

А. Т. ПОПОВ, А. И. МАЛАХОВ

Влияние основных параметров перевозочного процесса на доход операторской компании

Основным критерием эффективности работы операторской компании по обслуживанию перевозок несомненно является доход компании, сформированный на данных перевозках. В связи с этим разработана математическая модель перевозочного процесса, в которой целевой функцией максимизации является функция дохода компании от основных параметров транспортировки.

Расчет дохода операторской компании сводится к решению следующих нелинейных уравнений:

для перевозок подвижным составом РЖД:

$$D^0 = -\frac{Q(1+\lambda)}{m} \Pi_{\text{ваг.РЖД}}^{\text{лок.РЖД}} \frac{\mu}{100}; \tag{1}$$

для технологии перевозок в арендованных вагонах локомотивами РЖД:

$$D^1 = \frac{Q}{m} \left[(1+\lambda) \Pi_{\text{ваг.РЖД}}^{\text{лок.РЖД}} \left(1 - \frac{\mu}{100} \right) - \frac{\theta}{365 \cdot 24} m \left(1 - \frac{\phi}{100} \right) \left(C_{\text{ваг}}^{\text{экспл}} \cdot 365 + C_{\text{ваг}}^{\text{ар}} \cdot 365 \right) - \Pi_{\text{ваг.РЖД}}^{\text{лок.РЖД}} \right] - \Theta_{\text{шт}}; \tag{2}$$

для технологии перевозок в собственных вагонах локомотивами РЖД:

$$D^2 = \frac{Q}{m} \left[(1+\lambda) \Pi_{\text{ваг.РЖД}}^{\text{лок.РЖД}} \left(1 - \frac{\mu}{100} \right) - \frac{\theta}{365 \cdot 24} m \left(1 - \frac{\phi}{100} \right) \left(C_{\text{ваг}} \left(\frac{1}{T_{\text{ок}}^{\text{ваг}}} + \frac{1}{T_{\text{сл}}^{\text{ваг}}} + 0,02 \right) + C_{\text{ваг}}^{\text{экспл}} \cdot 365 \right) - \Pi_{\text{соб.ваг}}^{\text{лок.РЖД}} \right] - \Theta_{\text{шт}}; \tag{3}$$

для технологии перевозок в арендованных вагонах собственными локомотивами:

$$D^3 = \frac{Q}{m} \left[(1+\lambda) \Pi_{\text{ваг.РЖД}}^{\text{лок.РЖД}} \left(1 - \frac{\mu}{100} \right) - \frac{\theta_{\text{лок}}}{(365 \cdot 24 - t_{\text{рем}}) k_{\text{исп}}} \times \left(C_{\text{лок}} \left(\frac{1}{T_{\text{ок}}^{\text{лок}}} + \frac{1}{T_{\text{сл}}^{\text{лок}}} + 0,02 \right) + C_{\text{лок}}^{\text{экспл}} + C_{\text{лок}}^{\text{бриг}} \right) \right] - \Theta_{\text{шт}};$$

$$- \frac{\theta}{365 \cdot 24} m \left(1 - \frac{\phi}{100} \right) \left(C_{\text{ваг}}^{\text{экспл}} \cdot 365 + C_{\text{ваг}}^{\text{ар}} \cdot 365 \right) - \Pi_{\text{ар.ваг}}^{\text{соб.лок}} \right] - \Theta_{\text{шт}}; \tag{4}$$

для технологии перевозок в собственных вагонах собственными локомотивами:

$$D^4 = \frac{Q}{m} \left[(1+\lambda) \Pi_{\text{ваг.РЖД}}^{\text{лок.РЖД}} \left(1 - \frac{\mu}{100} \right) - \frac{\theta_{\text{лок}}}{(365 \cdot 24 - t_{\text{рем}}) k_{\text{исп}}} \times \left(C_{\text{лок}} \left(\frac{1}{T_{\text{ок}}^{\text{лок}}} + \frac{1}{T_{\text{сл}}^{\text{лок}}} + 0,02 \right) + C_{\text{лок}}^{\text{экспл}} + C_{\text{лок}}^{\text{бриг}} \right) - \frac{\theta}{365 \cdot 24} m \times \left(1 - \frac{\phi}{100} \right) \left(C_{\text{ваг}} \left(\frac{1}{T_{\text{ок}}^{\text{ваг}}} + \frac{1}{T_{\text{сл}}^{\text{ваг}}} + 0,02 \right) + C_{\text{ваг}}^{\text{экспл}} \cdot 365 \right) - \Pi_{\text{соб.ваг}}^{\text{соб.лок}} \right] - \Theta_{\text{шт}}; \tag{5}$$

