

УДК 621.002

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ РАБОТЫ ГРУЗОВЫХ ФРОНТОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

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

THEORETICAL PROVISIONS EFFECTIVE OPERATIONAL WORK OF FREIGHT FRONTS OF INDUSTRIAL ENTERPRISES

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

В статье рассмотрены вопросы организации работы транспортных систем в условиях ограниченной технологической и технической оснащенности грузовых фронтов. При этом рассмотрены вопросы моделирования транспортной системы при высоком уровне неравномерности транспортного потока и невысокой перерабатывающей способности грузовых механизмов.

Ключевые слова: Транспортная система, промышленное предприятие, погрузочно-разгрузочные машины, грузовой фронт, подача, вагон, коэффициент использования грузоподъемности.

Вступление. Работа промышленного транспорта как транспортных систем должна удовлетворять требованиям двух смежных систем - производственной и магистрального транспорта [1].

Транспортная система предприятия должна иметь достаточные резервы для поддержания устойчивого состояния работы производства и в то же время соответствовать параметрам внешней среды, то есть по техническому состоянию и экономическим показателям отвечать характеристикам входных параметров магистрального транспорта.

Одной из наиболее важных характеристик внешнего воздействия признана неравномерность поступления на промышленные предприятия вагонов с массовыми грузами [5].

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.

Исследование работы транспортных систем предприятий при ограничении погрузочно-разгрузочных механизмов (ПРМ).

Для транспортной системы при ограничении погрузочно-разгрузочных машин, когда транспортная система содержит $Z_{\text{ПРМ}}$ и каждый грузовой фронт может одновременно обслуживаться только одной подачей из всех K подач с интенсивностью λ для числа грузовых фронтов равно m , возможны следующие условия обслуживания с их характеристиками:

1. Вероятность того, что в транспортной системе находится k подач при условии, что их число не превосходит числа ПРМ:

$$P_k = \frac{m! \cdot \rho^k}{k! \cdot (m-k)!} \cdot P_0, \quad k = \overline{1, Z}. \quad (1)$$

2. Вероятность того, что в системе находится k подач, в случае, когда их число не меньше числа грузовых механизмов:

$$P_k = \frac{m! \cdot \rho^k}{Z! \cdot (m-Z)! \cdot Z^{k-Z}} \cdot P_0, \quad k = \overline{Z, m}. \quad (2)$$

3. Вероятность того, что в транспортной системе все подачи обслужены:

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{k=0}^Z \frac{m! \cdot \rho^k}{k! \cdot (m-k)!} + \sum_{k=Z+1}^m \frac{m! \cdot \rho^k}{Z! \cdot (m-Z)! \cdot Z^{k-Z}}}. \quad (3)$$

4. Среднее число подач, ожидающих начала обслуживания (средняя длина очереди):

$$M = \sum_{k=Z+1}^m (k-Z) P_k. \quad (4)$$

5. Среднее число подач, находящихся на обслуживании в транспортной системе:

$$M = \sum_{k=1}^m k \cdot P_k . \quad (5)$$

6. Среднее число простаивающих ПРМ:

$$Z_n = \sum_{k=0}^{Z-1} (Z - k) P_k . \quad (6)$$

7. Коэффициент простоя ПРМ:

$$k_n = \frac{Z_n}{Z} . \quad (7)$$

8. Коэффициент простоя подачи:

$$k_{nn} = \frac{M_1}{M} \quad (8)$$

Исследование работы грузовых фронтов в условиях ограничения грузовых устройств с точки зрения влияния на время нахождения вагонов в транспортной системе проводилось при следующих условиях:

- прибытие вагонов на грузовые фронты случайно по времени и по величине, т.е. режим их работы недетерминированный;
- вагоны поступают на грузовые фронты одинокими группами, средняя величина которых определяется статистически;
- погрузочно-выгрузочные устройства обслуживают вагоны общесетевого и внутриводского парка.

