

УДК 621.002

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННОГО ЛОКОМОТИВНОГО ПАРКА

Заверкин А.В., Марченко Д.Н., Кузьменко С.В., Чередниченко С.П.

## STUDY OF TRANSPORT SYSTEMS IN A LIMITED LOCOMOTIVE PARK

Zaverkin A., Marchenko D., Kuzmenko S., Cherednychenko S.

В статье рассмотрены вопросы разработки методов эффективной эксплуатационной работы железнодорожного транспорта промышленных предприятий в условиях ограниченных транспортных ресурсов. Исследованы характеристики эксплуатационной работы транспортных систем предприятий, работа транспортных систем в условиях ограниченного локомотивного, вагонного парков, путевого развития станций и грузовых фронтов.

**Ключевые слова:** локомотиво-вагонный парк, ограничение транспортных ресурсов, станция, подъездной путь, грузовой фронт, транспортная система.

**Вступление.** Переход предприятий на прямые договорные связи по поставке продукции в условиях рыночных отношений, с аккумулярованием производственных фондов, дает большие возможности самостоятельного решения вопросов планирования и управления как режимом производства, так и выбором видов транспорта.

Рыночные отношения, в отличие от централизованной системы, как известно, имеют ряд особенностей, которые чреваты большими колебаниями спроса на продукцию, зависящую от конкурентоспособности, рекламы, авторитета производителя, технических характеристик и т.п., что значительно усложняет задачи перевозок, осуществляемых с большими колебаниями.

В связи с этим поиск оптимальных эффективных методов управления и выбор количественных и качественных характеристик транспорта должен быть направлен для решения следующих задач:

- определения закономерностей работы транспортных систем при различных режимах их функционирования;
- определения минимальных потребностей в транспортных средствах в условиях гибкого производства;

- снижения затрат на эксплуатацию и содержание транспортных систем;
- анализа функционирования промышленного железнодорожного транспорта при различных режимах работы предприятий.

**Постановка задачи.** Задача исследований может быть сформулирована следующим образом. Имеется несколько предприятий-грузоотправителей как массовых, так и немассовых грузов, которые задействованы по договорам поставки на одного грузоотправителя и работающие в неустойчивом режиме, что приводит к большим колебаниям в поступлении вагонов на входе транспортных систем предприятия грузополучателя (рис. 1).



Рис.1. Общая структурная схема работы транспортных комплексов предприятий различных отраслей промышленности

Поэтому для этого предприятия необходимо создать гибкую систему организации управления эксплуатационной работой транспорта, основанную на имитационных моделях с динамическими характеристиками решения вариантного обслуживания и оптимизации транспортных затрат при использовании минимальных (ограниченных) транспортных ресурсов.

### Исследование общих характеристик эксплуатационной работы транспортных систем предприятий.

Эксплуатационная работа на промышленном железнодорожном транспорте связана с дискретным процессом обработки передаточных поездов, групп и отдельных вагонов, поступающих на предприятие или грузовые пункты. Известно, что входящие вагонопотоки характеризуются моментом поступления транспортных единиц  $t_1, t_2, \dots, t_i$  или интервалами между последовательно поступающими транспортными единицами  $I_1, I_2, \dots, I_i$  ( $I_i = t_i - t_{i-1}$ ) и количеством вагонов  $n_1, n_2, n_3, \dots, n_n$ , прибывающих с каждой группой с  $i$ -ым родом груза, поступающим в составе передаточного поезда. Законы, описывающие интервалы поступления вагонов, характеризуют поток по времени, а количество вагонов в поездах характеризуют входной транспортный поток по величине.

Условия взаимодействия железнодорожного транспорта предприятий со станциями примыкания для транспортных систем характеризуется наличием четырех категорий потоков:

- входящий поток передаточных поездов, поступающий на предприятие по периодам времени;
- входящий поток вагонов, поступающий под выгрузку на грузовые фронты;
- общий выходящий поток вагонов после выполнения грузовых операций с грузовых фронтов на грузовую станцию;
- выходящий вагонопоток на станцию примыкания.

Для систематизации работы транспортного комплекса предприятия с учетом вышеперечисленных условий рассмотрена элементарная структурная модель блоков транспортной системы предприятий по их функциональным назначениям: регулирование вагонопотоков при ограничении вагонного парка, очередности обслуживания транспортной системы при ограничении маневровых локомотивов, оптимального числа подач, модель адресования вагонов при ограничении ПРМ, обработки вагонов при ограничении путевого развития станции и грузовых фронтов (рис. 2).

