

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»**

Кафедра «Транспортные узлы»

**МУЛЬТИМОДАЛЬНЫЕ
ТРАНСПОРТНЫЕ
СИСТЕМЫ
(ПРИМЕРЫ И РАСЧЕТЫ)**

**Учебно-методическое пособие
по дисциплине «Взаимодействие видов транспорта»**

Гомель 2014

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

Кафедра «Транспортные узлы»

МУЛЬТИМОДАЛЬНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ (ПРИМЕРЫ И РАСЧЕТЫ)

*Одобрено методической комиссией заочного факультета
в качестве учебно-методического пособия по дисциплине
«Взаимодействие видов транспорта»*

Гомель 2014

УДК 656.078 (075.8)
ББК 39.1
М90

Авторы: *В. Я. Негрей, В. А. Подкопаев, Е. А. Филатов, Г. В. Чиграй,
Н. А. Азявчиков*

Рецензент – *С. А. Аземша*, канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой
«Организация дорожного движения» учреждения образования
«Белорусский государственный университет транспорта»

Мультимодальные транспортные системы (примеры и расчеты) :
М90 учеб.-метод. пособие по дисциплине «Взаимодействие видов транспорта» / В. Я. Негрей [и др.]; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп.– Гомель : БелГУТ, 2014. – 80 с.
ISBN 978-985-554-270-5

Изложены основные теоретические положения и приведены примеры решения часто встречающихся задач взаимодействия различных видов транспорта в узлах: оценка уровня загрузки элементов пунктов взаимодействия, разработка технологических графиков взаимодействия транспортных средств, организация перевалки грузов в пунктах взаимодействия, оптимизация освоения грузовых перевозок и процессов взаимодействия в транспортных узлах и др.

Предназначено для студентов специальностей 1-44 01 01 «Организация перевозок и управление на автомобильном и городском транспорте», 1-44 01 03 «Организация перевозок и управление на железнодорожном транспорте».

УДК 656.078 (075.8)
ББК 39.1

ISBN 978-985-554-270-5

© Оформление. УО «БелГУТ», 2014

ВВЕДЕНИЕ

Предлагаемое пособие призвано оказать помощь студентам, изучающим вопросы взаимодействия видов транспорта, в выполнении практических и контрольных работ. Даны основные теоретические предпосылки, раскрывающие подходы и пути решения рассматриваемых задач, в том числе оценка уровня загрузки элементов пунктов взаимодействия различных видов транспорта, разработка технологических графиков взаимодействия транспортных средств, организация перевалки грузов в пунктах взаимодействия, оптимизация освоения грузовых перевозок и процессов взаимодействия в транспортных узлах.

Приведены примеры решения часто встречающихся на практике задач взаимодействия различных видов транспорта в узлах. Эти задачи можно решать с помощью алгоритмов и компьютерных программ при оценке множества предварительно намеченных вариантов. Такие модели позволяют учесть технические и технологические особенности пункта взаимодействия различных видов транспорта; характер изменения параметров системы и функциональных зависимостей между ними и возможность детального учета требований надежности, безопасности, регулярности, системности и других свойств. Кроме того, это даёт возможность исследователю расширить круг рассматриваемых вариантных решений и осуществить поиск оптимального из них.

1 УРОВЕНЬ ЗАГРУЗКИ ПУНКТОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ. ОБРАБОТКА ВАГОНОВ И АВТОМОБИЛЕЙ В ПУНКТАХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

Основными элементами пунктов взаимодействия различных видов транспорта являются железнодорожные пути, причалы, крытые склады и площадки, погрузочно-разгрузочные машины, паромы, сортировочные и другие устройства, техническое оснащение которых во многом определяет эффективность работы единой транспортной системы (ЕТС).

Главным требованием к мощности технических устройств является соответствие их пропускных и перерабатывающих способностей заданным размерам работы. Задача определения целесообразной мощности устройств решается для отдельных подсистем или всего пункта взаимодействия. В качестве критериев оптимальности используются вероятность безотказной работы системы, приведенные затраты в развитие постоянных устройств, подвижной состав, грузовая масса и другие статьи расходов [1].

