузового фронта, необходимое для маневрового локомотива (по длине локомотива), м;  $\beta$  – доля грузопереработки с участием железнодорожного подвижного состава,  $\beta = 0,75$ .

Пример расчета подач-уборок по грузовым фронтам терминала приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Расчет подач-уборок

Наименование грузового фронта	Число подач-уборок
Площадка для крупнотоннажных контейнеров	$X_{пу} = \frac{8}{\sqrt{\frac{5(1+45)}{0,25 + 30 \cdot \frac{57}{2 \cdot 1715}}}} = 0,23 = 1;$ $L_{фр}^ж = 10 \cdot 20 + 25 = 225 \text{ м};$ $\frac{8 \cdot 20}{225} \leq 1 \leq \frac{2 \cdot 7}{10 \cdot 57};$ $\frac{2 \cdot 7}{10 \cdot 57} = \frac{0,75 \cdot 2 \cdot 1715}{10 \cdot 57};$ <p>Условие выполняется</p>

Наименование грузового фронта	Число подач-уборок
Тарно-упаковочные грузы	$X_{\text{пу}} = \frac{8}{\sqrt{\frac{5(1+45)}{0,25+30 \cdot \frac{30}{3 \cdot 823}}}} = 0,41 = 1;$ $L_{\text{фр}}^{\text{ж}} = 16 \cdot 20 + 25 = 345 \text{ м};$ $\frac{8 \cdot 20}{345} \leq 1 \leq \frac{2 \cdot 7}{\frac{16 \cdot 30}{0,75 \cdot 3 \cdot 823}};$ <p>Условие выполняется</p>
Повышенный путь	$X_{\text{пу}} = \frac{26}{\sqrt{\frac{5(1+45)}{0,25+30 \cdot \frac{65}{7 \cdot 823}}}} = 1,3 = 2;$ $L_{\text{фр}}^{\text{ж}} = 22 \cdot 20 + 25 = 465 \text{ м};$ $\frac{26 \cdot 20}{465} \leq 2 \leq \frac{2 \cdot 7}{\frac{22 \cdot 65}{0,75 \cdot 7 \cdot 823}};$ <p>Условие выполняется</p>
Тяжеловесная площадка	$X_{\text{пу}} = \frac{6}{\sqrt{\frac{5(1+45)}{0,25+30 \cdot \frac{58}{2 \cdot 1715}}}} = 0,35 = 1;$ $L_{\text{фр}}^{\text{ж}} = 32 \cdot 20 + 25 = 665 \text{ м};$ $\frac{6 \cdot 20}{665} \leq 2 \leq \frac{2 \cdot 7}{\frac{32 \cdot 58}{0,75 \cdot 2 \cdot 1715}};$ <p>Условие выполняется</p>

Большие возможности для повышения эффективности перевозочного процесса открывает контейнеризация. Ответственным процессом работы контейнерного терминала является взаимодействие железнодорожного и автомобильного видов транспорта.

Работа контейнерного терминала представляет собой систему массового обслуживания с двумя разнородными потоками требований, обслуживаемых одним аппаратом. Продолжительность нахождения подач вагонов на контейнерном пункте определяется технологическим процессом станции и графиками маневрового обслуживания грузовых фронтов. Время пребывания автомобилей в системе складывается из периода ожидания обслуживания и собственно грузовой операции.

Для организации вывоза контейнеров на контейнерную площадку поступает поток автомобилей, имеющий, как правило, пуассоновский закон распределения с установленной интенсивностью  $\lambda_a$ .

Обработка вагонов и автомобилей на однопутном контейнерном пункте происходит в следующей последовательности.

После подачи вагонов к контейнерной площадке и их расстановки предусматривается совместная обработка вагонов и автомобилей в течение периода времени  $t_c$ .

Если к моменту уборки вагонов  $t_2$  вагоны не выгружены (погружены), то необходимо заранее прекратить обслуживание автомобилей и в течение промежутка времени  $t_3$  обрабатывать вагоны.

