

## ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖИМА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПОГРУЗОЧНО-РАЗГРУЗОЧНОГО ФРОНТА

**Е.В. Нагорный, профессор, д.т.н.,  
А.В. Павленко, доцент, к.т.н., ХНАДУ**

***Аннотация.** Определяются оптимальные режимы функционирования погрузочно-разгрузочного фронта по выбранным критериям. При этом используется разработанная модель на основе сетей Петри, с помощью которой моделируется производственная ситуация на погрузочно-разгрузочном фронте.*

***Ключевые слова:** погрузочно-разгрузочный фронт, оптимальный режим, критерии, модель, производственная ситуация.*

### Введение

Эффективное функционирование транспортного процесса по доставке грузов в системе производственных процессов имеет большое значение. Грузовладельцы предъявляют высокие требования к срокам доставки и к сохранности перевозимого груза. Поэтому важнейшее значение приобретает повышение надежности работы отдельных подсистем, а именно определение оптимальных режимов их функционирования.

### Анализ последних достижений

Процесс взаимодействия грузовладельцев и грузовых станций рассматривается по принципу системного моделирования деятельности элементов производственно-транспортной цепи [1]. Основной акцент ставился на учет интересов потребителей транспортной продукции, при этом предлагалось использовать принципы логистики, которые заключаются в системном подходе к функционированию транспорта в целом и отдельных его составляющих.

Разработанные концепции реструктуризации работы узлов направлены, прежде всего, на концентрацию погрузочно-разгрузочных работ, которая предусматривает улучшение использования транспортных средств, складов, механизмов, маневровых средств [2].

Использование различных математических методов для оптимального управления грузопотоками не привело к улучшению работы транспортных узлов из-за недостатков существующих методик [3]. Предлагается новый метод моделирования с помощью теории сетей Петри, которые позволяют глубоко исследовать поведение системы и получить информацию о наиболее важных ее характеристиках.

Предлагается рассматривать грузовые станции как “центры прибыли”, и при внедрении прогрессивной технологии перевозок „от двери до двери” они смогут управлять потоками грузов и участвовать в их доставке получателям [4]. Следовательно, функционирование как грузовой станции, так и погрузочно-разгрузочного фронта должно быть направлено на ускорение доставки грузов за более короткий период при минимальных затратах.

### Цели и постановка задачи

Функционирование погрузочно-разгрузочного фронта должно осуществляться на основе выбора оптимальных режимов. В этом случае необходимо определить критерии оптимизации, произвести анализ производственной ситуации, а также, используя принципы моделирования, определить оптимальные режимы функционирования погрузочно-разгрузочного фронта.

### Определение критериев оптимизации

Решение задачи оптимального режима функционирования погрузочно-разгрузочного фронта (ПРФ) требует решения задачи минимизации значений времени нахождения груза на ПРФ  $T_p$  и затрат, связанных с выполнением операций, производимых на ПРФ  $C_{\text{пρφ}}$

$$T_p \rightarrow \min, \quad (1)$$

$$C_{\text{пρφ}} \rightarrow \min. \quad (2)$$

При этом время нахождения груза на ПРФ в течение суток состоит из ряда переменных

$$T_p = t_{\text{пу}}^{\text{ож}} + t_{\text{пр}} + t_{\text{пр}}^{\text{ож}} + t_{\text{пу}} + t_{\text{а}}^{\text{ож}} + t_{\text{а}}, \quad (3)$$

где  $t_{пу}^{ож}, t_{пр}^{ож}, t_a^{ож}$  – продолжительность ожидания соответственно подачи-уборки вагонов, погрузки-выгрузки и грузовых операций автомобилями, ч;  $t_{пу}, t_{пр}, t_a$  – продолжительность соответственно подачи-уборки вагонов, погрузки-выгрузки вагонов и погрузки-выгрузки автомобиля, ч.

При определении времени нахождения груза на ПРФ время на ожидание грузовых операций автомобилями и время на погрузку-выгрузку автомобиля принимаются как постоянные.