где Q — объем перевозок, т/год; m — количество вагонов в отдельной отправке; λ — доля обратной загрузки от общего объема; μ — скидка клиентам, %; $\Pi_{\text{ваг.РЖД}}^{\text{лок.РЖД}}$ — провозная плата перевозок локомотивом РЖД в вагонах РЖД за отдельную отправку (маршрут), руб.; $\Pi_{\text{ар.ваг}}^{\text{лок.РЖД}}$ — провозная плата перевозок локомотивом РЖД в арендованных вагонах за отдельную отправку (маршрут), руб.; $\Pi_{\text{соб.ваг}}^{\text{лок.РЖД}}$ — провозная плата перевозок локомотивом РЖД в собственных вагонах за отдельную отправку (маршрут), руб.; $\Pi_{\text{ар.ваг}}^{\text{соб.лок}}$ — провозная плата перевозок собственным локомотивом в арендованных вагонах за отдельную отправку (маршрут), руб.; $\Pi_{\text{соб.ваг}}^{\text{соб.лок}}$ — провозная плата перевозок собственным локомотивом в собственных вагонах за отдельную отправку (маршрут), руб.; $C_{\text{лок}}, C_{\text{ваг}}$ — стоимость одного локомотива, вагона, руб.; $C_{\text{лок}}^{\text{экспл}}$ — стоимость содержания одного локомотива в год, руб.; $C_{\text{лок}}^{\text{бриг}}$ — стоимость содержания локомотивных бригад для обслуживания одного локомотива в год, руб.; $C_{\text{ваг}}^{\text{экспл}}$ — стоимость содержания одного вагона в сутки, руб.; $C_{\text{ваг}}^{\text{ар}}$ — затраты на аренду одного вагона в сутки, руб.; $T_{\text{ок}}$ — нормативный срок окупаемости подвижного состава, лет; $T_{\text{сл}}$ — нормативный срок службы соответствующего

подвижного состава, лет; θ — время полного оборота вертушки, ч; $\theta_{\text{лок}}$ — время полного оборота локомотива, ч; $t_{\text{рем}}$ — приведенное время на все виды ремонта в год, ч; $k_{\text{исп}}$ — коэффициент использования локомотива; φ — резерв (запас) вагонов, %; $\Xi_{\text{шт}}$ — эксплуатационные расходы на содержание штата офисных сотрудников операторской компании, обслуживающих данные перевозки, руб.

Решая задачу максимизации зависимостей (1) – (5) относительно переменных (объем, расстояние перевозок, количество вагонов в отправке, доля обратной загрузки), получаем оптимальную с точки зрения получаемого дохода операторской компании технологию перевозок.

Решаемая задача является общей условной задачей максимизации нелинейного программирования:

$$\max_{x \in M \subset R^n} f(x). \tag{6}$$

Целевой функцией в нашем случае является функция дохода операторской компании при разных технологиях перевозок

$$D(Q, L, m, \lambda) = \begin{cases} D^I(Q, L, m, \lambda) \\ D^{II}(Q, L, m, \lambda) \\ D^{III}(Q, L, m, \lambda) \\ D^{IV}(Q, L, m, \lambda) \end{cases} \tag{7}$$

где $D^I(Q, L, m, \lambda)$ — доход при перевозках в арендованных вагонах локомотивами РЖД; $D^{II}(Q, L, m, \lambda)$ — доход при перевозках в собственных вагонах локомотивами РЖД; $D^{III}(Q, L, m, \lambda)$ — доход при перевозках в арендованных вагонах собственными локомотивами; $D^{IV}(Q, L, m, \lambda)$ — доход при перевозках в собственных вагонах собственными локомотивами,