Пример 1. На одноканальный пункт взаимодействия поступает смешанный поток вагонов и автомобилей. Интервалы в потоке и продолжительность выполнения грузовых операций описываются нормальным законом распределения. Доля вагонов в потоке составляет $\alpha_b = 0,1$, автомобилей – $\alpha_a = 0,9$. Стоимость 1 ч простоя автомобиля $C_a = 12\ 000$ руб., вагона – $C_b = 3\ 000$ руб., погрузочно-разгрузочного канала – $C_m = 73\ 000$ руб. Определить оптимальный уровень загрузки канала взаимодействия.

Решение. Если интервалы в потоке и продолжительность грузовой операции распределены по нормальному закону, а пункт взаимодействия производит обработку вагонов и автомобилей по принципу «первым пришел – первым обслуживаешься», то *оптимальный уровень загрузки одноканальной системы* составит

$$\rho_{\text{опт}}^H = 1 - \sqrt{\frac{0,11\beta_c C_o}{0,11C_o\beta_c + C_m}}, \quad (1)$$

где β_c – коэффициент, учитывающий влияние суточных колебаний и ошибку прогноза перспективных размеров работы пункта взаимодействия. Для ориентировочных расчетов $\beta_c = 1,12 \dots 1,18$;

C_o – средневзвешенная стоимость 1 ч простоя одной транспортной единицы;

$$C_o = \sum_{i=1}^m C_i \cdot \alpha_i, \quad (2)$$

C_i – стоимость 1 ч простоя транспортной единицы i -й категории;

α_i – доля транспортных единиц i -й категории в потоке.

Для условий примера

$$C_o = 12000 \cdot 0,9 + 3000 \cdot 0,1 = 11100 \text{ руб.};$$

$$\rho_{\text{опт}}^H = 1 - \sqrt{\frac{0,11 \cdot 1,15 \cdot 11100}{0,11 \cdot 1,15 \cdot 11100 + 73000}} = 0,86.$$

Оптимальное количество ПРМ на одноканальном пункте взаимодействия (машины взаимозаменяемы)

$$Z = \frac{nt_{об}}{24\rho_{орт}k_{вр}}, \quad (3)$$

где n – количество транспортных единиц, поступающих на пункт взаимодействия за сутки;

$t_{об}$ – средняя продолжительность обслуживания транспортной единицы;

$k_{вр}$ – коэффициент использования машины по времени, учитывающий технологические перерывы.

Количество ПРМ при $n = 98$, $t_{об} = 0,3$ ч и $k_{вр} = 0,90$

$$Z = \frac{98 \cdot 0,3}{24 \cdot 0,86 \cdot 0,9} = 1,58 \approx 2 \text{ машины.}$$

Пример 2. Для исходных данных примера 1 установить, как изменится оптимальный уровень загрузки пункта взаимодействия, если стоимость 1 ч простоя погрузочно-разгрузочного канала составляет 28 400 руб.

Решение. По формуле (1) при $C_m = 28\,400$ руб. находим

$$\rho_{орт}^H = 1 - \sqrt{\frac{0,11 \cdot 1,15 \cdot 11100}{0,11 \cdot 1,15 \cdot 11100 + 28400}} = 0,78.$$

Из сопоставления результатов расчета для двух пунктов взаимодействия, оборудованных механизмами с различной стоимостью внутрисменного простоя, следует, что оптимальный уровень загрузки уменьшается при сокращении стоимости простоя механизмов. Другими словами, необходимо повышать уровень загрузки дорогостоящих механизмов на пунктах взаимодействия.

Пример 3. Определить потребное количество автомобилей для вывоза грузов со станции в течение смены, если колебания продолжительности погрузки, выгрузки, движения с грузом описываются нормальным законом распределения с параметрами: $\bar{t}_п = 0,7$ ч, $\bar{t}_в = 0,9$, $\bar{t}_{дв} = 1,4$, $\sigma_п = 0,11$, $\sigma_в = 0,14$, $\sigma_{дв} = 0,16$.

Уровень загрузки механизмов на станции и в пункте выгрузки принять одинаковым: $\rho = 0,70$. Коэффициент вариации интервалов прибытия автомобилей $\gamma_{вх} = 0,4$. Грузоподъемность автомобиля $Q_a = 5,0$ т, коэффициент использования грузоподъемности $\varepsilon_a = 0,7$. Количество груза, которое необходимо вывезти со склада в течение смены, составляет $Q_c = 224$ т. Расчетная вероятность вывоза груза $P = 0,95$.