Известно, что с увеличением вместимости грузовых фронтов вагоночасы простоя вагонов на грузовом фронте растут, а с увеличением числа погрузочно-разгрузочных механизмов - падают [3]. Зависимость времени простоя вагонов под грузовыми операциями от числа фронтов для небольших предприятий с суточным вагонопотоком до 50 вагонов имеет вид:

$$B_{\text{фр}} = A_1 \cdot n_{\text{фр}} - D_1 , \quad (9)$$

а вагоночасы простоя вагонов под грузовыми операциями изменяются по следующей зависимости от числа механизмов:

$$B_m = AZ^3 + BZ^2 + CZ + D . \quad (10)$$

При этом изменение коэффициентов А, В, С и D могут быть представлены функциями:

$$\begin{aligned} A(Z) &= 0.02Z^2 + 1.7Z - 17.0, \\ B(Z) &= -0.29Z^2 - 20.7Z + 216.0, \\ C(Z) &= -4.15Z^2 + 154.2Z - 1135, \\ D(Z) &= -1.39Z^2 - 107.1Z + 1370, \end{aligned} \quad (11)$$

При определении оптимальной вместимости фронта и числа механизмов, обслуживающих вагоны общесетевого и собственного необходимо знать годовые приведенные расходы, которые рассматриваются в других статьях автора:

$$E''_{np} = \varphi(Z_{\text{мех}}, n_{\text{фр}}, n_{\text{под}}, T_{\text{фр}}) \quad (12)$$

и включают затраты, вызванные изменением:
 $Z_{\text{мех}}$ - числа грузовых механизмов;
 $n_{\text{фр}}$ - вместимости грузовых фронтов;
 $T_{\text{фр}}$ - времени работы грузового фронта (час);
 $n_{\text{под}}$ - числа подач и уборок.

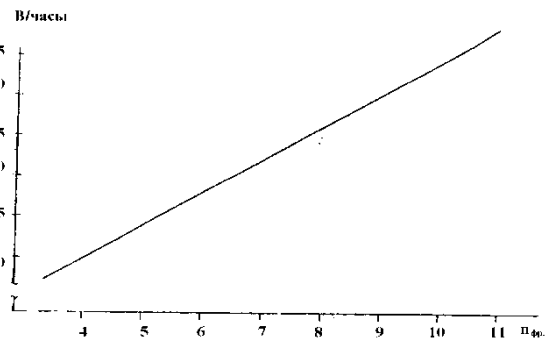


Рис. 1. Зависимость времени простоя вагонов под грузовыми операциями от вместимости фронта при $Z=\text{const}$

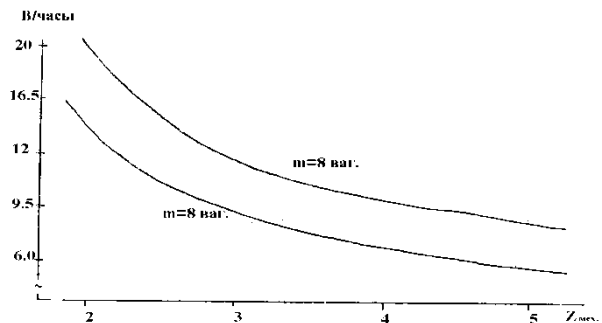


Рис. 2. Зависимость вагоночасов простоя вагонов в ожидании под грузовыми операциями от числа механизмов при $n=\text{const}$

Расчет минимально необходимого числа машин производится по формуле:

$$Z_{\text{min}} = \frac{365 N_{\text{сут}} q_{\text{ваг}} k_{\text{д}} (1 - \alpha_n)}{(365 - T_n) n Q_{\text{см}}} , \quad (13)$$

где $N_{\text{сут}}$ - среднесуточное количество вагонов;
 $q_{\text{ваг}}$ - средняя статнагрузка вагона;
 $k_{\text{д}}$ - коэффициент, учитывающий выполнение дополнительных операций ($k_{\text{д}}=1$);
 α_n - коэффициент использования грузоподъемности вагона;
 T_n - простой машин в ремонте в течение года (для машин с электроприводом - 10 -12 сут., с ДВС - 20-25 сут.);

n - число смен работы механизмов в сутки;
 $Q_{см}$ - сменная производительность ПРМ (т).

$$Q_{см} = T \cdot k_{исп} \cdot \Pi, \quad (14)$$

где T - продолжительность смены (час);

$k_{исп}$ - коэффициент использования машин по времени;

Π - техническая производительность машины (т/час).

Когда грузовой фронт обслуживает несколько грузовых механизмов, и грузовые операции выполняются в порядке поступления вагонов, имеет место полнодоступная многоканальная система обслуживания. Среднее время ожидания выполнения грузовых операций с вагонами при произвольном законе распределения входящего потока и времени грузовых операций можно определить по формуле:

$$t_{ож}^{сп} = \frac{\alpha_3 \psi_i (v_{вх}^2 - v_{обс}^2) t_{обс}}{2Z(1 - \phi_i) [1 - (1 - \phi_i) v_{вх}^2]}, \quad (15)$$

где ψ_i - относительная загрузка грузового фронта;

$t_{обс}$ - среднее время грузовых операций;

$v_{вх}$, $v_{обс}$ - коэффициент вариации соответственно входящего вагонопотока и времени грузовых операций.