с ограничениями множества допустимых значений:

$$M = \{x : a \leq x \leq b\}, \tag{8}$$

где

$$a = \begin{bmatrix} Q_{\min} \\ L_{\min} \\ m_{\min} \\ \lambda_{\min} \end{bmatrix}, \quad x = \begin{bmatrix} Q \\ L \\ m \\ \lambda \end{bmatrix}, \quad b = \begin{bmatrix} Q_{\max} \\ L_{\max} \\ m_{\max} \\ \lambda_{\max} \end{bmatrix}. \tag{9}$$

Задачи этого класса являются самыми сложными с математической точки зрения, однако необходимость их решения диктуется практикой.

Полностью расписывать значения провозной платы и оборота вертушки в зависимостях (1) – (5) нецелесообразно, так как определенно можно сказать, что целевая функция негладкая, многоэкстремальная, и применение стандартных методов решения задач нелинейного программирования не представляется возможным. В связи с этим для оптимизации целевой функции при-

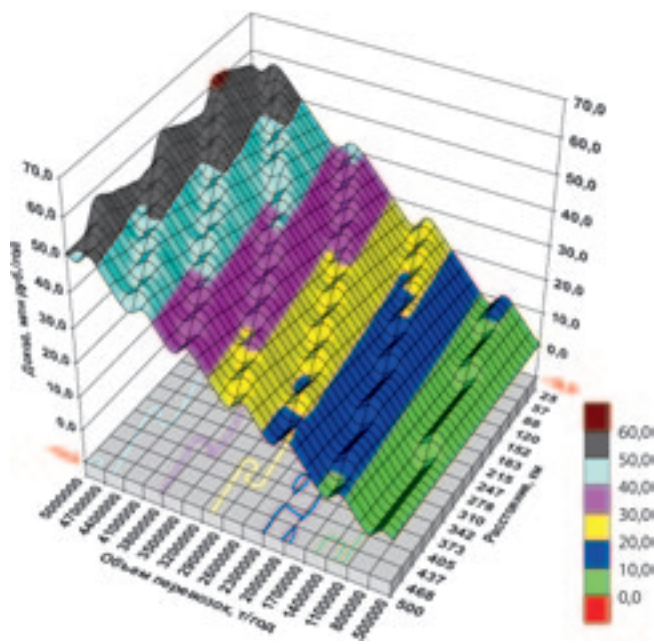


Рис. 1. Влияние объема и расстояния перевозок на предполагаемый доход операторской компании при использовании технологии перевозок в собственных вагонах локомотивами РЖД

емлемы лишь простые численные методы, обеспечивающие достаточную сходимость при значительных затратах машинного времени.

Особую научную и практическую ценность имеет построение зависимостей основных переменных математической модели от дохода операторской компании и проведение графоаналитического исследования полученных зависимостей.

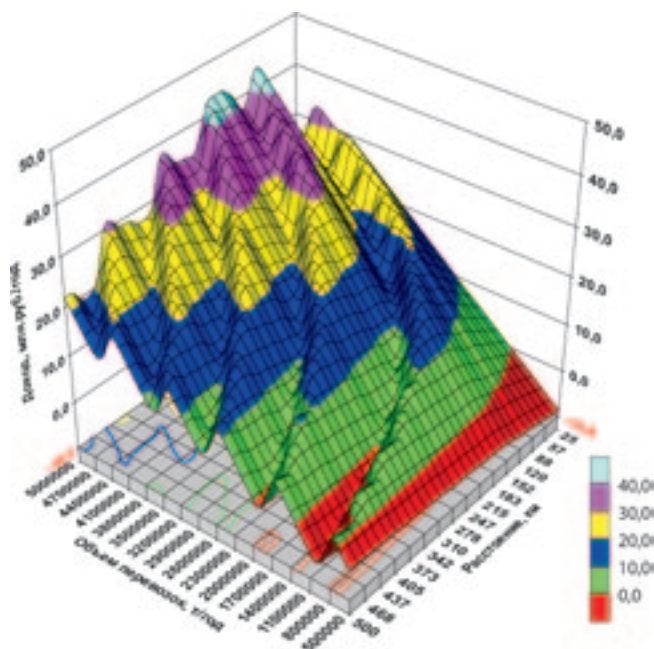


Рис. 2. Влияние объема и расстояния перевозок на предполагаемый доход операторской компании при использовании технологии перевозок собственными поездными формированиями