Решение. Среднее количество тонн груза, которое может вывезти автомобиль в течение смены,

$$\Pi = k_a T_{см} Q_a \varepsilon_a / T, \quad (4)$$

где k_a – коэффициент использования автомобиля по времени, 0,95;

$T_{см}$ – продолжительность смены (или нахождения автомобиля в наряде), ч;

T – продолжительность оборота автомобиля или автопоезда, ч;

$$T = \bar{t}_{\text{ож}} + \bar{t}_{\text{п}} + \bar{t}_{\text{дв}} + \bar{t}_{\text{в}};$$

$\bar{t}_{\text{ож}}$ – средняя продолжительность ожидания погрузки-выгрузки автомобиля, ч.

Средняя продолжительность ожидания обслуживания автомобиля

$$\bar{t}_{\text{ож}} = \frac{\rho t_o (\gamma_o^2 + \gamma_o)}{2(1-\rho)}, \quad (5)$$

где t_o – средняя продолжительность грузовой операции, ч;

γ_o – коэффициент вариации времени обслуживания транспортной единицы;

$$\gamma_o = \frac{\sigma}{t}.$$

Для условий примера

$$\gamma_o^{\text{п}} = \frac{0,11}{0,7} = 0,157; \quad \gamma_o^{\text{в}} = \frac{0,14}{0,9} = 0,156;$$

$$\bar{t}_{\text{ож}}^{\text{п}} = \frac{0,7 \cdot 0,7 \cdot (0,4^2 + 0,157^2)}{2 \cdot (1-0,7)} = 0,15 \text{ ч}; \quad \bar{t}_{\text{ож}}^{\text{в}} = \frac{0,9 \cdot 0,7 \cdot (0,4^2 + 0,156^2)}{2 \cdot (1-0,7)} = 0,19 \text{ ч}.$$

В результате колебаний отдельных составляющих оборота автомобиля будет изменяться и количество рейсов, которые может выполнить один автомобиль в течение смены. Для принятых законов распределения колебаний технологических параметров среднее квадратичное отклонение количества рейсов автомобиля можно определить по формуле

$$\sigma_{\text{ра}} = \frac{0,5\sqrt{\sigma_{\text{то}}^2 + \sigma_{\text{ож}}^2} \left(\sqrt{4k_a T_{\text{см}} (t_{\text{то}} + t_{\text{ож}}) + 9(\sigma_{\text{то}}^2 + \sigma_{\text{ож}}^2)} - 3\sqrt{\sigma_{\text{то}}^2 + \sigma_{\text{ож}}^2} \right)}{(t_{\text{то}} + t_{\text{ож}})^2}, \quad (6)$$

где

$$t_{\text{то}} = \bar{t}_{\text{п}} + \bar{t}_{\text{дв}} + \bar{t}_{\text{в}}; \quad \sigma_{\text{то}}^2 = \sum_j^n \sigma_{\text{то}j}^2; \quad \sigma_{\text{ож}}^2 = \sum_{s=1}^n \sigma_{\text{ож}k}^2; \quad \bar{t}_{\text{ож}} = \bar{t}_{\text{ож}}^{\text{п}} + \bar{t}_{\text{ож}}^{\text{в}}.$$

Среднее квадратичное отклонение времени ожидания обслуживания

$$\sigma_{\text{ож}i} = \frac{t_{oi}}{1-\rho} \sqrt{\frac{\rho}{3} - \frac{\rho^2}{12}} (1 + \gamma^2). \quad (7)$$

Произведем расчеты:

$$\sigma_{\text{ож}}^{\text{п}} = \frac{0,7}{1-0,7} \sqrt{\frac{0,7}{3} - \frac{0,7^2}{12}} (1+0,157^2) = 1,05;$$

$$\sigma_{\text{ож}}^{\text{в}} = \frac{0,9}{1-0,7} \sqrt{\frac{0,7}{3} - \frac{0,7^2}{12}} (1+0,156^2) = 1,35;$$

$$\sigma_{\text{ож}}^2 = 1,05^2 + 1,35^2 = 1,71^2;$$

$$t_{\text{то}} = 0,7 + 1,4 + 0,9 = 3,0 \text{ ч}; \quad t_{\text{ож}} = 0,15 + 0,19 = 0,34 \text{ ч};$$