Затраты, связанные с выполнением операций, производимых на ПРФ, будут равны

$$C_{прф} = \sum_{i=1}^k C_i, \quad (4)$$

где  $k$  – виды затрат на выполнение операций на ПРФ.

$$\sum_{i=1}^k C_i = C_{ам} + C_{гр} + C_m + C_{оп} + C_{ап} + C_{об} + C_a + C_b, \quad (5)$$

где  $C_{ам}$  – затраты, связанные с амортизацией и ремонтом ПРМ, грн./ч;  $C_{гр}$  – затраты, связанные с вагоночасами простоя вагонов при погрузке-выгрузке, а также при поступлении вагонов на грузовой фронт, грн./ч;  $C_m$  – затраты, связанные с подачей и уборкой вагонов, грн./ч;  $C_{оп}$  – затраты связанные с ожиданием грузовых операций вагонами, грн./ч;  $C_{ап}$  – затраты, на амортизацию и ремонт погрузочно-разгрузочных путей, грн./ч;  $C_{об}$  – затраты, связанные с ожиданием вагонами грузовых операций в виду занятости грузового фронта, грн./ч;  $C_a$  – затраты, связанные с ожиданием грузовых операций автомобилем, грн./ч;  $C_b$  – затраты, связанные с тем, что стоимость груза на время нахождения его на ПРФ извлекается из оборота, грн/ч.

Затраты, связанные с амортизацией и ремонтом ПРМ, определяются по формуле

$$C_{ам} = \frac{k_m \cdot z(\alpha_m + \gamma_m)}{365 \cdot 24}, \quad (6)$$

где  $k_m$  – стоимость одного ПРМ, грн.;  $\alpha_m$  – доля амортизационных отчислений на ПРМ;  $\gamma_m$  – коэффициент эффективности капитальных вложений в ПРМ, 365 – количество дней в году.

Затраты, связанные с вагоночасами простоя вагонов при погрузке-выгрузке, а также при поступлении вагонов на грузовой фронт

$$C_{гр} = \frac{N^2 P_{ст} a_b}{n_{прм} n_{под} W_{прм}}, \quad (7)$$

где  $N$  – среднесуточная погрузка и выгрузка, ваг.;  $P_{ст}$  – статическая нагрузка, т/ваг.;  $a_b$  – стоимость вагоночаса простоя, грн.;  $n_{прм}$  – количество ПРМ;  $n_{под}$  – количество подач на грузовой фронт;  $W_{прм}$  – производительность ПРМ, т/ч.

Затраты, связанные с подачей и уборкой вагонов

$$C_m = t_m a_m, \quad (8)$$

где  $t_m$  – время на подачу и уборку вагонов, ч;  $a_m$  – стоимость локомотивочаса, грн.

Затраты, связанные с ожиданием грузовых операций вагонами

$$C_{оп} = N a_b (1 + v_n) \cdot \left( \frac{T_{скл}}{2n_{под}} + \frac{(24 - T_{скл})^2}{48} \right), \quad (9)$$

где  $v_n$  – коэффициент вариации поступления вагонов на грузовой фронт;  $T_{скл}$  – продолжительность работы склада в течении суток, ч.

Затраты на амортизацию и ремонт погрузочно-разгрузочных путей (ПРП) с учетом нормативного коэффициента эффективности капиталовложений

$$C_{ап} = \frac{k_n l_b N (\alpha_n + \gamma_n)}{365 \cdot 24 n_{под}}, \quad (10)$$

где  $k_n$  – стоимость одного погонного метра ПРП, грн.;  $l_b$  – средняя длина вагона, м.;  $\alpha_n$  – коэффициент амортизационных отчислений на восстановление путей;  $\gamma_n$  – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений на погрузочно-разгрузочные пути.

Затраты, связанные с ожиданием вагонами грузовых операций в виду занятости грузового фронта

$$C_{об} = \frac{N^3 P_{ст}^2 (1 + v_b^2) a_b}{2 n_{под} n_{прм} W_{прм}} \cdot \frac{1}{(T_{скл} n_{прм} W_{прм} - P_{ст} N)}. \quad (11)$$

Затраты, связанные с ожиданием грузовых операций автомобилем

$$C_a = \frac{N_a N P_{ст} t_a (1 + v_a^2) a_c}{2 (T_{скл} n_{прм} W_{прм} - P_{ст} N)}, \quad (12)$$

где  $N_a$  – число грузовых операций с автомобилями;  $v_a$  – коэффициент вариации поступления

автомобилей на грузовой фронт;  $t_a$  – продолжительность выполнения грузовой операции с одним автомобилем, ч;  $a_c$  – стоимость автомобилечаса, грн.