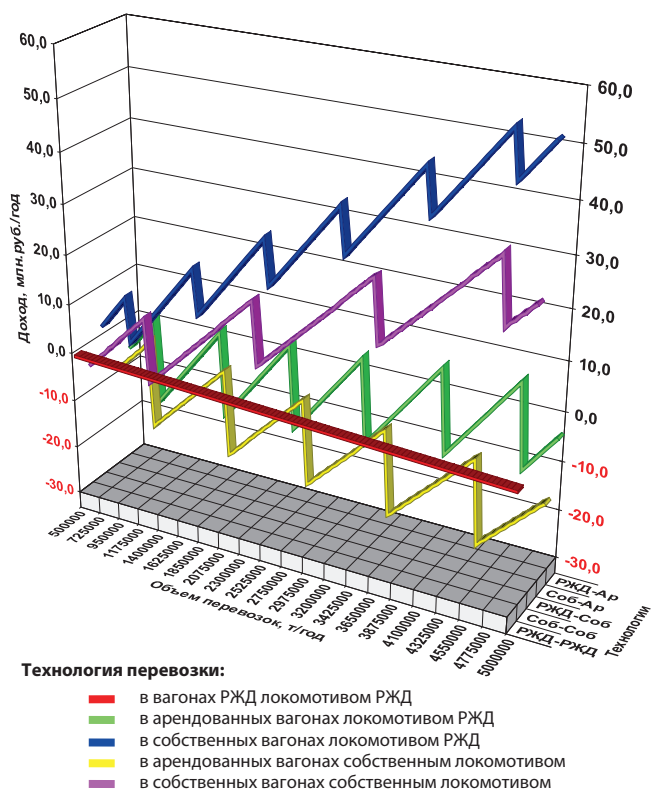


Рис. 3. Колебания эффективности применения различных технологий в зависимости от динамики объема перевозок

Основными характеристиками любых грузопотоков являются объем и расстояние перевозки. На рис. 1 продемонстрировано взаимное влияние этих характеристик на предполагаемый доход операторской компа-

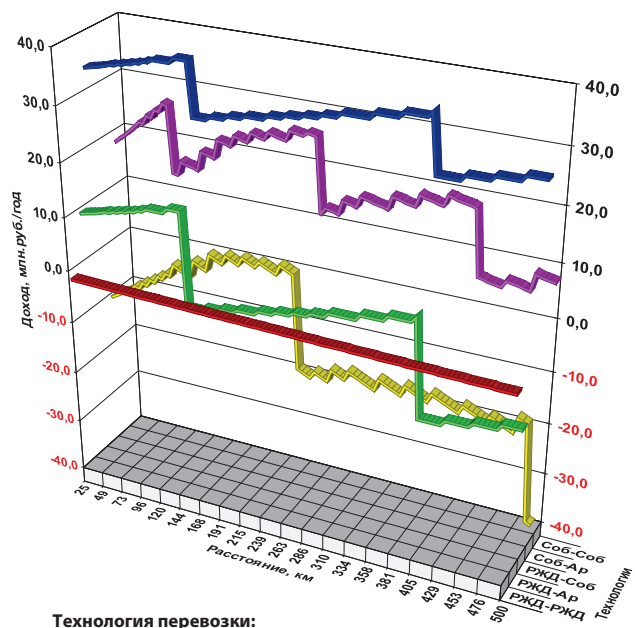


Рис. 4. Колебания эффективности применения различных технологий в зависимости от динамики расстояния перевозки

нии при обслуживании перевозок собственными вагонами и локомотивами РЖД.

На рис. 2 показано взаимное влияние объема и расстояния перевозок на предполагаемый доход операторской компании при обслуживании перевозок собственными поездными формированиями.

Ступенчатость вышеприведенных зависимостей напрямую зависит от целочисленности физических вертушек и/или локомотивов, необходимых для обеспечения процесса перевозок.