При случайном подходе автомобилей совместную обработку вагонов и автомобилей следует прекратить, если

$$k_p t_a + m_{\text{пу}} n T_{\text{ц}} > \frac{12}{x_{\text{пу}}} - t_{\text{пз}}, \quad (5)$$

где  $k_p$  – расчётное количество автомобилей, которое прибудет на грузовой пункт;  $t_a$  – время обслуживания автомобиля;  $m_{\text{пу}}$  – количество вагонов в одной подаче,

$$m_{\text{пу}} = \frac{n_p}{x_{\text{пу}}}; \quad (6)$$

$x_{\text{пу}}$  – количество подач-уборок вагонов за сутки;  $n$  – число контейнеров, помещаемых на одну платформу;  $T_{\text{ц}}$  – продолжительность рабочего цикла крана при выгрузке контейнера с вагона;  $t_{\text{пз}}$  – продолжительность перезарядки грузового фронта.

Вероятность того, что в течение промежутка времени  $(t_c + t_a)$  прибудет более  $k_p$  автомобилей, определяется с помощью функции нормального распределения, которое при больших значениях  $k_p$  хорошо аппроксимирует пуассоновское распределение.

Используя таблицы Лапласа, получим

$$P_{k_p} = 1 - \Phi \left( \frac{k_p - \lambda_a \left( \frac{12}{x_{\text{пу}}} - t_{\text{пз}} \right)}{\sqrt{\lambda_a \left( \frac{12}{x_{\text{пу}}} - t_{\text{пз}} \right)}} \right). \quad (7)$$

Устанавливается вероятность  $P_{k_p}$ , что вагоны не будут выгружены к моменту времени  $t_2$ . Продолжительность совместной обработки вагонов и автомобилей определяется при условии, что вагоны должны быть выгружены к моменту уборки с вероятностью 0,95. Следовательно, вероятность того, что вагоны не будут выгружены к моменту  $t_2$ ,  $1 - 0,95 = 0,05$ .

При таком уровне вероятности расчётное количество автомобилей определяется из выражения

$$0,05 = 1 - \Phi \left( \frac{k_p - \lambda_a \left( \frac{12}{x_{\text{пу}}} - t_{\text{пз}} \right)}{\sqrt{\lambda_a \left( \frac{12}{x_{\text{пу}}} - t_{\text{пз}} \right)}} \right). \quad (8)$$

Продолжительность периода, когда необходимо обслуживать только вагоны,

$$t_b = k_p t_a + m_{\text{пу}} n t_y - \frac{12}{x_{\text{пу}}} + t_{\text{пз}}. \quad (9)$$

Совместную обработку вагонов и автомобилей следует производить в течение

$$t_c = \frac{12}{x_{пу}} - 1 - t_b. \quad (10)$$

Сравнение двух вариантов технологии для контейнерного пункта при перевозке крупнотоннажных контейнеров:

- на обычной платформе;
- на длиннобазной платформе.

Первый вариант:

$$m_{пу} = \frac{8}{3} = 3 \text{ вагона};$$

$$k_p \cdot 0,2 + 3 \cdot 2 \cdot 0,2 > \frac{12}{3} - 1;$$

$$k_{\delta} \cdot 0,2 + 1,2 > 4 - 1 - 1,2;$$

$$k_p > 9 \text{ автомобилей};$$

$$P_{k_{p>9}} = 1 - \Phi \left( \frac{k_p - 3 \left( \frac{12}{3} - 1 \right)}{\sqrt{3 \left( \frac{12}{3} - 1 \right)}} \right);$$

$$P_{k_{p>9}} = 1 - \Phi \left( \frac{9 - 9}{\sqrt{9}} \right);$$

$$P_{k_{p>9}} = 1 - \Phi(0);$$

$$P_{k_{p>9}} = 1 - 0,5 = 0,5.$$

Таким образом, с вероятностью 0,5 вагоны не будут выгружены к моменту времени  $t_2$ . Продолжительность совместной обработки вагонов и автомобилей опреде-

ляется при условии, что вагоны должны быть выгружены к моменту уборки с вероятностью 0,95. Следовательно, вероятность того, что вагоны не будут выгружены к моменту  $t_2$ ,  $1 - 0,95 = 0,05$ .