Входящий поток передаточных поездов ординарный, так как вероятность одновременного наступления двух и более событий (передаточных поездов) мала по сравнению с появлением одного события. Характер распределения интервалов между моментами поступления передаточных поездов является величиной случайной и детерминированной, в зависимости от порядка подачи вагонов со станции примыкания на подъездной путь, причем случайный характер поступления передаточных поездов является наиболее распространенным при безынтервальной подаче вагонов со станции МПС на подъездные пути, т.е. по уведомлениям, детерминированный - когда интервалы времени между поступлением передаточных поездов заранее известны, при этом интервалы могут быть равны, либо не равны по величине.



Рис. 2. Структурная схема модели функционирования железнодорожного транспорта предприятия

Если интервалы между поступлениями подач равны, то такой поток регулярный

$$\begin{cases} 0 & \text{при } I \leq m_y, \\ 1 & \text{при } I \geq m_y, \end{cases} \quad (1)$$

где  $m_y$  - математическое ожидание величины интервала между поступлениями передач.

Как показывает практика и исследования, загрузки транспортных систем предприятий имеют большую суточную неравномерность по структуре и объему груженых вагонопотоков, что является результатом воздействия на поток многочисленных объективно существующих факторов. Поступление вагонов на станцию примыкания в адрес предприятий носит случайный характер. Маловероятно, чтобы каждый грузоотправитель обеспечивал ежедневно отгрузку одинакового количества вагонов в одни и те же назначения, и они прибывали на станцию с одними и теми же интервалами и строго по графику.

Колебания числа вагонов с различными грузами, прибывающими в составе передаточных поездов на грузовые фронты и интервалов между поступлениями групп вагонов, оказывают большое влияние на загрузку маневровых локомотивов и погрузочно-выгрузочных механизмов, которое носит случайный характер.

С вероятностной точки зрения случайные величины характеризуются математическим ожиданием  $M(x)$ , среднеквадратическим отклонением  $\sigma(x)$ , коэффициентом вариации  $V(x)$  и законом распределения  $F(x)$ .

По численным значениям коэффициента вариации интервалов времени можно сделать предположение о соответствии данного статистического распределения теоретическому закону, т.е. проверить гипотезу о законе распределения, используя критерий согласия выбранного теоретического распределения статистическому.

Принятая методика исследования вагонопотоков основана на проверке соответствия статистического (экспериментального распределения) частот появления случайной величины теоретической гипотезе. В качестве меры допустимого расхождения

принимаются статистические критерии согласия -  $\chi^2$  (Пирсона) или ROM (Романовского).

Обработка результатов наблюдений за вагонопотоками при статистической выборке  $\{x_i\}, (i = \overline{1, n})$  выполнялась в такой последовательности.

Выбирают максимальную и минимальную величину прибытия (отправления) вагонов:

$$\begin{aligned} B &= \max_{i=1, n} \{x_i\}, \\ A &= \min_{i=1, n} \{x_i\}. \end{aligned} \tag{2}$$

По формулам

$$\begin{aligned} R &= B - A, \\ L &= 3.22 \lg(n), \\ H &= \frac{R}{L}, \\ M &= \frac{1}{n} \sum_{i=1, n}^n k_i, \\ D &= \frac{\sum_{i=1, n}^n x_i^2 - M^2 \cdot n}{n - 1}, \\ V &= \frac{\sigma}{m}. \end{aligned} \tag{3}$$

определяется размах выборки, количество и длина интервалов разбиения, математическое ожидание, выборочная дисперсия, среднее квадратическое отклонение и коэффициент вариации для конкретного груза или грузопотока и в целом для предприятия.

Затем находится массив частот, то есть количество наблюдений, значения которых попадают в интервал и массив относительных частот, %.

Исследованиями по теории потоков на железнодорожном транспорте [1, 4, 9] установлено, что наиболее общими для прогнозирования теоретическими законами являются двухпараметрические законы распределения вероятностей - Эрланга и Гаусса. При исследовании интервалов прибытия передаточных поездов на предприятия применяем параметр Эрланга, который приведен в таблице 1.