При поступлении на грузовой пункт двух и более входящих вагонопотоков при одном механизме характер функционирования таких систем зависит от четкости выполнения очереди. Анализ грузовых пунктов цементных заводов показывает, что имеют место случаи, когда, исходя из экономических и технологических требований, отдается предпочтение одному из потоков, например, вагонам общесетевого парка.

При выделении из общего потока вагонов, имеющих преимущественное право грузовых операций, продолжительность ожидания с j -ой категорией приоритета:

$$t_{ож_j} = t_{ож}^{сп} \frac{1 - \phi}{(1 - \phi_{0-1})(1 - \phi_i)} \quad (16)$$

где ψ_j и ψ_{j-1} - коэффициент загрузки системы соответственно j и $(j-1)$ категории включительно.

При наличии двух видов вагонов (общесетевого и внутриводского парка) и приоритета обслуживания одного из них:

$$t_{ож_1} = t_{ож}^{сп} \frac{1 - \phi}{\phi_1}; \quad (17)$$

$$t_{ож_2} = t_{ож}^{сп} \frac{1 - \phi}{\phi_1}. \quad (18)$$

В общем виде зависимость для определения относительной загрузки грузовых механизмов следующая:

$$\phi_{мех} = \frac{T_{зр} + T_{дон} + T_{мех}}{ZT_{фр}}, \quad (19)$$

где $T_{фр}$ - продолжительность работы грузового фронта в течение суток (час);

$T_{зр}$ - суммарная продолжительность выполнения погрузочно-разгрузочных операций (час);

$T_{дон}$ - потери рабочего времени механизмов, связанные с выполнением маневровых операций у грузового фронта и неисправностью устройств (час);

$T_{мех}$ - занятость грузовых механизмов в технологическом процессе производства (час).

Величина $T_{дон}$ определяется исходя из средне-статистических данных относительно занятости механизмов в период выполнения как маневровых операций на грузовом фронте по перестановке вагонов, так и перемещения грузовых устройств из одного пункта в другой (например, крана на железнодорожном ходу).

Суммарная продолжительность выполнения грузовых операций:

$$T_{зр} = \frac{N_{ср} Q_{ваг}}{\Pi}. \quad (20)$$

Тогда загрузка механизмов может быть определена по следующей зависимости:

$$\phi_{мех} = \frac{N_{ср} Q_{ваг} + (T_{дон} + T_{мех}) \Pi}{Z \Pi}. \quad (21)$$

Среднее время обслуживания требований т.е. средняя продолжительность выполнения грузовых операций:

$$t = \frac{\overline{m_{ni}} Q_{ваг}}{Z \Pi}, \quad (22)$$

где $\overline{m_{ni}}$ - средняя величина группы вагонов, поступающая на грузовой фронт (уч.ваг);

Π - производительность грузового устройства (т/час);

Как показали исследования [4], на выполнение грузовых операций, наибольшее влияние оказывают колебания величин групп вагонов, поступающих на грузовые фронты в составе передаточных поездов. Численные значения коэффициентов вариации величины групп вагонов и продолжительности выполнения грузовых операций обычно близки между собой, поэтому для практических расчетов справедливо следующее допущение:

$$v_{обс} = v_{ni}. \quad (23)$$

Это также справедливо для вагонов с изменением времени грузовых операций в одной подаче на грузовой фронт. Коэффициент вариации входящего потока $v_{вх}$ с достаточной степенью точности для расчетов принимается равным коэффициенту вариации

ции длительности интервалов между поступлением групп вагонов или определяется аналитически по формуле:

$$v_{ax} = \left(1 - \frac{N_i}{m_{ni} \cdot n_{nep}} (1 - v_y^2) \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (24)$$

где N_i^{nl} - плановые размеры вагонопотока за сутки, поступающего на i -ый грузовой фронт;

m_{ni} - средняя величина группы вагонов, прибывающих на i -ый грузовой фронт в составе передаточного поезда.