При таком уровне вероятности определяется расчётное количество автомобилей:

$$0,05 = 1 - \Phi \left( \frac{k_p - 9}{\sqrt{9}} \right);$$

$$\frac{k_p - 9}{\sqrt{9}} = 1,64;$$

$$k_p = 1,64 \cdot \sqrt{9} + 9 = 14 \text{ автомобиле-ездок}.$$

Проверка условия совместной обработки вагонов и автомобилей:

$$14 \cdot 0,2 + 3 \cdot 2 \cdot 0,2 > \frac{12}{3} - 1;$$

$$4 > 3, \text{ условие соблюдается}.$$

Продолжительность периода, когда необходимо обслуживать только вагоны,

$$t_b = 14 \cdot 0,2 + 3 \cdot 2 \cdot 0,2 - \frac{12}{3} + 1 = 1 \text{ ч}.$$

Совместную обработку вагонов и автомобилей следует проводить в течение

$$t_c = \frac{12}{3} - 1 - 1 = 2 \text{ ч}.$$

Процесс обработки автомобилей при перевозке на обычной платформе и одной подачи вагонов на контейнерной площадке показан на рисунке 1.

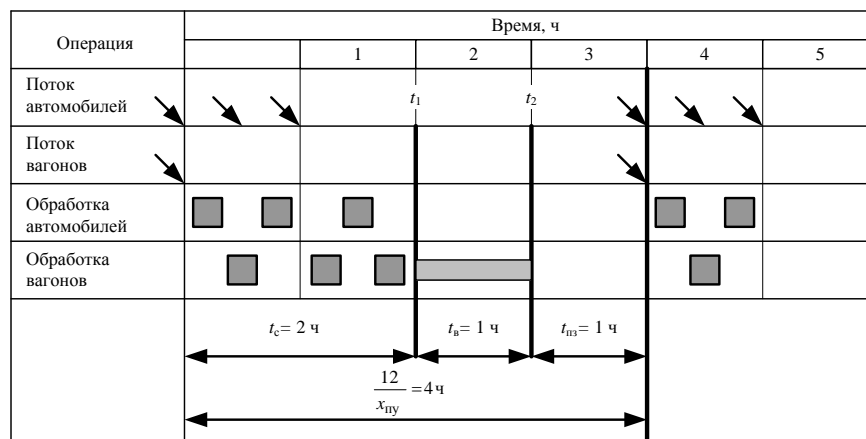


Рисунок 1— Процесс обработки автомобилей при перевозке на обычной платформе и одной подачи вагонов на контейнерной площадке

Второй вариант:

$$m_{пу} = \frac{8}{3} = 3 \text{ вагона};$$

$$k_p \cdot 0,2 + 3 \cdot 3 \cdot 0,2 > \frac{12}{3} - 1;$$

$$k_p \cdot 0,2 + 1,8 > 4 - 1;$$

$$k_p \cdot 0,2 > 1,2;$$

$$k_p > 6 \text{ автомобилей};$$

$$P_{k_{p>6}} = 1 - \Phi \left( \frac{k_p - 3 \left( \frac{12}{3} - 1 \right)}{\sqrt{3 \left( \frac{12}{3} - 1 \right)}} \right);$$

$$P_{k_{p>6}} = 1 - \Phi\left(\frac{6-9}{\sqrt{9}}\right);$$

$$P_{k_{p>6}} = 1 - \Phi(-1);$$

$$P_{k_{p>6}} = 1 - 0,15 = 0,85.$$

Таким образом, с вероятностью 0,85 вагоны не будут выгружены к моменту времени  $t_2$ . Продолжительность совместной обработки вагонов и автомобилей определяется при условии, что вагоны должны быть выгружены к моменту уборки с вероятностью 0,95. Следовательно, вероятность того, что вагоны не будут выгружены к моменту  $t_2$ ,  $1 - 0,95 = 0,05$ .

