

УДК 658.566

## **ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ ПРЯМОЙ ПЕРЕДАЧИ ПОДГОТОВЛЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ТРАНСПОРТА В ПРОИЗВОДСТВО**

**Ю.А. Негомедзянов<sup>1</sup>, Г.Ю. Негомедзянов<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Тверской государственный университет, г. Тверь

Рассмотрены основные аспекты проблемы оптимизации параметров системы прямой передачи подготовленных материалов с транспорта в производство. Цель статьи – изложить концептуальную схему подхода к формированию базы выбора наиболее эффективной схемы обеспечения технологических агрегатов подготовленными материалами. Научная новизна состоит в разработке принципов оптимизации параметров системы непосредственной (через оперативные бункера) подачи подготовленных материалов с транспорта в производство. Предложена математическая модель оптимизации параметров системы. Приведены результаты выбора ее оптимальных параметров.

***Ключевые слова:** система непосредственной - через оперативные бункера - подачи материалов, транспорт, производство, математическая модель оптимизации параметров.*

В работе «Формирование логистической системы обеспечения предприятий подготовленными материалами; стратегический технический аспект» [1 с. 156] показано, что стратегической технической базой формирования макрологистической системы обеспечения предприятий подготовленными материалами является подсистема непосредственной подачи подготовленных материалов с транспорта в производство. В работе рассмотрены принципы оптимизации параметров подсистемы непосредственной подачи подготовленных материалов с транспорта в производство. Предложена математическая модель оптимизации подсистемы. Приведены результаты выбора ее оптимальных параметров. В частности, показано, что для выполнения своей основной работы – надежного и стабильного обеспечения технологических агрегатов шихтовыми материалами в определенном количестве, определенного качества – функционирующие на основе взаимоувязанного с магистральным транспортом и основным производством технологического процесса производственно-транспортные комплексы предприятий должны иметь определенный резерв перерабатывающей способности, рассчитанный из условия минимизации суммарных – на транспорт и производство – затрат. Для предприятий, технологические агрегаты которых снабжаются по схеме с промежуточным (оперативным) складом, этот резерв оптимален в пределах  $\approx 25\%$ . В этом случае обеспечивается оптимальное количество технических средств производственно-транспортного комплекса, оптимальный уровень

эксплуатационной надежности его работы (оценивается средним в единицу времени числом превышений над расчетным уровнем перерабатывающей способности производственно-транспортного комплекса предприятия), устойчивое взаимодействие транспорта и производства. Технологический резерв материалов на промежуточном (оперативном) складе, предназначенный для компенсации суточной неравномерности поступления и потребления материалов, обусловлен мощностью предприятия, характером поступления и забора материалов и оптимален в пределах 25–30 % суточной их потребности. Уровень перерабатывающей способности производственно-транспортного комплекса и объемы материалов, проходящих через промежуточный (оперативный) склад, взаимно обусловлены: проходящие через склад в расчётные сутки объемы материалов оптимальны в пределах  $\approx 25\%$  суточной потребности. От уровня перерабатывающей способности производственно-транспортного комплекса предприятия зависят потери основного производства из-за неравномерного поступления подготовленных материалов (порядка 25 % общих затрат, связанных с выбором оптимальных параметров производственно-транспортных комплексов). Полученные результаты научно обоснованы и конкретно четки.

Однако при прямой передаче подготовленных материалов с транспорта в производство технологические агрегаты предприятий могут обеспечиваться не только по схеме с промежуточным (оперативным) складом (рассмотренная концепция), но и по схеме – через оперативные бункеры.

Выявление наиболее эффективной схемы обеспечения технологических агрегатов подготовленными материалами предопределяет необходимость реализации обязательного условия – сравниваемые системы обеспечения должны быть оптимальные (параметры систем должны быть оптимизированы) и функционировать они должны в оптимальных условиях (условия производства и доставки подготовленных материалов). В связи с этим представляется крайне необходимым рассмотреть в формате продолжения исследований принципы оптимизации технических и технологических параметров системы непосредственной (через оперативные бункера) подачи подготовленных материалов с транспорта в производство. По этой схеме вагоны разгружают на специальном приемном устройстве и доставляют компоненты шихты на бункерную эстакаду конвейерами. В момент, когда объем поступления материалов меньше объема потребления, забор шихтовых осуществляется либо из оперативных бункеров приемного устройства, либо (при недостаточной емкости бункеров) – из «склада на колесах» из специализированных вагонов.