Таблица 1

**Значения коэффициента вариации распределения (Эрланга)**

Коэфф. вариации	1,0	0,71	0,58	0,5	0,45	0,41	0,38	0,35	0,33	0,31
Параметр Эрланга	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Проверка выполнялась по критерию Пирсона:

$$\chi = \sum_{i=1}^L \frac{(F_i - nP_i)^2}{nP_i}, \tag{4}$$

где  $P_i (i = \overline{1, L})$  - теоретическая вероятность попадания интервала прибытия вагонов в интервал  $\Delta_i$  определяется как разность значений интегральной функции в начале и конце интервала времени.

Интегральная функция, определяющая вероятность того, что случайная величина T интервала прибытия вагонов примет значение меньше или равное t при распределении Эрланга имеет вид:

$$\begin{aligned} \text{для } k=1 & \quad F(t) = 1 - e^{-\lambda t}, \\ k=2 & \quad F(t) = 1 - (2\lambda \cdot t + 1)e^{-2\lambda t}, \\ k=3 & \quad F(t) = 1 - (4.5\lambda^2 t^2 + 3\lambda \cdot t + 1)e^{-3\lambda t}. \end{aligned} \tag{5}$$

Величины коэффициентов вариации интервалов по прибытию или отправлению передаточных поездов на обследованных металлургических, химических и цементных заводах изменялись в пределах 0.6-0.8 соответственно, значение параметра Эрланга составило 2 или 3. Одним из основных факторов, регулирующих влияние на степень равномерности потока передаточных поездов на подъездные пути предприятий оказывает работа станции примыкания, где трансформируется поступающий вагоноток в передаточные поезда с определенным вероятностным количеством вагонов. На станции примыкания суммируется несколько потоков в один, который в общем виде для мощных вагонопотоков описывается законом Эрланга.

На остальных заводах распределение количества вагонов в поездах, прибывающих на предприятия, могут быть описаны нормальным законом распределения. Параметры теоретических распределений для передаточных поездов металлургических заводов приведены в таблице 2.

При характеристике входящего на заводы потока вагонов, помимо закона распределения интервалов, количества вагонов в поездах различных категорий и очередности, поступления на станцию, было определено количество фронтов, на которые прибыли вагоны и количество отцепов в сборных поездах, а также и среднее количество вагонов в отцепе на каждый погрузочно-выгрузочный фронт. Как оказалось, эти величины зависят от общего количества грузовых фронтов на предприятии, рода груза и плановых показателей по выпуску продукции.

Таблица 2

**Математические параметры операций с передаточным поездом**

N п/п	Наименование	Мат. ожидан.	Средне-квadrat. отклонение	Коэфф. вариации	Параметр Эрланга	Закон распределения
1	Количество вагонов в маршрутах	70	10.11	0.15	45	нормальный
2	Количество вагонов в передаточном поезде	55	10.42	0.19	28	нормальный

Количество фронтов при расформировании составов с немаршрутизированным вагонопотоком достигает 8-9 групп на цементных заводах, при расформировании маршрутов с массовыми грузами 2-3 группы. Теоретические значения по предприятиям других отраслей промышленности составляют: по металлургическим заводам 22-25, предприятиям угольной промышленности 4-6, коксохимическим заводам 5-7.

Количество отцепов в сборном поезде зависит от количества фронтов и числа вагонов в передаточном поезде.

$$q_p = K_N \cdot \lambda \cdot m_c, \quad (6)$$

где  $K_N$  - расчетное количество, в адрес которых прибыли вагоны в сборном поезде;

$m_c$  - количество вагонов в передаточном поезде;

$\lambda$  - коэффициент, значение которого зависит от вида маневровой работы;

0.24 - подбор вагонов по внутривозовским станциям и грузовым пунктам (для металлургических заводов);

0.32 - подбор вагонов по грузовым фронтам (химические и цементные заводы);

0.40 - сортировка порожних вагонов (цементные заводы).

Теоретическая средняя величина отцепа для сборных поездов цементных, металлургических, коксохимических заводов составляет 2-4 вагона. Применение теории массового обслуживания при поездной работе позволяет, планируя в дальнейшем грузовые операции, обеспечивать высокое качество обслуживания при экономичной эксплуатации и с возможно меньшими первоначальными затратами.

Рассматривая системы массового обслуживания, состоящие из систем двух классов: системы с отказами и системы с ожиданием, для условий промышленного железнодорожного транспорта следует учитывать функциональные возможности транспортной системы массового обслуживания, в том числе таких, как:

- распределение времени поступлений заявок на обслуживание грузовых фронтов;
- распределение продолжительности выполнения грузовых операций;
- характеристику обслуживающей транспортной системы;
- директивность в обслуживании заявок.

