

## **ФОРМИРОВАНИЕ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ПОДГОТОВЛЕННЫМИ МАТЕРИАЛАМИ: СТРАТЕГИЧЕСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ АСПЕКТ**

**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 формирования логистической системы обеспечения предприятий подготовленными материалами. В частности, изложена концептуальная схема подхода к формированию системы обеспечения предприятий подготовленными материалами на базе логистических принципов и использования единого информационного пространства цепей поставок. Научная новизна – в определении принципов оптимизации параметров подсистемы непосредственной подачи подготовленных материалов с транспорта в производство как стратегической технической базы формирования макрологистической системы обеспечения предприятий подготовленными материалами. Предложена математическая модель оптимизации подсистемы. Приведены результаты выбора ее оптимальных параметров.

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

Переход предприятий на работу с подготовленными материалами предопределяет необходимость фундаментальных изменений во взаимодействии транспорта и производства, в частности, требует изменения условий отгрузки, доставки и потребления этих материалов, вызывает необходимость их потребления «с колес», оценки транспорта с позиций непосредственного взаимодействия с производством. Надежно и стабильно обеспечить предприятие подготовленными материалами в этих условиях возможно лишь при разработке новой, базирующейся на принципах логистики, долговременного планирования модели взаимосвязи сфер производства материалов, их доставки и потребления.

Сущность логистического подхода формирования системы обеспечения предприятий подготовленными материалами состоит в оптимизации сквозного взаимодействия между тремя заинтересованными, находящимися в сложной взаимосвязи различных экономических интересов субъектами рынка – отправителем, транспортом и потребителем, обеспечивая тем самым высокую вероятность выполнения «шести правил логистики» и получение дополнительной прибыли от согласования действий всех участников системы обеспечения предприятий подготовленными материалами [1].

Для создания интегрированной материалопроводящей системы обеспечения предприятий подготовленными материалами необходимо решение узла технических, технологических, экономических, оптимизационных и управленческих задач, базовые принципы реализации которого должны быть основаны на системном подходе – методологической основе сквозного управления потоком материалов.

Исходя из того, что при формировании логистических систем необходимо учитывать принцип последовательного продвижения по этапам создания системы, рассмотрим вначале стратегический (на макроуровне – как и требуют

принципы синтеза логистических систем) технический аспект формирования системы обеспечения предприятий подготовленными материалами.

Ранее нами рассмотрен [2, с. 72] подход к исследованию стратегических технических аспектов проблемы оптимизации параметров подсистемы (отправитель) непосредственной подачи подготовленных материалов из производства на транспорт. Приведены результаты выбора оптимальных параметров подсистемы. Показано, что для выполнения своей основной работы – надежного и стабильного предъявления к перевозке объемов материалов при их погрузке из производства непосредственно в вагоны, отправитель должен иметь:

- определенный (рассчитанный из условия минимизации суммарных – на транспорт и производство – затрат) запас порожних вагонов. Размеры запаса порожних вагонов оптимальны в пределах 25–30 % суточной потребности в них;
- определенный резерв грузозночной способности – в пределах 30 % .

В этом случае обеспечивается оптимальное количество технических средств производственно-транспортного комплекса, оптимальный уровень эксплуатационной надежности его работы, устойчивое взаимодействие производства и транспорта, что в конечном итоге гарантирует реализацию условий надежного и своевременного предъявления к перевозке объемов подготовленных материалов.

Работа по принципу «прямое взаимодействие производства и транспорта» влечет за собой (учитывая сложную систему взаимосвязи между субъектами формируемой системы) соответствующие принципиальные изменения в работе транспорта и системе обеспечения потребителей подготовленными материалами. В этой связи представляется весьма необходимым рассмотреть принципы оптимизации обеспечивающей связи и реализацию целей макрологистической системы подсистемы непосредственной подачи доставленных материалов в производство.

Проблемам теории и практики оптимизации пунктов стыка транспорта и производства в современной отечественной научной литературе уделяется большое внимание [3, с. 18]. Однако приходится констатировать, что целый ряд вопросов, отражающих многообразие реальных процессов взаимодействия транспорта и производства, не решены. Так, требуют более глубокого исследования и остаются дискуссионными вопросы оптимизации (исходя из принципов системного подхода) параметров пунктов стыка транспорта и производства.