Рассматриваемые схемы обеспечения основного производства в принципе определяют основные условия взаимодействия металлургического производства с магистральным транспортом при непосредственном взаимодействии внешнего поступления и потребления материалов.

Проблеме теории и практики управления взаимодействием транспорта и производства в современной отечественной литературе в принципе уделяется определенное внимание. Так, предложен метод оптимизации взаимодействия в производственно-транспортных системах [2 с. 18]. Исследованы вопросы развития сложных систем [3, с. 40].

Однако целый ряд вопросов, отражающих многообразие реальных процессов взаимодействия транспорта и производства в современных условиях, особенно при переходе предприятий с массовыми потоками сырья, топлива и материалов на работу с подготовленными к потреблению материалами, остается на сегодня не исследованным.

Так, практически не рассматривались имеющие особо важное значение для выявления наиболее эффективной схемы обеспечения технологических агрегатов подготовленными материалами вопросы оптимизации параметров устройств производственно-транспортных систем при подаче подготовленных материалов в производство через оперативные бункера.

Недостаточная изученность рассматриваемых вопросов обуславливает необходимость их научного обоснования и прежде всего с принципиальных методологических позиций.

Рассмотрим постановку задачи и методологические основы оптимизации технических и технологических параметров устройств производственно-транспортных систем прямого (через оперативные бункера) снабжения основного металлургического производства.

При прямой передаче подготовленных материалов с транспорта в производства пункты стыка транспорта и производства следует рассматривать как производственно-транспортную систему, функционирующую на основе единого технологического процесса, взаимосвязанного с магистральным транспортом и основным производством. Комплекс этих весьма сложных, динамических и увязанных между собой устройств с целью повышения эффективности обеспечения основного производства материалами необходимо оптимизировать. Другими словами, необходимо выбрать оптимальные параметры устройств системы и выявить условия ее функционирования по единому совмещенному производственно-транспортному технологическому процессу. Цель при этом – доведение перерабатывающей способности технологических фронтов системы до уровня, при котором в любых условиях: отсутствуют нарушения ритма работы основных технологических агрегатов из-за некачественного обеспечения их подготовленными материалами; обеспечивается полное освоение расчетного объема производственно-транспортной работы; достигается минимум суммарных приведенных затрат по простоям транспортных средств под выгрузкой, в ожидании выгрузки и техническому оснащению фронтов системы.

В формате изложенного рассмотрим ориентированные на общесистемные интересы принципы оптимизации технических и технологических параметров устройств производственно-транспортных систем при подаче материалов в производство через оперативные бункера.

Пусть известны среднесуточные за год объемы поступления на предприятие подготовленных к потреблению материалов –  $\bar{N}$ . Известно, что поступают материалы неравномерно, забор материалов технологические агрегаты осуществляют также неравномерно.

Будем варьировать перерабатывающую способность производственно-транспортной системы –  $N$  (определяемую числом путей выгрузки на приемном устройстве для рассматриваемого материала -  $U_{п}$ , числом подач –  $z$ ,

вместимостью бункеров –  $V_6$  для каждого материала и другими действительно управляемыми параметрами).

Это вызывает изменение расходов, связанных с изменением потребной вместимости бункеров –  $E_6$ , протяженностью и числом выгрузочных для рассматриваемого материала путей –  $E_n$ , сооружением приемного устройства –  $E_y$ , затратами труда обслуживающего персонала –  $E_{тр}$ , ожиданием подачи вагонов при поступлении их кольцевыми маршрутами, подачи под выгрузку и уборку частями –  $E_{в-ч}^ч$ , дополнительным (из-за неравномерности объемов поступления) простоем вагонов –  $E_{в-ч}$ , простоем вагонов при выгрузке –  $E_{в-ч}^в$ , количеством локомотивов, необходимых для своевременной подачи (уборки) неравномерно поступающих вагонов –  $E_l$ .

Требуется определить оптимальные параметры рассматриваемого технологического фронта: оптимальный уровень перерабатывающей способности –  $N^*$ , оптимальное число маневровых локомотивов –  $Y_l^*$ , путей –  $Y_n^*$ , интервал подвода составов к технологическому фронту и другие параметры.

Модель производственно-транспортной системы при подаче материалов в производство через оперативные бункеры.