На заводах транспортные системы предназначаются для работы в течение весьма длительного периода времени. Поэтому этот процесс отвечает условию стационарности, и можно исследовать такие операционные характеристики систем массового обслуживания:  $P_n$  - вероятность того, что в системе находятся  $n$  заявок на грузовые операции или транспортное обслуживание;  $N_S$  - среднее число находящихся в системе заявок на грузовые операции;  $N_q$  - среднее число заявок, находящихся в очереди на грузовые операции;  $T_S$  - средняя продолжительность выполнения грузовых операций;  $T_q$  - средняя продол-

жительность пребывания вагонов в очереди на транспортное обслуживание.

По определению

$$N_S = \sum_{n=1}^{\infty} n \cdot P_n, \quad (7)$$

$$N_q = \sum_{n=1}^{\infty} (n-c) \cdot P_n,$$

где  $c$  - число локомотивов, механизмов, функционирующих в транспортной системе предприятия.

Между  $N_S$  и  $T_S$ , как и между  $N_q$  и  $T_q$ , существует строгая взаимосвязь и так что, зная исходные значения одной из этих величин, в частности, если частота поступлений в систему заявок на транспортное обслуживание или грузовые операции равна  $\lambda$ , мы имеем:

$$N_S = \lambda \cdot T_S, \quad (8)$$

$$N_q = \lambda \cdot T_q.$$

Приведенные выше соотношения справедливы и при гораздо менее жестких предположениях, не налагающих никаких специальных ограничений ни на распределение моментов последовательных поступлений заявок на грузовые операции, ни на распределение продолжительностей грузовых операций. Однако в тех случаях, когда частота поступлений заявок на общее транспортное обслуживание равняется  $\lambda$  и превышает возможности транспортной системы, то не все требования имеют возможность быть выполненными из-за ограниченных транспортных ресурсов (например, из-за отсутствия локомотивов, погрузочно-выгрузочных механизмов и др.).

#### Исследование работы транспортных систем в условиях ограниченного локомотивного парка.

Для транспортных систем с ограниченными транспортными ресурсами задача ставится следующим образом: М одинаковых локомотивов обслуживают поток заявок на маневровую работу интенсивностью  $\lambda$ :

$$\lambda = \frac{\sum k_{in}}{24}, \quad (9)$$

где  $k_{in}$  - общее число маневровых операций, подлежащих выполнению данным локомотивом (число заявок).

Если в момент поступления вагонов имеется хотябы один свободный локомотив, он немедленно начинает их обслуживать. Если же все локомотивы заняты, то вновь прибывшие вагоны сборного поезда становятся в очередь. Освободившийся локомотив немедленно приступает к обслуживанию очередного поезда, если только имеется очередь. Длительность маневровых операций представляет случайную величину, которая может быть описана распределением показательного закона. Найдем вероятностные характеристики системы массового обслуживания для этого случая.

Выражения для определения состояния транспортной системы имеют вид:

$$P_k = \left(\frac{\rho}{M}\right)^{k-M} \cdot \frac{\rho^M}{M!} P_0 = \frac{\rho^k}{M! \cdot M^{k-M}} P_0, \quad (10)$$

$k \geq M,$

где  $M$  - число локомотивов;

$k$  - число заявок на маневровую работу.

Для определения  $P_0$  подставим полученное значение  $P_k$  в нормировочное условие:

$$P_0 \left[ \sum_{k=0}^{M-1} \frac{\rho^k}{k!} + \frac{\rho^M}{M!} \sum_{k=M}^{\infty} \left(\frac{\rho}{M}\right)^{k-M} \right] = 1, \quad (11)$$

Сумма

$$\sum_{k=M}^{\infty} \left(\frac{\rho}{M}\right)^{k-M} = \sum_{k=0}^{\infty} \left(\frac{\rho}{M}\right)^k. \quad (12)$$

стоящая в квадратных скобках, есть сумма членов геометрической прогрессии со знаменателем  $\frac{\rho}{M}$ .