Учитывая общие принципы системного подхода к исследованию проблемы в целом (получение системного синергетического эффекта), нами принята концепция: транспортно-технологические комплексы обладают интегральным качеством, т.е. рассматриваются как равнопрочная, динамично функционирующая подсистема, все элементы которой работают без взаимной блокировки. Цель при этом – доведение перерабатывающей способности технологических фронтов комплексов до уровня, при котором в любых условиях: 1) отсутствуют нарушения ритма работы основных технологических агрегатов из-за некачественного обеспечения их материалами; 2) обеспечивается полное освоение расчетного объема транспортно-грузовой работы; 3) достигается минимум суммарных затрат по простоям транспортных средств под выгрузкой, в ожидании выгрузки, и техническому оснащению фронтов комплекса.

Исследования выполнены на примере предприятий металлургии, производящих продукцию для мирового рынка и управляющих частью мировых систем производства и распределения. В этой связи оценка работы формируемой нами системы обеспечения предприятий металлургии подготовленными

материалами должна осуществляться с учетом требований международных стандартов ИСО 9000.

Рассмотрим следующую технологическую схему снабжения основного производства предприятий металлургии подготовленными материалами: транспортные средства (вагоны) разгружают на вагоноопрокидывателях на специально создаваемой станции, и доставляют компоненты шихты в производство непрерывным транспортом. В моменты, когда объем поступления материалов меньше объема потребления, используют запасы оперативного (промежуточного) склада. При этой схеме взаимодействия транспорта и производства происходит потеря части (проходящей через промежуточный оклад) шихтовых материалов и связанные с этим потери основного производства. Эта схема снабжения основного производства в принципе определяет основные условия взаимодействия металлургического производства с магистральным транспортом при непосредственном взаимодействии внешнего поступления и потребления материалов.

Итак, пусть известны среднесуточные за год объемы поступления шихтовых материалов на завод. Известно, что система снабжения и перевозок материалов функционирует в условиях всеобщей неравномерности определяющих их процессов: производства материалов, подачи порожних транспортных средств под погрузку, доставки, забора технологическими агрегатами.

Будем варьировать перерабатывающую способность транспортно-технологического комплекса: число вагоноопрокидывателей; маневровых локомотивов; протяженность выгрузочных путей; число частей, на которые делят маршрут; число машин на промежуточном складе; его объемы; параметры конвейерных линий. Это приведет к изменению затрат на: выгрузочные средства ( $R_1$ ); пути (их протяженность и число –  $(R_5)$ ); локомотивы, необходимые для своевременной подачи (уборки) на технологический фронт неравномерно поступающих на завод вагонов с шихтовыми материалами ( $R_6$ ); дополнительный (из-за неравномерности объемов поступления) простой специализированных вагонов на заводе ( $R_2$ ); простой вагонов, обусловленный их ожиданием при поступлении маршрутами и подачи под выгрузку частями ( $R_4$ ); простой вагонов при выгрузке ( $R_3$ ); двойную переработку части шихтовых материалов на промежуточном складе – складские операции ( $R_7$ ); доставку на промежуточный склад и забор части шихтовых материалов ( $R_8$ ); связанные с потерей качества шихтовых материалов из-за производства с ними двойных грузовых операций на промежуточном складе, а также потерей основного производства от неравномерного поступления на завод ( $R_9$ ).

Требуется определить оптимальные (обеспечивающие минимум суммарных – транспорта и производства – затрат) параметры транспортно-технологического комплекса: оптимально-потребное количество вагоноопрокидывателей; маневровых локомотивов; интервал обслуживания – средний потребный интервал подвода составов к технологическому фронту; оптимальный уровень перерабатывающей способности технологического фронта комплекса; экономически обоснованный «допуск» на отклонение от среднего значения объемов поступления шихтовых материалов; уровень загрузки технологического фронта; оптимально-потребное количество агрегатов для

обслуживания (отсыпка и забор) материалов не промежуточном складе; расчетные объемы материалов, подвергающиеся двойной переработке на промежуточном складе; потребную часовую производительность конвейерной установки, необходимой для транспортирования шихтовых с промежуточного склада.