При жесткой специализации локомотивов по видам работ среднее время ожидания маневровых операций в зависимости от вместимости исследуемого грузового фронта определяется из следующей зависимости:

$$t_{ож}^{ny} = \frac{\left(B_{нал} \sum_{i=1}^n n_{он} + N_{cp} \right) \cdot (1 + v_{обс}^2) \cdot t_{обс}^2}{2 \left[24 B_{нал} - \left(\sum_{i=1}^{n-1} n_{он} + N_{cp} \right) \right]}, \quad (25)$$

где $\sum_{i=1}^{n-1} n_{он}$ - общее число маневровых операций, выполняемых локомотивом в данном маневровом районе без учета исследуемого фронта.

При приведенных выше допущениях определим условия стационарного режима работы транспортной системы, а именно

$$\phi_{mex} \leq 1; \quad (26)$$

$$Z \geq Z_{min}, \quad (27)$$

где Z_{min} - минимальное число механизмов, определяемое по формуле (13).

$$n_{min} \leq n_{nod} \leq n_{max}, \quad (28)$$

где n_{min} - минимальное количество подач вагонов, определяемое максимальной вместимостью фронта;

$$n_{min} = \frac{N_{cp}}{B_{max}}, \quad (29)$$

где n_{max} - максимальное количество подач, устанавливаемое наличием маневровых средств;

$$n_{max} = \frac{T_{ман}}{t_{ман}}, \quad (30)$$

где $T_{ман}$ - количество локомотивочасов, выделенное для обслуживания данного грузового фронта.

Вывод. Статья посвящена разработке методов эффективной эксплуатационной работы погрузочно-разгрузочного комплекса промышленных предприя-

тий в условиях ограниченных транспортных ресурсов. Исследованы характеристики эксплуатационной работы погрузочно-разгрузочных систем предприятий, работа погрузочно-разгрузочных систем в условиях ограниченного парка, путевого развития грузовых фронтов, нестабильность грузопотока.

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 матметодов 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 planirovani 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 gruzov na promyshlennykh predpriyatiyakh.- Avtoreferat doktorskoj 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.-Sb. 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 planirovani i upravlenii. - Kiyev.: Vishcha shkola, - 1991. -207 s.
8. Kazyulin G.Ye. Effektivnost' nespetsializirovannogo sposoba ispol'zovaniya apparatov v mnogokanal'nykh sistemakh obsluzhivaniya. Tr. MIITa, vyp 500. – 1985. - S. 86-92.
9. Kloshin YU.T. Issledovaniye neravnomernosti sutochnogo pribytiya vagonov MPS i yeye vliyanie na tekhnicheskuyu voozruzhennost' transporta metallurgicheskikh za-vodov. Kand. diss. KPTI 1983. - 186 s.
10. Kozlov P.A., Milovidov S.P., Popov A.T. Optimizatsiya raboty promyshlennogo transporta v promyshlennykh sistemakh. - Ekonomika i matematicheskiye metody. - 1985. - T.22. - Vyp. 2. - S. 571-576.
11. Kozlov P.A. Teoreticheskiye osnovy, organizatsionnyye formy, metody optimizatsii gibkoy tekhnologii transportnogo obsluzhivaniya zavodov chernoy metallurgii.- Doktorskaya dissertatsiya. - Lipetsk, 1986. - 377 s.

Заверкін А.В., Марченко Д.М., Кузьменко С.В., Чередниченко С.П. Теоретичні положення ефективної експлуатаційної роботи вантажних фронтів промислових підприємств.

У статті розглянуті питання організації роботи транспортних систем в умовах обмеженої технологічної та технічної оснащеності вантажних фронтів. При цьому розглянуті питання моделювання транспортної системи при високому рівні нерівномірності транспортного

потoku і невисокою переробною здатністю вантажних пристроїв.

Ключові слова: Транспортна система, промислове підприємство, вантажно-розвантажувальні машини, вантажний фронт, подача, вагон, коефіцієнт використання вантажопідйомності.

Zaverkin A., Marchenko D., Kuzmenko S., Cherednychenko S. Theoretical provisions effective operational work of freight fronts of industrial enterprises.

The article deals with the organization of the work of transport systems in conditions of limited technological and technical equipment of cargo fronts. At the same time, the issues of modeling the transport system with a high level of traffic flow irregularity and low processing capacity of cargo devices are considered.

Keywords: Transport system, industrial enterprise, loading and unloading machines, cargo front, supply, car, capacity utilization rate.

Заверкін А.В. – к.т.н., доцент, доцент кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин ЧНУ ім. В. Даля, zaverkin@ukr.net.

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

Кузьменко С. В. - к.т.н., доцент, директор навчально-наукового інституту транспорту і логістики ЧНУ ім. В. Даля, kuzmenkosv@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 14.04.2019