Затраты, связанные с тем, что стоимость груза на время нахождения его на ПРФ извлекается из оборота

$$C_b = \frac{C_{гр} T_p D}{365}, \quad (13)$$

где  $C_{гр}$  – стоимость груза, грн.;  $D$  – норма дисконта.

Затраты, связанные с ожиданием грузовых операций автомобилем принимаются постоянными.

Местные вагонопотоки поступают на ПРФ с различной интенсивностью. Это приводит к возможному простоя вагонов, погрузочно-разгрузочных механизмов (ПРМ), как выгрузки, так и погрузки. Аналитически определить значения продолжительности операций сложно, особенно при постоянно меняющихся объемах грузодвижения. Поэтому для определения постоянно изменяющихся параметров необходимо использовать математический аппарат, который позволит учитывать вероятностные процессы, происходящие в работе погрузочно-разгрузочных фронтов, а также определять их оптимальные параметры функционирования [3].

### Выбор оптимального режима

Для повышения эффективности использования ПРФ в современных условиях необходима разработка новых подходов и методов организации работы, базирующихся на принципах логистики и моделирования.

Реализация принципов логистики и моделирования предусматривает разработку технологии функционирования отдельной подсистемы – погрузочно-разгрузочный фронт, учитывая взаимосвязи с другими подсистемами.

Для моделирования выбраны сети Петри, которые позволяют исследовать вероятностные процессы с учетом отказов и очередей [3]. Разработана модель функционирования ПРФ. Следует отметить, что разработанную модель можно дополнять различными составляющими, а также детализировать или интегрировать при необходимости.

Для выбора оптимального режима функционирования ПРФ выполнено моделирование производственной ситуации и определены затраты по нахождению груза на ПРФ, используя следующие исходные данные:

вид груза – тарно-штучный груз;  
стоимость одного ПРМ – 50000 грн.;  
количество ПРМ – 1, 2, 3, 4 шт.;  
количество подач – 1, 2;  
эксплуатационная производительность погрузочно-разгрузочного механизма – 15 т/ч;  
амортизационные отчисления на ПРМ – 0,22;  
коэффициент капиталовложений на ПРМ – 0,1;  
среднесуточная выгрузка вагонов – 6 шт.;  
статическая нагрузка вагона – 48 т;  
затраты времени на одну подачу-уборку вагона – 0,24 ч;  
стоимость одного локомотивочаса – 30 грн.;  
стоимость одного вагоночаса – 0,8 грн.;  
коэффициент вариации поступления вагонов на станцию – 0,3;  
стоимость сооружения одного погонного метра ПРП – 250 грн.;  
амортизационные отчисления на ПРП – 0,025;  
коэффициент эффективности капиталовложений на ПРП – 0,5;  
средняя длина вагона – 14,73 м;  
продолжительность работы склада – 12 ч;  
стоимость груза – 90000 грн.;  
норма дисконта – 20%.

В процессе моделирования были получены значения времени нахождения груза на ПРФ в зависимости от числа ПРМ. Исходя из полученных данных была построена графическая зависимость времени нахождения груза на ПРФ и суммарных затрат, связанных с операциями, производимыми на ПРФ, при числе подач  $n_{под}=1$  (рис. 1) и  $n_{под}=2$  (рис. 2). Из которых видно, что оптимальный режим функционирования ПРФ возможен при числе подач  $n_{под}=1$ , минимальном значении затрат, связанных с операциями, производимыми на ПРФ 50,8 грн/ч, значении времени нахождения груза на ПРФ – 5,1 часа и количестве ПРМ 3 шт.