Выразив искомые переменные через составляющие затрат, получим следующую экономико-математическую модель функционирования рассматриваемого технологического фронта:

$$R_{ш}^k\{N; y_{ijn}; z_{2...n}; V_6\} = [E_6 + E_n + E_y + E_{тр} + E_{в-ч}^ч + E_{в-ч} + E_{в-ч}^в + E_l] \rightarrow \min \quad (1)$$

$$E_6 = \frac{q_6}{\gamma_{шj}} \Psi_6 \left\{ 0,8\hat{\sigma}_n + \frac{\sigma_N \sqrt{2\pi}}{\sqrt{\alpha_N^2 + \beta_N^2}} |1 - e^{-\lambda t}| \right\} C_6 \quad (2)$$

$$E_n = y_n \frac{e_N}{z} \left\{ \frac{K'_n}{t_{ок}} + C'_n \right\} \quad (3)$$

$$E_y = \left\{ \frac{M[m]}{z} + 1 \right\} e_v y_n C_{пп}^r \quad (4)$$

$$E_{тр} = 3,4\gamma_M \frac{M[m]}{z} y_n C_M \quad (5)$$

$$E_{в-ч}^ч = 2B_{i,n}^{чr} \times 365 C_{в-ч} \quad (6)$$

$$E_{в-ч} = 384\hat{\sigma}_N F(t) X(x)_1^* C_{в-ч} \quad (7)$$

$$E_{в-ч}^в = \frac{t'_в}{y_n} \times \left\{ \left[ \bar{N} - \frac{X(x)\hat{\sigma}_N}{0,5 + \varphi(x)} + 0,665\hat{\sigma}_N F(t) X(x)_2 \right] \right\} 365 C_{в-ч} \quad (8)$$

$$E_l = \{[y_l] + K_{ix}\} \frac{K_l}{t_{ок}} + y_l \left\{ C_l 365 \left[ 1 - 2\varphi(x) + \frac{M}{N} \varphi(x) \right] \right\} + \{[\bar{y}] + K_{l,n} - y_l\} C_l^n 365 \quad (9)$$

Здесь:

$Q_H$  – количество груза в вагоне, т;  
 $\gamma_{шj}$  – плотность рассматриваемого материала, т/м<sup>3</sup>;  
 $\hat{\sigma}_n$  – среднее квадратическое отклонение объемов потребления материалов от среднесуточного значения, вагоны/сутки;  
 $\Psi_b$  – коэффициент заполнения бункеров;  
 $\hat{\sigma}_N$  – среднее квадратичное отклонение объемов поступление материалов, вагоны/сутки;  
 $\alpha_N; \beta_N$  – параметры, характеризующие процесс поступления вагонов на предприятие  $\left(t = \frac{N-\bar{N}}{\hat{\sigma}_N}\right)$ ;  
 $C_b$  – приведенная стоимость 1 м<sup>3</sup> вместимости бункера, руб.;  
 $l_m$  – длина маршрута, м;  
 $K'_n, C'_n$  – стоимость строительства и содержания 1 км выгрузочного пути;  
 $M[m]$  – число вагонов в маршруте;  
 $l_b$  – длина вагона, м;  
 $C_{пр}^r$  – приведенная стоимость 1 м строительной конструкции, руб.;  
 $r_m$  – трудозатраты на выгрузку одного вагона за смену, чел./вагон;  
 $C_m$  – годовая заработная плата одного рабочего бригады на приемном устройстве, руб./чел.;  
 $V_{i.n}^{ч.г}$  – среднесуточные вагоно-часы простоя при поступлении вагонов маршрутами и подача частями:

$$V_{i.n}^{ч.г} = \frac{1}{2} \left[ t_{под} + t'_b \frac{M[m]}{z} + t_{уб} + \tau_{min} \right] \bar{N}_{в.с} (z - 1) \quad (10)$$

Где:  $\bar{N}_{в.с}$  – расчетное количество вагонов, которое необходимо выгрузить в расчетные сутки на рассматриваемом технологическом фронте.

Определяется по выражению:

$$\bar{N}_{в.с} = \left\{ \left[ \left( \bar{N} - \frac{X(x)\hat{\sigma}_N}{0.5 + \varphi(x)} + 0.665F(t)X(x)_2 \right) \right] \right\} \quad (11)$$

где:  $X(x)$  – первая функция нормированного отклонения;

$\varphi(x)$  – интегральная функция Лапласа;

$F(t)$  – параметр оценки характера поступления вагонов на предприятие:

$X(x)_2 = e^{-\lambda' t}; \lambda'$  – расчетный параметр.