$$\sigma_{\text{то}} = \sqrt{0,11^2 + 0,16^2 + 0,14^2} = 0,24 \text{ ч};$$

$$\sigma_{\text{ра}} = \frac{0,5 \sqrt{0,24^2 + 1,71^2} \left(\sqrt{4 \cdot 0,95 \cdot 7 \cdot (3 + 0,34)} + 9 \cdot (0,24^2 + 1,71^2) \right) - 3 \sqrt{0,24^2 + 1,71^2}}{(3 + 0,34)^2} =$$

$$= 0,43 \text{ рейса.}$$

Потребное количество автомобилей

$$Q_c = \text{ПМ} + t_{\text{р}} \sigma_{\text{ра}} Q_a \varepsilon_a, \quad (8)$$

где M – количество автомобилей.

Обозначив

$$\frac{2\Pi Q_c + t_{\text{р}}^2 \sigma_{\text{ра}}^2 Q_a^2 \varepsilon_a^2}{\Pi^2} = a; \quad \frac{Q_c}{\Pi^2} = b,$$

получим

$$M = \frac{a}{2} + \sqrt{\frac{a^2}{4} - b}.$$

Подставим исходные данные при $t_{\text{р}} = 1,64$, что соответствует $P = 0,95$:

$$T = 0,34 + 0,7 + 1,4 + 0,9 = 3,34 \text{ ч}; \quad \Pi = 0,95 \cdot 8 \cdot 5 \cdot 0,7 / 3,34 = 7,96 \text{ т};$$

$$a = \frac{2 \cdot 7,96 \cdot 224 + 1,64^2 \cdot 0,21^2 \cdot 5^2 \cdot 0,7^2}{7,96^2} = 56,3; \quad b = \frac{224^2}{7,96^2} = 791,9;$$

$$M = \frac{56,3}{2} + \sqrt{\frac{56,3^2}{4} - 791,9} = 28,9 \approx 29 \text{ автомобилей.}$$

2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ОБРАБОТКИ ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Наиболее совершенной формой технологического взаимодействия различных видов транспорта в узлах являются **единые технологические процессы (ЕТП)**. Единый технологический процесс – это рациональная система организации работы взаимодействующих в узле видов транспорта, увязывающая между собой технологию обработки транспортных единиц и обслуживания пассажиров в пунктах взаимодействия, обеспечивающая единый ритм в перевозочном и производственном процессах обслуживаемых предприятий. Основой ЕТП является согласованное взаимодействие работников железнодорожного, морского, речного, автомобильного и других видов транспорта в узлах [1, 2, 6, 8, 10].

При организации работы по единому технологическому процессу решают такие вопросы, как разработка единых графиков выполнения операций с вагонами и составами на станциях и подъездных путях промышленного транспорта; увязка единой технологии с маршрутизацией перевозок, планами формирования поездов и судов; обеспечение ритмичности погрузки-выгрузки грузов во времени и пространстве; разработка согласованных графиков движения на всем пути следования груза от пункта отправления до пункта назначения.

ЕТП разрабатывают в следующей последовательности:

- в результате детального обследования и углубленного изучения состояния пунктов взаимодействия в транспортных узлах выявляют ограничивающие по техническому оснащению элементы и недостатки технологии работы в цепи взаимодействия, устранение которых может существенно улучшить условия взаимодействия, иногда без значительных материальных затрат;

- рационально (с использованием экономико-математических методов) распределяют объемы перевалки грузов в узле между пунктами взаимодействия, отдельными технологическими линиями каждого пункта в соответствии с их специализацией. Определяют порядок производства операций с транспортными средствами, весовую норму и число передаточных поездов, судов, порядок обмена передачами;

- по существующим нормативам определяют продолжительность технических, маневровых, коммерческих операций с судами, вагонами, автомобилями и разрабатывают технологические графики для каждого элемента транспортно-узла, а также графики работы погрузочно-разгрузочных механизмов в пунктах перевалки, графики обработки документов и др.;

- после составления простых технологических графиков выявляют возможности совмещения операций с целью сокращения затрат времени на цикл операций и повышения производительности подвижного состава; после составления графиков обработки подвижного состава взаимодействующих видов транспорта приступают к разработке единого суточного плана-графика пункта пере-