2. Модель транспортно-технологического комплекса

$$R_{III}^{KI} \{Y_{i,j,n}; Z_{2,3n}; N\} = [R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + R_7 + R_8 + R_9] \rightarrow \min \quad (1)$$

$$R_1 = \left\{ \left[ \bar{Y}_w \right] + K_{i,w} \right\} \frac{K_w}{t_{ok}} + Y_w \left\{ C_w * 365 \left[ 1 - 2\varphi(x) + \frac{M}{N} \varphi(x) \right] + C_w^n * 365 \left[ 2\varphi(x) - \frac{M}{N} \varphi(x) \right] \right\} + \left\{ \left[ \bar{Y}_w \right] + K_{i,w} - Y_w \right\} C_w^n * 365 \quad (2)$$

$$R_2 = 384 \hat{\sigma}_N \Gamma(t) f(x_1)^* * C_{\sigma^*u} \quad (3)$$

$$R_3 = \frac{t_{\sigma}}{t_w} \left\{ \left[ \left( \frac{\bar{N}}{N} - \frac{f(x) \hat{\sigma}_N}{0,5 + \varphi(x)} \right) + 0.655 \hat{\sigma}_n F(t) f(x_2) \right] \right\} C_{\sigma^*u} * 365 \quad (4)$$

$$R_4 = \left\{ \left[ \frac{1}{2} \left( \frac{1}{Y_w} - \frac{1}{Z} \right) + \Delta n \right] M [m] \bar{t}_{\sigma} + \left[ \frac{1}{2} \left( \frac{1}{Y_w} - \frac{1}{Y_i} \right) M [m_{om}] \bar{t}_{\sigma} \right] \right\} * \left\{ \left[ \left( \frac{\bar{N}}{N} - \frac{f(x) \hat{\sigma}_N}{0,5 + \varphi(x)} \right) + 0.655 \hat{\sigma}_n F(t) f(x_2) \right] \right\} 365 * C_{\sigma^*u} \quad (5)$$

$$R_5 = \left( \frac{K'_n}{t_{ok}} + C'_n \right) \frac{l_m}{Z} * Y_w \quad (6)$$

$$R_6 = \left\{ \left[ \bar{Y}_l \right] \frac{k_l}{t_{ok}} \right\} + \left\langle Y_l * C_l + \left[ \bar{Y}_l \right] - Y_l \right\rangle C_l^n * 365 \quad (7)$$

$$R_7 = \left\{ \left[ \bar{Y}_M^O \right] \frac{k_M}{t_{ok}} \right\} + \frac{1}{2} \left\langle Y_M * C_{M.p.} + \left[ \bar{Y}_M \right] - Y_M \right\rangle C_M^n * 365 \quad (8)$$

$$R_8 = \left\{ 2 \sum_{i=1}^m K_i \frac{1}{t_{ok}} + \sum_{i=1}^S \mathcal{E}_{зав} * 365 L + 2 \sum_{i=1}^K \mathcal{E}_H \right\} \quad (9)$$

$$R_9 = \frac{q_H}{2} \left\{ \frac{2 \hat{\sigma}_n \sqrt{2\pi} + \hat{\sigma}_N \sqrt{2\pi} (1 - e^{-xt})}{2 \alpha_n} \right\} 365 * Z * \Pi, \quad (10)$$

где  $Y_w$  – количество вагоноопрокидывателей;  $C_w$ ;  $C_w^n$  – стоимость содержания в сутки вагоноопрокидывателя (с обустройствами) соответственно в рабочем и нерабочем состоянии, руб;  $K_w$  – стоимость вагоноопрокидывателя, тыс. руб;  $\varphi(x)$  – интегральная функция Лапласа;  $M$  – среднее количество подаваемых под разгрузку вагонов на интервале [ON];  $N$  – варьируемый уровень перерабатывающей способности транспортно-технологического комплекса, ваг/сутки;  $\hat{\sigma}_N$  – среднеквадратичное отклонение объемов поступления вагонов с