$C_{в-ч}$  – стоимость 1 вагоно-ч., руб.;

$t_{под}, t_{уб}$  – соответственно время подачи (уборки) части маршрута на приемное устройство в часах;

$t'_b$  – время выгрузки 1 вагона, мин.;

$\tau_{min}$  – минимальный промежуток времени между подачи, мин.

При определении расходов, связанных с работой локомотивов, необходимых для своевременной подачи-уборки неравномерно поступающих вагонов:

$$[\bar{y}_n] + K_{iN(1,2,3)} = \frac{T_H + T_{гр}}{t_p}, \quad (12)$$

где:  $T_m$  – затраты времени на маневровую работу с вагонами на станции Промышленная, мин.;

$T_{гр}$  – суточные затраты времени по подаче, расстановке вагонов по бункерам, уборке частей кольцевых маршрутов, мин.;

$$T_{гр} = \bar{N}_{в.с.т.пу} \frac{2z}{M[m]}, \quad (13)$$

$t_p$  – время работы локомотивы, мин.;

$K_n$  – капитальные затраты по локомотивам;

$C_n$  – стоимость содержание локомотива в рабочем состоянии, руб./сут.;

$\frac{\bar{N}-X(x)\hat{\sigma}_N}{0.5+\varphi(x)} = M$  – среднее число продаваемых под разгрузку вагонов за интервал [ON];

$C_n^n$  – стоимость содержания локомотива за сутки в нерабочем состоянии, руб./сут.

Оптимизации целевой функции (1) производится по переменным  $N$ ;  $u_n$ ;  $u_l$ ;  $V_6$ .

Математическая формализация рассматриваемой задачи осуществлена в терминах методов нелинейного программирования: минимизировать целевую функцию  $R(y) \rightarrow \min, y \in E^n$  – где  $y = [y_1 \dots y_n^0]^T$  – вектор-столбец компонент  $y_1 \dots y_n^0$  в  $n$ -мерном евклидовом пространстве при ограничениях вида:  $h_i(y) \geq 0 \quad i = 1, m$ . Например,  $\forall y \{ \bar{N} \leq N \leq \bar{N}^+ \}$ , т.е.

$$\{ \bar{N} \leq N \leq [\bar{N} + 3\hat{\sigma}_N] \} \in \Omega. \quad (14)$$

Нетривиальность задачи – в специфике ограничений, а также в том, что определенные из переменных принимают лишь целочисленные значения. Исходя из характера функций, принимаемых значений аргументов и вида наложенных ограничений для ее решения использовались алгоритмы класса методов прямого поиска, в частности, метод спирального координатного спуска[4]. Начальная точка для первой процедуры  $y^0 \in E^n$  определялась значениями  $y^0 = [y_n = 1, z = 1, N = \bar{N}]^T$ .

На основе системного решения целевой функции определялись оптимальные (обеспечивающие минимум суммарных приведенных затрат) параметры устройств производственно-транспортной системы при подаче материалов в производство через оперативные бункера. Алгоритмы реализованы в виде комплекса программ.

Расчеты выполнялись для варьируемых среднесуточных объемов поступления материалов. Стоимостные параметры принимались при этом по нормативным материалам.

В табл. 1 представлены результаты расчетов выбора оптимальных параметров системы непосредственной – из вагонов через оперативны бункера – подачи материалов в основное производство. Из данных нетрудно видеть, что для выполнения своей основной работы – надежного и стабильного обеспечения технологических агрегатов шихтовыми материалами в определенном количестве, определенного качества – функционирующие на основе взаимосвязанного с магистральным транспортом и основным производством технологического процесса производственно-транспортные комплексы предприятий должны иметь определенный (рассчитанный из условия минимизации суммарных – на транспорт и производство – затрат)

резерв перерабатывающей способности. Для предприятий, технологические агрегаты которых обеспечиваются через оперативные бункера, этот резерв оптимален в пределах  $\approx 25\%$ . В этом случае обеспечивается оптимальное количество технических средств производственно-транспортного комплекса, оптимальный уровень эксплуатационной надежности его работы (оценивается средним в единицу времени числом превышений над расчетным уровнем перерабатывающей способности производственно-транспортного комплекса предприятия), устойчивое взаимодействие транспорта и производства. Технологический резерв материалов в бункерах, предназначенный для компенсации суточной неравномерности поступления и потребления материалов, оптимален в пределах 20 % суточной их потребности.