Как известно, она сходится при условии  $\frac{\rho}{M} \leq 1$  и может быть вычислена по известной формуле суммы членов бесконечно убывающей геометрической прогрессии:

$$\sum_{k=0}^{\infty} \left(\frac{\rho}{M}\right)^k = \frac{1}{1 - \frac{\rho}{M}} = \frac{M}{M - \rho}. \quad (13)$$

Подставляя выражение в квадратные скобки, получим:

$$P_0 = \left[ \sum_{k=1}^{M-1} \frac{\rho^k}{k!} + \frac{\rho^M}{(M-1)!(M-\rho)} \right] = 1. \quad (14)$$

Отсюда

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{k=0}^{M-1} \frac{\rho^k}{k!} + \frac{\rho^M}{(M-1)!(M-\rho)}}. \quad (15)$$

Используя полученные выражения выполняем расчет (10-15) в следующей последовательности:

1. Определим вероятность того, что все локомотивы заняты. Этот случай может иметь место, когда в системе находится  $n, n+1, \dots$  заявок одновременно. Эти заявки независимы, поэтому вероятность того, что все обслуживающие локомотивы заняты, может быть найдена, как сумма вероятностей  $P_M, P_{M+1}, \dots$

Обозначим вероятность того, что все локомотивы заняты через  $\pi$ , тогда:

$$\pi = \sum_{k=M}^{\infty} P_k = \frac{\rho^M}{M!} P_0 \sum_{k=M}^{\infty} \left(\frac{\rho}{M}\right)^{k-M}. \quad (16)$$

Эта сумма при  $\frac{\rho}{M} \leq 1$  была найдена выше.

Подставляя ее значения из выражения (12), получаем:

$$\pi = \frac{\rho^M}{(M-1)!(M-\rho)} \cdot P_0. \quad (17)$$

Запишем формулу для расчета средней продолжительности времени маневровой работы по выполнению одной заявки:

$$\overline{T_{обс}} = \frac{\pi}{\mu \cdot (M - \rho)}. \quad (18)$$

2. Используя это выражение легко найдем средние потери времени на ожидание, которые будут иметь все те заявки на транспортное обслуживание, которые поступили в систему за некоторый промежуток времени  $\tau$ . Эти потери составят величину:

$$\lambda \tau \overline{T_{обс}} = \frac{\pi \rho \tau}{M - \rho}. \quad (19)$$

3. Формула для расчета средней длины очереди на маневровую работу имеет вид:

$$N_{ож} = \sum_{k=M}^{\infty} (k - M) \cdot \rho k = \frac{\rho}{M \left(1 - \frac{\rho}{M}\right)^2} \cdot P_M. \quad (20)$$

4. Среднее число заявок в транспортной системе:

$$N_z = \sum_{k=1}^{\infty} k \cdot P_k = N_{ож} + \frac{M^2 P_M}{M - \rho} + P_0 \sum_{k=1}^{M-1} \frac{\rho^2}{(k-1)!}. \quad (21)$$

5. Среднее число грузовых фронтон на которые не подаются вагоны:

$$N_{\phi} = \sum_{k=0}^{M-1} (M - k) \cdot P_k. \quad (22)$$

6. Коэффициент простоя локомотивов:

$$K_n = \frac{N}{M}. \quad (23)$$

Продолжительность ожидания подачи вагонов к грузовым фронтам или уборки груженых или порожних вагонов на выставочные пути заводских станций зависит от интенсивности и степени неравномерности поступления заявок на маневровую работу, а также от степени загрузки и неравномерности транспортного обслуживания локомотивами маневрового района.

Сокращение межоперационных простоев в ожидании выполнения маневровых операций возможно за счет увеличения числа маневровых локомотивов, целесообразным их использованием или специализацией.

Если локомотив закреплен за определенным маневровым районом или обслуживанием опреде-

ленных заявок, то в этом случае имеет место жесткая специализация локомотивов.

При обслуживании очередной заявки любым свободным локомотивом имеет место неспециализированная (скользящая) схема использования локомотивов.

Критерием для оценки эффективного распределения маневровой работы между локомотивами является минимум затрат вагоночасов ожидания маневровой работы при допустимых вариантах специализации локомотивов, т.е.

$$nt_{ож}^{ман}(S_i) \rightarrow \min, \quad (24)$$

где  $n$  - среднесуточное количество подаваемых, убираемых, переставляемых вагонов;

$t_{ож}^{ман}$  - среднее время ожидания выполнения маневровых операций;

$S_i$  - число грузовых пунктов.