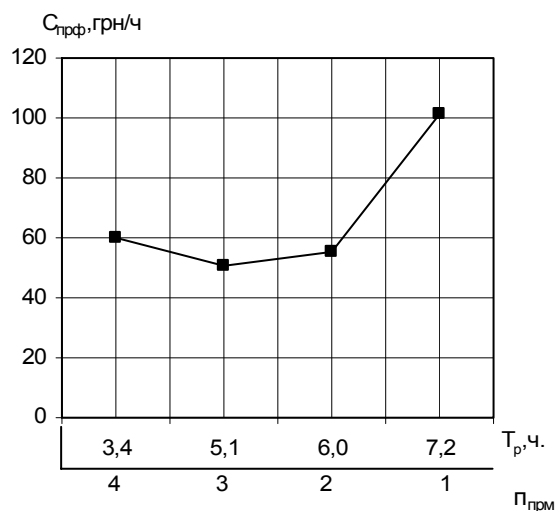


Рис. 1. Зависимость затрат от времени нахождения груза на ПРФ и числа ПРМ, при числе подач  $n_{под}=1$

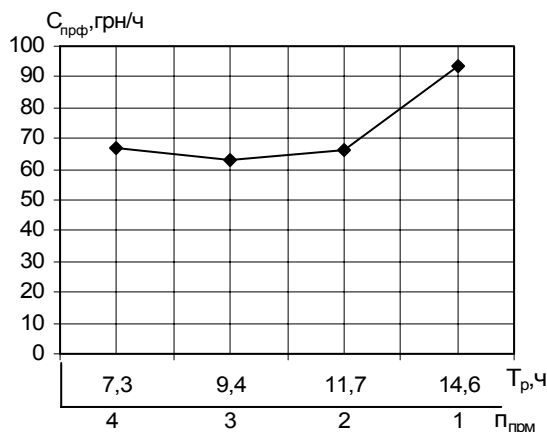


Рис. 2. Зависимость затрат от времени нахождения груза на ПРФ и числа ПРМ, при числе подач  $n_{\text{под}}=2$

### Выводы

Настоящее положение в работе погрузочно-разгрузочных фронтов требует создания оптимальных условий для их функционирования, которые должно быть направлены на ускорение доставки грузов за более короткий период времени при минимальных затратах. При этом необходимо использовать новые методики, позволяющие оперативно реагировать на постоянно изменяющиеся объемы работы на ПРФ.

Для определения оптимального режима функционирования ПРФ были выбраны критерии оптимальности – время нахождения груза на ПРФ и затраты, связанные с операциями, производимыми на ПРФ. Разработана модель на основе сетей Петри, с помощью которой можно исследовать вероятностные процессы с учетом отказов и очередей. Выполнено моделирование производственной ситуации и определены время нахождения груза на ПРФ и затраты, которые связаны с нахождением груза на ПРФ, используя исходные данные. Так, при изменении числа ПРМ от 1 до 5 и количества подач от 1 до 2, определен режим

оптимального функционирования ПРФ, т.е. выбранные критерии достигают минимальных значений –  $T_p = 5,1$  ч,  $C_{\text{пф}} = 50,8$  грн/ч.

На основе предложенного метода можно представить режима функционирования ПРФ как множество фаз его работы с набором дополнительных технологических операций в каждой фазе, которые могут быть внедрены для ускорения доставки груза. Для решения этой задачи необходимо использовать метод векторной оптимизации, который позволит получить расчетный тариф за сокращение времени нахождения груза на ПРФ.

### Литература

1. Осипов А.П., Ереско А.В. Совершенствование местной работы отделения с крупным узлом // Железнодорожный транспорт. – Москва. – 1993. – Вып.2. – С. 10–11.
2. Апатцев В.И. Оптимизация работы железнодорожных узлов // Железнодорожный транспорт. – Москва. – 1998. – Вып. 11. – С. 2–6.
3. Нагорный Е.В., Альошинский Е.С., Павленко О.В. Методика вибору варіанта інтенсивної технології вантажоруху в транспортному вузлі з домінуючим сектором залізничного транспорту // Автомобільний транспорт. – Харьков: ХНАДУ. – 2003. – Вып. 12. – С. 15–19.
4. Нагорный Е.В., Топчиев Н.П., Запара В.М. Подходы к моделированию взаимодействия грузовых станций и грузовладельцев // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. – Харьков. – 2001. – Вып. 2. – С. 95–99.

Рецензент: М.А. Подригало, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 31 января 2005 г.