При таком уровне вероятности определяем расчетное количество автомобилей:

$$0,05 = 1 - \Phi\left(\frac{k_p - 9}{\sqrt{9}}\right);$$

$$\frac{k_p - 9}{\sqrt{9}} = 1,64;$$

$$k_p = 1,64 \cdot \sqrt{9} + 9 = 14 \text{ автомобиле-ездок.}$$

Проверка условия совместной обработки вагонов и автомобилей:

$$14 \cdot 0,2 + 3 \cdot 3 \cdot 0,2 > \frac{12}{3} - 1;$$

$$4,6 > 3, \text{ условие соблюдается.}$$

Продолжительность периода, когда необходимо обслуживать только вагоны,

$$t_B = 14 \cdot 0,2 + 3 \cdot 3 \cdot 0,2 - \frac{12}{3} + 1 = 1,6 \text{ ч.}$$

Совместную обработку вагонов и автомобилей следует проводить в течение

$$t_c = \frac{12}{3} - 1 - 1,6 = 1,4 \text{ ч.}$$

Процесс обработки автомобилей при перевозке на длиннобазной платформе и одной подачи вагонов на контейнерной площадке показан на рисунке 2.

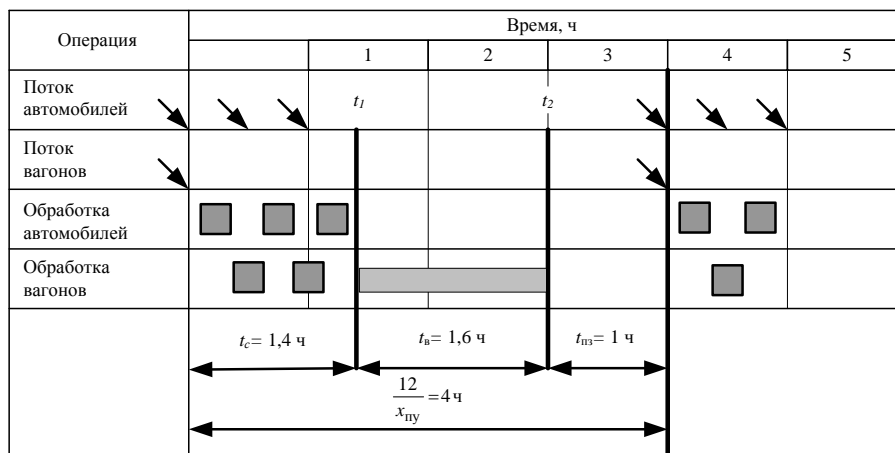


Рисунок 2 – Процесс обработки автомобилей при перевозке на длиннобазной платформе и одной подачи вагонов на контейнерной площадке

Таким образом, при перевозке крупнотоннажных контейнеров на обычной платформе обработку вагонов и автомобилей целесообразно производить следующим образом: совместная обработка вагонов и автомобилей – 2 ч, обработка только вагонов – 1 ч. При перевозке крупнотоннажных контейнеров на длиннобазной платформе: совместная обработка вагонов и автомобилей – 1,4 ч, обработка только вагонов – 1,6 ч.

Реализация представленных методических подходов позволяют дать обоснование технологии работы грузового пункта, необходимых ресурсов и параметров об-

служивания вагонов на грузовом фронте с учетом взаимодействия с иными видами транспорта.

#### Список литературы

- 1 Вентцель, П. Ф. Исследование операций / П. Ф. Вентцель. – М. : Советское радио, 1972. – 552 с.
- 2 Взаимодействие различных видов транспорта: (примеры и расчеты) / Н. В. Правдин [и др.]: – М. : Транспорт, 1989. – 208 с.
- 3 Производство погрузочно-разгрузочных работ. Терминалы : учеб. пособие / Н. П. Берлин [и др.]. – Гомель : БелГУТ, 2014. – 502 с.

Получено 17.06.2015

**N. P. Negrey, S. N. Kalenik.** Optimization of operation of the transport and cargo terminal.

Optimization of the modes of service of the transport and cargo terminal is investigated, optimum parameters of interaction of the railway and motor transport are determined.