валки, предварительно проверив соблюдение важнейших условий взаимодействия; пропускные (провозные) способности устройств (N) s -го и $(s + 1)$ -го видов транспорта в k -м пункте перевалки должны быть эквивалентны, т. е.

$$N_{kv} \leftrightarrow N_{kv+1}; \quad (9)$$

- расчетные интервалы прибытия и отправления транспортных средств в пункте взаимодействия должны соответствовать технологическому интервалу их обработки:

$$t_j^{\text{п}} \leq I_j^{\text{п}}; t_j^{\text{от}} \leq I_j^{\text{от}}, \quad (10)$$

где $t_j^{\text{п}}, t_j^{\text{от}}$ – продолжительность технологических операций при погрузке (выгрузке) j -й транспортной единицы (группы);

$I_j^{\text{п}}, I_j^{\text{от}}$ – расчетный интервал соответственно прибытия и отправления транспортных средств j -го типа;

- число транспортных единиц N_k или количество груза Q_k , прибывающего за некоторый период в k -й пункт перевалки, не должно превышать пропускной (перерабатывающей) способности лимитирующих элементов N_{kj} (Π_{kj}) соответствующих перегрузочных фронтов, т. е.

$$N_j < N_{kj}, \text{ или } Q_j < \Pi_{kj}; \quad (11)$$

- календарные сроки прибытия в k -й пункт взаимодействия груженых и порожних составов s -го и $(s + 1)$ -го видов транспорта должны быть согласованы по времени и синхронизированы с режимом выпуска продукции;

- количество порожнего тоннажа ($Q_s^{\text{пор}}$) для данного рода груза, подаваемого в пункт взаимодействия s -м видом транспорта, должно соответствовать количеству груза, прибывающего $(s + 1)$ -м видом транспорта, т. е.

$$Q_s^{\text{пор}} \leftrightarrow Q_{s+1}^{\text{п}}. \quad (12)$$

Для взаимодействия различных видов транспорта с промышленными предприятиями условие (12) запишется так:

$$Q_s^{\text{пор}} \leftrightarrow Q_{\text{скл}}. \quad (13)$$

где $Q_{\text{скл}}$ – количество накопившейся на складе продукции.

Пример 4. Разработать контактный график грузовой обработки судов и железнодорожных составов в пункте взаимодействия при согласовании расписаний движения на взаимодействующих видах транспорта для следующих исходных данных: объем перевалки с железнодорожного на речной транспорт $Q_t = 700\,000$ т; период согласованной работы T_s порта и железнодорожной

станции – 200 суток; грузоподъемность речного состава $q_c = 2 \cdot 1000$ т; степень использования грузоподъемности судна $\varepsilon_c = 1,0$; грузоподъемность вагона $q_b = 64$ т; степень использования грузоподъемности вагона $\varepsilon_b = 1,0$; вместимость вагонов на приемоотправочном пути портовой станции $n_{ж} = 54$; эксплуатационная производительность перегрузочного комплекса одного причала $\Pi = 120$ т/ч; продолжительность технологических операций по обработке речного состава по прибытии $t_{тс} = 1,5$ ч, то же по отправлению $t_{отс} = 2,0$ ч, обработке железнодорожных составов по прибытии $t_{тп} = 0,5$ ч, отправлению $t_{отп} = 0,5$ ч, формированию состава $t_{ф} = 0,5$ ч; продолжительность подачи-уборки вагонов на причал $t_{п-у} = 0,5$ ч; количество подач-уборок $X_{п-у} = 2$.

Р е ш е н и е. Количество груза, прибывающего за определенный период для перевалки, не должно превышать перерабатывающей способности перегрузочных фронтов: $Q_{пер} < \Pi$.

Наилучшие условия при организации взаимодействия обеспечиваются при равенстве эксплуатационной грузоподъемности речного и железнодорожного транспорта, т. е.

$$\varepsilon_c q_c = \bar{n}_{ж} \varepsilon_b q_b, \quad (14)$$

где $\bar{n}_{ж}$ – среднее число вагонов в железнодорожном составе.