шихтовыми материалами, ваг/сутки;  $\Gamma(t)$  – параметр оценки характера поступления транспортных средств;  $f(x_1)^*$  – учитывает изменение дополнительного (из-за неравномерности объемов поступления) простоя транспортных средств в зависимости от варьируемого уровня перерабатывающей способности технологического фронта;  $C_{в.ч}$  – стоимость вагоно-часа, руб;  $\bar{t}_в$  – оценка математического ожидания времени выгрузки вагона, час;  $f(x)$  – первая функция нормированного отклонения распределения поступления вагонов с шихтовыми;  $F(t)$  – параметр оценки характера подачи вагонов под выгрузку;  $f(x_2) = e^{-xt}$ ;  $z$  – варьируемое число частей деления маршрута;  $\Delta_{п}$  – параметр, учитывающий особенности технологии работы транспортно-технологического комплекса при различных соотношениях числа частей маршрута и числа вагоноопрокидывателей;  $M[m]$  – оценка математического ожидания количества вагонов в подаваемом составе;  $M[m_{om}]$  – то же в порожнем составе;  $\frac{M[m_{om}]}{\varepsilon_i}$  – количество вагонов в убираемой с технологического фронта группе;  $K'_n$  – затраты на укладку 1 метра выгрузочного пути;  $C'_n$  – годовые затраты, связанные с содержанием 1 метра выгрузочного пути;  $e_{-m}$  – длина состава маршрута, м;  $Y_l$  – потребное количество локомотивов;  $C_l, C_l^п$  – стоимость содержания за сутки локомотива соответственно в рабочем и нерабочем состоянии, руб;  $K'_l$  – стоимость локомотива, тыс. руб;  $Y_M$  – количество механизмов, необходимое для забора с промежуточного склада расчетного объема шихтовых материалов;  $K_M$  – стоимость агрегата, руб;  $C_{м.р}, C_M^п$  – стоимость содержания агрегата в среднем в сутки за расчетный период, соответственно в рабочем и нерабочем состоянии, руб;  $\sum_{i=1}^m K_i$  – затраты на строительство конвейерных линий для транспортирования с промежуточного склада (и на склад) рассматриваемого шихтового материала;  $\sum_{i=1}^S \varepsilon_{зав}$  – суточные расходы, зависящие от времени работы конвейеров;  $\sum_{i=1}^K \varepsilon_H$  – годовые расходы, не зависящие от времени работы конвейеров;  $q_H$  – количество груза в вагоне, т;  $\hat{\sigma}_n$  – среднее квадратичное отклонение объемов потребления материалов технологическими агрегатами, т;  $\alpha_n$  – параметр оценки характера потребления материалов;  $z$  – доля потерь на 1 т шихтовых материалов при двойной переработке их на промежуточном складе;  $\Pi$  учитывает потерю потребительной стоимости материалов и отнесенную на 1 т недопоставленного материала сумму дополнительных затрат, руб.

Оптимизация ценовой функции (1) производилась по переменным

$$Y_{ijn}; Z_{2,3...n}; N$$

На переменные накладываются ограничения вида:

$$\forall_i \left\{ \bar{N} \leq N \leq N^+ \right\} i = \bar{1}, n \quad (11)$$

$$\frac{N}{\Pi_3^B} = \bar{Y}_w + K_{i,w(1,2,3)} \quad \text{для } \bar{Y}_w - \text{целочисленного}$$

$$\frac{N}{\Pi_3^B} = [\bar{Y}_w] + K_{i,w(0,1,2,3)} \quad \text{для } \bar{Y}_w - \text{нецелочисленного}$$

$$Y_{\bar{w}} = \bar{Y}_w = \frac{\bar{N}}{\Pi_3^B}$$

где  $\Pi_3^B$  – эксплуатационная производительность вагоноопрокидывателя, с учетом затрат времени на выгрузку вагонов заводского парка, надежности всего выгрузочного комплекса, ваг/сутки; 4-ое слагаемое в (I) появляется при  $z \geq Y_{\bar{w}} + 1$  (12)

$$\Delta\Pi = 0 \text{ при } Y_w = 1; \Delta\Pi = 0 \text{ при } Y_w = 2, \text{ если } \frac{z}{Y_w} = 2, 4, 6, 8, \dots$$

$$\Delta\Pi = \frac{1 - 1/Y_w}{2z^2} \quad \text{при } Y_w \geq 2, \text{ если число частей нечетное}$$

$$\Delta\Pi = \frac{1 - 2/Y_w}{z^2} \quad \text{при } Y_w \geq 2, \text{ если число частей четное}$$

$$\Delta\Pi = 0 \quad \text{при } Y_w \geq 3, \text{ если } \frac{z}{Y_w} = 2, 3, 4, \dots$$