Немаловажное значение при перевозках массовых грузов имеет применяемая технология. Колебания эффективности применения различных технологий в зависимости от изменения объема перевозок графически представлены на рис. 3.

Изменение эффективности применения различных технологий в зависимости от расстояния перевозок продемонстрировано на рис. 4. Мелкая зубчатость полученных зависимостей связана с особенностями расчета провозной платы, при котором учитывается не абсолютное значение тарифного расстояния, а среднепоясное.

Если не учитывать ступенчатости и мелкой зубчатости зависимостей, представленных на рис. 3 и 4, их можно считать линейными. При этом, как видно, они мало конкурируют друг с другом. Иная картина предстает при рассмотрении колебаний эффективности применения различных технологий в зависимости от изменения числа вагонов в вертушке (рис. 5).

Анализируя полученные зависимости, можно утверждать, что при возможности пропуска по полигону длиннооставных поездов технология перевозок собственными поездными формированиями приобретает значительное преимущество над технологией перевозок с использованием локомотивов РЖД. Кривая на рис. 6 характеризует разделение сфер применения конкурирующих технологий по критерию эффективности перевозок. Для значений точек, располагаемых выше линии перелома эффективности, применение технологии перевозок собственными поездными формированиями является оптимальным по критерию дохода операторской компании. В иных случаях целесообразнее использовать технологию перевозок в собственных вагонах локомотивом РЖД.

Особое место в проведенном исследовании занимает анализ эффективности вариантов перевозок с обратной загрузкой. Колебания эффективности применения различных технологий в зависимости от процента обратной загрузки графически представлены на рис. 7. Для анализа точечными линиями соответствующего цвета показаны значения дохода операторской компании при тех же самых условиях перевозки, но без обратной загрузки.

Как видно из рис. 7, подавляющее преимущество имеет технология перевозок собственными поездными формированиями, лишь при малых объемах обрат-

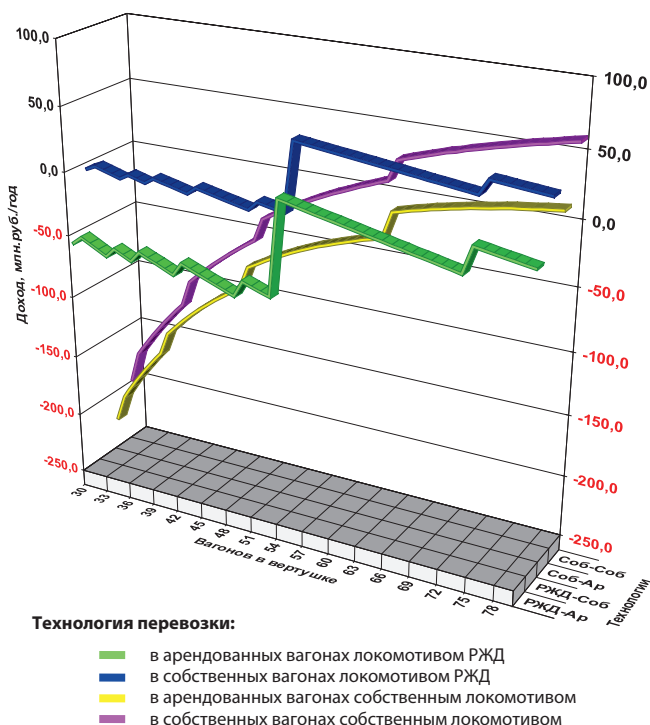


Рис. 5. Колебания эффективности применения различных технологий в зависимости от динамики числа вагонов в вертушке



Рис. 6. График разделения областей эффективного применения конкурирующих технологий

ной загрузки целесообразно применение технологии перевозок с использованием локомотивов РЖД. Точка разделения областей эффективного применения технологий обозначена кружком. Двухмерный вариант этой точки в зависимости от числа вагонов в вертушке представлен на рис. 8.

Таким образом, для значений, располагаемых выше линии перелома эффективности, применение технологии перевозок собственными поездными формированиями является наиболее оптимальным вариантом. В противном случае целесообразно использовать технологию перевозок в собственных вагонах локомотивом РЖД.