Анализ показывает значительные преимущества неспециализированного способа использования локомотивов, предполагающего прогрессивный метод оперативного диспетчерского руководства, организации маневровой работы. Об этом также отмечалось в работе [11], где показано, что время ожидания в этом случае по сравнению со специализацией примерно в 1.5-2 раза меньше.

При специализации локомотивов среднее время ожидания выполнения маневровых операций при простейшем входящем потоке и произвольном времени обслуживания определяется согласно [6, 8, 11] по формуле:

$$t_{ож}^{ман} = \frac{\varphi_{лок} \cdot T v_{обс} \cdot \lambda \overline{T_{обс}}}{2(1 - \varphi_{лок})}, \quad (25)$$

где  $\varphi_{лок}$  - коэффициент загрузки локомотива;

$v_{обс}$  - коэффициент вариации времени обслуживания требований локомотивом, количественно характеризующий неравномерность продолжительности грузовых операций.

Коэффициент загрузки локомотива равен:

$$\varphi_{лок} = \lambda \cdot \overline{T_{обс}}. \quad (26)$$

Используя эти зависимости была определена зависимость среднего времени ожидания выполнения маневровых операций для одноканальной системы обслуживания цементного завода от коэффициента загрузки локомотива и среднего времени обслуживания (при  $T_{обс} = 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0$  час). Расчеты приведены на рис. 3, откуда видно, что затраты на ожидание тем выше, чем больше загрузка локомотива и время обслуживания.

Скользящая система использования локомотивов позволяет рассматривать фазу перемещения вагонов как многоканальную. При этом в зависимости от структуры предприятия и возможности обслуживания требований локомотивами на крупных предп-

риятиях могут возникать полнодоступные и неполнодоступные многоступенчатые системы.

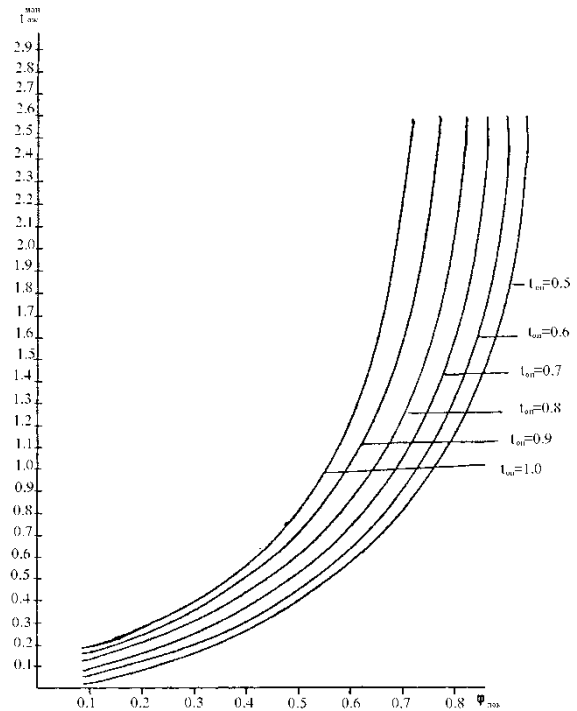


Рис. 3. Зависимость среднего времени ожидания выполнения маневровых операций от загрузки локомотива и времени выполнения маневровых операций

В полнодоступной многоканальной системе при скользящем способе использования локомотивов и произвольном законе выполнения маневровой работы, среднее время ожидания может быть определено для наших условий по зависимости:

$$t_{ож(Мн)}^{ман} = \frac{\alpha_M \cdot \varphi_M \cdot (1 + v_{обс}^2) \overline{T_{обс}}}{2M(1 - \varphi)}, \quad (27)$$

$$\alpha_M = \frac{M \cdot \varphi_M}{(M - 1)(M - 2) + \varphi_M(2M + M\varphi_M - 2)}, \quad (28)$$

где  $M$  - количество локомотивов;

$\varphi_M = \frac{\overline{T_{обс}}}{M}$  - коэффициент загрузки локомотива.

Предполагается, что интенсивности занятости маневровой работой равны отличаются не более чем на 20%-30%, число локомотивов на этих заводах не превышает пяти.

Анализ работы промышленного железнодорожного транспорта цементных заводов при скользящем способе использования локомотивов показывает, что обслуживание любой заявки, поступившей из  $i$ -го грузового пункта подъездного пути свободным локомотивом, возможно лишь в том случае, если маршрут следования к этому пункту свободен. Эта особенность вызывает необходимость рассмотрения многоканальной фазы при такой специализации, как неполнодоступной, в которой каждое тре-

бование ожидает освобождения не только локомотива, но и канала обслуживания.