Рассмотренная математическая модель (I) оптимального проектирования сформулирована в принципе как задача нелинейного программирования:

$$\min R(y)$$

$$Y \in D,$$

где  $D = D_Y \cap D_q$ ;  $D_Y = \{Y | a_j \leq Y_j \leq b_j, j = \overline{1, p}\}$

$$D_q = \{Y | q_j(Y) \geq 0, i = \overline{1, m}\} \quad (13)$$

Исходя из характера функции, принимаемых значений аргументов и вида положенных на величины переменных ограничений, вытекающих из физического смысла проблемы, задача (13) сведена к задаче вида:

$$\min \tilde{R}(\tilde{Y})$$

$$\tilde{Y} \in E^p \quad (14)$$

Для её решения использовали алгоритмы класса методов прямого поиска, в частности, метод спирального координатного спуска [4]. При этом в качестве нулевого приближения для первой процедуры  $Y^0 \in \Omega$  принято:

$$y^0 = [\bar{Y}_w; \bar{Y}_l; z_0 = 1; \bar{N}; \bar{Y}]^T \text{ Длина шага вдоль направления поиска } li \text{ выбиралась}$$

по определенным правилам и получена  $\{N^0 + 10\}; \{Y_w^0 + 1\}$

### 3. Результаты

На основе системного решения целевой функции (1) определяются оптимальные (обеспечивающие минимум суммарных приведенных затрат) параметры транспортно-технологического комплекса (табл. 1).

Таблица 1

Оптимальные параметры систем непосредственной подачи материалов в производство

Оптимальные технические и технологические параметры, уровень эксплуатационной надежности	Среднесуточное поступление вагонов с подготовленными материалами			
	200	300	400	500
1. Оптимальное количество технических средств на технологическом фронте:				
Вагоноопрокидывателей	1	2	2	3
Локомотивов	2	2	2	3
Складских машин	1	1	1	1
2. Оптимальные технологические параметры:				
а) число частей деления маршрута	1	2	2	3
б) оптимальный уровень перерабатывающей способности технологического фронта, ваг/сут	249	421	499	613
с) интервал обслуживания, час.	5,5	3,4	2,9	2,4
3. Параметры надежности координации:				
а) объемы материалов, подвергающиеся в расчетные сутки двойным грузовым операциям на промежуточном складе	42	59	80	90
б) минимально-необходимые запасы материалов на промежуточном складе (оперативный запас)	56	85	100	125
с) оптимальный уровень загрузки технологического фронта	0,8	0,76	0,8	0,816
д) уровень загрузки вагоноопрокидывателей	0,8	0,6	0,8	0,667
е) оптимальный уровень эксплуатационной надежности работы технологического фронта	0,279	0,277	0,275	0,313

**Список литературы**

1. Сергеев В.И. Управление цепями поставок. М.: Юрайт, 2015. 242 с.
2. Негомедзянов Ю.А., Негомедзянов Г.Ю. Управление взаимодействием транспорта и производства в условиях перехода предприятий на работу с подготовленными материалами; стратегический технический аспект // Вестник Тверского государственного университета. Серия: Экономика и управление, 2018. №3. С. 72–80.
3. Козлов П.А., Владимирская И.П. Метод оптимизации взаимодействия в производственно-транспортных системах // Современные проблемы науки и образования, 2009. №6. С 17–19.
4. Карманов В.Г. Математическое программирование. М.: Наука, 1990. 256 с.

**FORMATION OF THE LOGISTIC SYSTEM PROVIDING ENTERPRISES WITH PREPARED MATERIALS: STRATEGIC AND TECHNICAL ASPECT**

**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 a very important problem of forming a logistic system for providing enterprises with prepared materials. In particular the authors present a conceptual scheme of the approach to the formation of a system for providing enterprises with prepared materials based on logistic principles and the use of a common information space of supply chains. The article considers the principles of optimization of the parameters of the subsystem of the direct supply of prepared materials from transport to production as a strategic technical base for the formation of the macrologistical system for providing enterprises with prepared materials. The authors offer a mathematical model of subsystem optimization and describe the results of the selection of its optimal parameters.

**Keywords:** *system of direct supply of materials from transport to production, mathematical model of optimization of its parameters.*

*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

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

## References

1. Sergeev V.I. Upravlenie cepyami postavok. M.: YUrajt, 2015. 242 s.
2. Negomedzyanov YU.A., Negomedzyanov G.YU. Upravlenie vzaimodejstviem transporta i proizvodstva v usloviyah perekhoda predpriyatij na rabotu s podgotovlennymi materialami; strategicheskij tekhnicheskij aspekt // Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: EHkonomika i upravlenie, 2018. №3. S. 72–80.
3. Kozlov P.A., Vladimirskaya I.P. Metod optimizacii vzaimodejstviya v proizvodstvenno-transportnyh sistemah // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya, 2009. №6. S 17–19.
4. Karmanov V.G. Matematicheskoe programmirovaniye. M.: Nauka, 1990. 256 s.