Т а б л и ц а 1

Оптимальные параметры системы непосредственной подачи материалов в основное производство

Параметры	Среднесуточные поступления вагонов			
	200	300	400	500
<i>Оптимальное количество технических средств</i>				
а) выгрузочные (для рассматриваемого материала) пути на приемном устройстве	1	2	2	2
б) локомотивы, обслуживающие приемное устройство	2	2	3	3
<i>Оптимальные технологические параметры</i>				
а) число частей деления маршрута	2	2	2	2
б) уровень перерабатывающей способности технологического фронта, вагоны/сут.	242	357	473	591
в) интервал обслуживания, ч.	6,0	4,3	3,0	2,5
г) вместимость усредненного бункера, вагоны	33	40	60	73
д) уровень загрузки технологического фронта	0,82	0,83	0,85	0,85
е) степень использования путей выгрузки	0,76	0,58	0,75	0,92

### Список литературы

1. Негомедзянов Ю.А., Негомедзянов Г.Ю. Формирование логистической системы обеспечения предприятий подготовленными материалами; стратегический технический аспект //Вестник Тверского государственного университета. Серия Экономика и управление. 2018. №4. С. 156–163.
2. Козлов П.А., Владимирская И.П. Метод оптимизации взаимодействия в производственно-транспортных системах // Современные проблемы науки и образования. 2009. № 6. С. 17–19;
3. Кондратьев Э. Гудз Н. Разумная производственная система (SPS): как ее спроектировать и построить?. //Проблемы теории и практики управления. №10. С. 92–105
4. Карманов В.Г. Математическое программирование. М. : Наука, 1990, 256 с.

### PARAMETERS OPTIMIZATION OF THE SYSTEM OF DIRECT TRANSFER OF PREPARED MATERIALS FROM TRANSPORT TO PRODUCTION

Yu.A. Negomedzyanov<sup>1</sup>, G.Yu. Negomedzyanov<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Tver State University, Tver

The article discusses the main aspects of the problem of optimizing the parameters of the system for the direct transfer of prepared materials from transport to production. The authors present conceptual scheme of the approach to the formation of the base for choosing the most efficient scheme for providing technological units with prepared materials. The scientific novelty consists in the development of principles for optimizing the parameters of the system directly (through operational bins) supply of prepared materials from transport to production. The authors propose a mathematical model for optimizing system parameters. The research describes the results of the selection of its optimal parameters.

**Keywords:** *direct-through system of operational material supply bins, transportation, production, mathematical model of parameter optimization.*

*Об авторах:*

НЕГОМЕДЗЯНОВ Юрий Акимович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры экономики предприятия и менеджмента, Институт экономики и управления, Тверской государственный университет, e-mail: [akim638@mail.ru](mailto:akim638@mail.ru)

НЕГОМЕДЗЯНОВ Герман Юрьевич – кандидат экономических наук, кафедра экономики предприятия и менеджмента, Институт экономики и управления, Тверской государственный университет, e-mail: [akim638@mail.ru](mailto:akim638@mail.ru)

*About the authors:*

NEGOMEDZJANOV Jurij Akimovich – doctor of technical Sciences, Professor, professor of department of economy of the enterprise and management, Institute of Economics and management, Tver state University, e-mail-[akim638@mail.ru](mailto:akim638@mail.ru)

NEGOMEDZJANOV German Jur'evich – candidate of economic Sciences, department of economy of the enterprise and management, Institute of Economics and management, Tver state University, e-mail-[akim638@mail.ru](mailto:akim638@mail.ru)

## References

1. Negomedzyanov Yu.A., Negomedzyanov G.Yu. Formirovanie logisticheskoy sistemy` obespecheniya predpriyatij podgotovlennymi materialami; strategicheskij texnicheskij aspekt //Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya E`konomika i upravlenie. 2018. №4. S. 156–163.
2. Kozlov P.A., Vladimirkaya I.P. Metod optimizacii vzaimodejstviya v proizvodstvenno-transportny`x sistemax // Sovremenny`e problemy` nauki i obrazovaniya. 2009. № 6. S. 17–19.
3. Kondrat`ev E`. Gudz N. Razumnaya proizvodstvennaya sistema (SPS): kak ee sproektirovat` i postroit`?. //Problemy` teorii i praktiki upravleniya. №10. S. 92–105
4. Karmanov V.G. Matematicheskoe programmirovaniye. M. : Nauka, 1990, 256 s.