Среднее время ожидания маневровой работы в многоканальной неполнодоступной системе обслуживания можно определить по зависимости:

$$t_{ож(МП)}^{ман} = 0.5(1 + v^2) \left\{ \frac{\alpha_M \varphi_M \overline{T_{обс}}}{M(1 - \varphi_M)} + \frac{\varphi_{зан}}{1 - \varphi} \right\}, \quad (29)$$

где  $T_{обс}$  - продолжительность нахождения локомотива в данном маневровом районе при производстве маневровых операций;

$\varphi_M$  - коэффициент загрузки маневрового локомотива.

$$\varphi_M = \lambda t_{зан}. \quad (30)$$

В этом выражении величины  $\varphi$ ,  $\lambda$ ,  $t_{зан}$  соответствуют нагрузке локомотивов, интенсивности поступления и среднего времени обслуживания пункта по каждому маневровому району.

Учитывая специфические особенности и сложность выполнения маневровой работы на исследуемых заводах, несвоевременное получение составителем задания на выполнение очередной маневровой операции, расчет среднего времени ожидания маневровой работы выполнялся с учетом коэффициента диспетчерского управления локомотивов  $\alpha_{дисч}$  по формуле:

$$t_{ож(МП)} = t_{ож}^{МП} (1 - \alpha_{дисч}). \quad (31)$$

Коэффициент диспетчерского управления имеет значение  $0 \leq \alpha_{дисч} \leq 1$  и потому работа системы обслуживания как полнодоступную можно рассматривать лишь в те периоды, когда объем маневровой работы в том или ином районе значительно возрастает, что имеет место лишь к концу смен или отчетных суток.

При  $\alpha_{дисч} = 0$  - жесткое закрепление локомотивов за определенными районами или видами операций.

При  $\alpha_{дисч} = 1$  - обезличенное (скользящее) использование при выполнении маневровой работы.

### Л и т е р а т у р а

1. Акулиничев В.М. Организация вагонопотоков на железнодорожном транспорте. М.: Транспорт, 1979. - 223 с.
2. Белов И.В., Каплан А.Б. Применение математических методов в планировании на железнодорожном транспорте. - М.: Транспорт.- 1967.- 168 с.
3. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. - М.: Наука, 1979. - 399 с.
4. Васильев Е.М., Игудин Р.В., Лившиц В.Н. и др. Оптимизация планирования и управления транспортными системами. - М.: Транспорт. 1987. - 208 с.
5. Воскресенская Т.П. Оптимизация структуры и стадийного развития систем переработки массовых сыпучих

- грузов на промышленных предприятиях.- Автореферат докторской диссертации.: Ленинград.-1991,- 41 с.
6. Выганов А.А. Методика определения величины резервного парка порожних вагонов на станциях погрузки маршрутов с рудно-металлургическим сырьем.- Сб. Применение математических методов и ЭВМ в эксплуатации железных дорог. - М.: Транспорт. МИИТ, 1989.- с. 74-78.
7. Деордица Ю.С., Нефедов Ю.М. Исследование операций в планировании и управлении. - Киев.: Вища школа, - 1991. -207 с.
8. Казюлин Г.Е. Эффективность неспециализированного способа использования аппаратов в многоканальных системах обслуживания. Тр. МИИТа, вып 500. - 1985. - С. 86-92.
9. Клошин Ю.Т. Исследование неравномерности суточного прибытия вагонов МПС и ее влияние на техническую вооруженность транспорта металлургических заводов. Канд. дисс. КПТИ 1983. - 186 с.
10. Козлов П.А., Миловидов С.П., Попов А.Т. Оптимизация работы промышленного транспорта в промышленных системах. - Экономика и математические методы. - 1985. - Т.22. - Вып. 2. - С. 571-576.
11. Козлов П.А. Теоретические основы, организационные формы, методы оптимизации гибкой технологии транспортного обслуживания заводов черной металлургии.- Докторская диссертация. - Липецк, 1986. - 377 с.