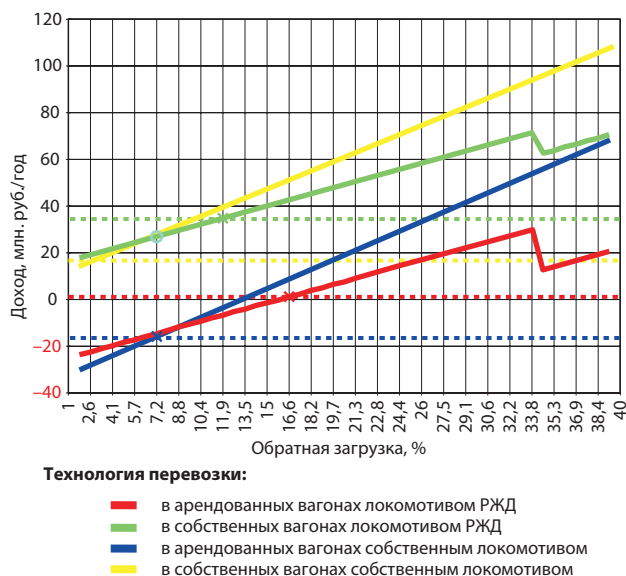


Рис. 7. Колебания эффективности применения различных технологий в зависимости от изменения процента обратной загрузки



Рис. 8. График разделения областей эффективного применения конкурирующих технологий перевозок с учетом обратной загрузки



Рис. 9. График определения области эффективного применения вариантов перевозок с обратной загрузкой

При анализе вариантов перевозок сырья металлургического производства огромную ценность, как научную, так и практическую, приобретает определение точки эффективности применения вариантов с обратной загрузкой. На рис. 7 подобные точки для каждой технологии перевозок обозначены перекрестьем. Графическое решение этой задачи при изменении общего объема перевозок для обеих конкурирующих технологий представлено на рис. 9.

Таким образом, для значений, располагаемых выше линии перелома эффективности, применение вариантов перевозок с обратной загрузкой является оптимальным по критерию дохода операторской компании. В противном случае применение подобных вариантов нецелесообразно.

При анализе графика можно отметить значительные колебания кривой эффективности применения обратной загрузки для технологии перевозок в собственных вагонах локомотивом РЖД и эффективность применения вариантов с обратной загрузкой для технологии перевозок собственными поездными формированиями при объеме обратной загрузки в 3 % и более от общего объема перевозок.

Выводы. 1. Анализ полученных зависимостей показал эффективность применения технологии перевозок собственными вагонами с локомотивом РЖД, однако при возможности пропуска по полигону длинносоставных поездов предпочтительнее использовать технологию перевозок собственными поездными формированиями.

2. Сравнение вариантов перевозок с обратной загрузкой выявило подавляющее преимущество технологии перевозок собственными поездными формированиями.

3. Точка безубыточности применения обратной загрузки для технологии перевозок собственными поездными формированиями определилась при объеме обратной загрузки в 3 % и более от общего объема перевозок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акулиничев В. М. Математические методы в эксплуатации железных дорог. — М.: Транспорт, 1981. 223 с.
2. Поляк Б. Т. Введение в оптимизацию. М.: Наука, 1983. 384 с.
3. Резер С. М. Логистика экспедирования грузовых перевозок. М.: ВИНТИ РАН, 2002. 472 с.
4. Химмельблау Д. Прикладное нелинейное программирование. М.: Мир, 1975. 433 с.

Электроника ↔ **Транспорт**

2007

20–22 февраля, Москва, ЦМТ

**СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ
ВЫСТАВКА-ФОРУМ**

**У ВАС ЕСТЬ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ТРАНСПОРТА?
СПЕШИТЕ ОФОРМИТЬ УЧАСТИЕ!**

**ЭЛЕКТРОНИКА
ЭЛЕКТРОТЕХНИКА
СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
ДЛЯ ТРАНСПОРТА И
ТРАНСПОРТНЫХ
КОММУНИКАЦИЙ**



Организаторы: ЗАО "ЧипЭКСПО"
Тел: +7 (495) 221 5015
<http://transport.chipexpo.ru>