### R e f e r e n c e s

1. Akulinichev V.M. Organizatsiya vagonopotokov na zheleznodorozhnom transporte. M.: Transport, 1979. - 223 s.
2. Belov I.V., Kaplan A.B. Primeneniye matematicheskikh metodov v planirovaniy na zheleznodorozhnom transporte. - M.: Transport.- 1967.- 168 s.
3. Buslenko N.P. Modelirovaniye slozhnykh sistem. - M.: Nauka, 1979. - 399 s.
4. Vasil'yev Ye.M., Igudin R.V., Livshits V.N. i dr. Optimizatsiya planirovaniya i upravleniya transportnymi sistemami. - M.: Transport. 1987. - 208 s.
5. Voskresenskaya T.P. Optimizatsiya struktury i stadiynogo razvitiya sistem pererabotki massovykh sypuchikh грузов na promyshlennykh predpriyatiyakh.- Avtoreferat doktorskoy dissertatsii.: Leningrad.-1991,- 41 s.
6. Vyganov A.A. Metodika opredeleniya velichiny rezervnogo parka porozhnykh vagonov na stantsiyakh pogruzki marshrutov s rudno-metallurgicheskim syr'yem.- Sб. Primeneniye matmetodov i EVM v ekspluatatsii zheleznykh dorog. - M.: Transport. MIIT, 1989.- s. 74-78.
7. Deorditsa YU.S., Nefedov YU.M. Issledovaniye operatsiy v planirovaniy i upravlenii. - Kiyev.: Vishcha shkola, - 1991. -207 s.
8. Kazyulin G.Ye. Effektivnost' nespetsializirovannogo sposoba ispol'zovaniya apparatov v mnogokanal'nykh sistemakh obsluzhivaniya. Тр. МИИТа, вып 500. - 1985. - С. 86-92.
9. Kloshin YU.T. Issledovaniye neravnomernosti sutochnogo pribytiya vagonov MPS i yeye vliyaniye na tekhnicheskuuyu vooruzhennost' transporta metallurgicheskikh za-vodov. Kand. diss. KPTI 1983. - 186 s.
10. Kozlov P.A., Milovidov S.P., Popov A.T. Optimiza-tsiya raboty promyshlennogo transporta v promysh-lennykh sistemakh. - Ekonomika i matematicheskiye me-tody. - 1985. - T.22. - Vyp. 2. - S. 571-576.
11. Kozlov P.A. Teoreticheskiye osnovy, organizatsionnyye formy, metody optimizatsii gibkoy tekhnologii transportnogo obsluzhivaniya zavodov chernoy metal-lurgii.- Doktorskaya dissertatsiya. - Lipetsk, 1986. - 377 s.

**Заверкин А.В., Марченко Д.Н., Кузьменко С.В., Чередниченко С.П.** Дослідження роботи транспортних систем в умовах обмеженого локомотивного парку.

*У статті розглянуті питання розробки методів ефективної експлуатаційної роботи залізничного транспорту промислових підприємств в умовах обмежених транспортних ресурсів. Досліджено характеристики експлуатаційної роботи транспортних систем підприємств, робота транспортних систем в умовах обмеженого локомотивного, вагонного парків, колійного розвитку станцій і вантажних фронтів.*

**Ключові слова:** локомотиво-вагонний парк, обмеження транспортних ресурсів, станція, під'їзну колію, вантажний фронт, транспортна система.

**Zaverkin A., Marchenko D., Kuzmenko S., Cherednychenko S.** Study of transport systems in a limited locomotive park.

*The article deals with the development of methods for the efficient operation of railway transport of industrial enterprises in conditions of limited transport resources. The characteristics of the operational work of transport systems of en-*

*terprises, the work of transport systems in conditions of limited locomotive, car fleet, track development of stations and cargo fronts are investigated.*

**Keywords:** locomotive-car fleet, limitation of transport resources, station, access road, cargo front, transport system.

**Заверкін А.В.** – к.т.н., доцент, доцент кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин СНУ ім. В. Даля, [zawerkin@ukr.net](mailto:zawerkin@ukr.net).

**Марченко Д. М.** - д.т.н., професор кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин СНУ ім. В. Даля.

**Кузьменко С. В.** - к.т.н, доцент, директор навчально-наукового інституту транспорту і логістики СНУ ім. В. Даля, [kuzmenkov@ukr.net](mailto:kuzmenkov@ukr.net).

**Чередниченко С. П.** - к.т.н., доц., с.н.с. інституту металів та сплавів АН України.

*Рецензент:* д.т.н., проф. **Горбунов М.І.**

Стаття подана 15.04.2019