Из выражения (14) следует

$$\bar{n}_{ж} = \frac{\varepsilon_c q_c}{\varepsilon_b q_b} = \frac{1,0 \cdot 2000}{1,0 \cdot 64} = 31 \text{ ваг.}$$

При равенстве эксплуатационной грузоподъемности составов взаимодействующих видов транспорта средний интервал прибытия железнодорожных (речных) составов

$$\bar{I}_{ж} = \bar{I}_{р} = \frac{24 T_{э} q_b \varepsilon_b \bar{n}_{ж}}{Q_r}. \quad (15)$$

Подставив в выражение (15) исходные данные, получим

$$\bar{I}_{ж} = \bar{I}_{р} = \frac{24 \cdot 200 \cdot 64 \cdot 1,0 \cdot 31}{700000} = 13,6 \text{ ч.}$$

Для выполнения условия взаимодействия минимальное количество причалов в пункте взаимодействия

$$\bar{n}_{\min} = \frac{\varepsilon_c q_c}{(\bar{I}_{р} - t_r - t_{п}) \Pi}, \quad (16)$$

где t_T – продолжительность технологических операций по обработке судна (не совмещенных с грузовыми и подготовительно-заключительными операциями). Для условий примера $t_T = 1,5 + 2,0 + 1,25 = 4,75$;

t_{Π} – продолжительность перерывов в течение обработки судна, равная 0,3 ч;

$$\bar{n}_{\min} \geq \frac{1,0 \cdot 2000}{120 \cdot (13,6 - 4,75 - 0,3)} \geq 1,95 \approx 2.$$

Минимальный технологический интервал обработки судна на причале при $n_{\min} \leq n_c$

$$I_{\min, p} = \frac{\varepsilon_c q_c}{n_c \Pi} + t_T + t_{\Pi}. \quad (17)$$

Если на причале обрабатывается состав из n барж, то

$$I_{\min, p} = \frac{\varepsilon_c q_c}{n_c \Pi} + n_c t_T + t_{\Pi}, \quad (18)$$

где n_c – количество судов в составе.

Учитывая, что $n_{\min} = n_c$ для расчета технологического интервала обработки состава используется выражение (16):

$$I_{\min, p} = \frac{1,0 \cdot 2000}{2 \cdot 120} + 4,75 + 0,3 = 13,38 \text{ ч.}$$

Минимальный технологический интервал обработки железнодорожных составов определяется по формулам:

- при наличии на причальном фронте двух погрузочно-разгрузочных путей и n причалов –

$$I_{\min ж} = \frac{\varepsilon_B q_B \bar{n}_{ж}}{n_{\min} \Pi} + 3 t_{\Pi} + t_{л} + \frac{t_{\text{доп}} \bar{n}_{ж}}{n_{\min} X_{\Pi}} + t_{\text{гр}} + t_{\text{ф}} + t_{\text{от}}, \quad (19)$$

где $t_{л}$ – продолжительность заезда локомотива за подачей, равное 0,3 ч;

- при наличии одного погрузочно-разгрузочного пути и n причалов –

$$I_{\min ж} = \frac{\varepsilon_B q_B \bar{n}_{ж}}{n_{\min} \Pi} + \frac{X_{\Pi} (2 t_{\Pi} + t_{л})}{n_{\min}} + \frac{t_{\text{доп}} \bar{n}_{ж}}{n_{\min}} + t_{\text{гр}} + t_{\text{ф}} + t_{\text{от}}. \quad (20)$$

Используя выражение (19) и приняв $t_{\text{доп}} = 0,05$, получим

$$I_{\min ж} = \frac{1,0 \cdot 64 \cdot 31}{2 \cdot 120} + 3 \cdot 0,5 + 0,3 + \frac{0,05 \cdot 31}{2 \cdot 2} + 0,5 + 0,5 + 0,5 = 11,95 \text{ ч.}$$

Сравнивая $I_{\min ж}$, $I_{\min р}$, $\bar{I}_{ж}$, $\bar{I}_{р}$, можно сделать вывод о том, что при наличии двух причалов обеспечивается соблюдение режимов взаимодействия ($11,95 < 13,38 < 13,6$).

Для разработки контактного графика при полном согласовании интервалов подвода подвижного состава взаимодействующих видов транспорта выбирается момент подвода железнодорожных (речных) составов. Приняв, что железнодорожный состав прибывает на портовую станцию в 2 ч 00 мин (рисунок 1), в соответствии с технологическими нормативами вагоны первой подачи поступят на первый путь грузового причала 1 в 3 ч 00 мин и будут находиться под грузовой операцией $(64 \cdot 31) / (2 \cdot 120) = 8,27$ ч.

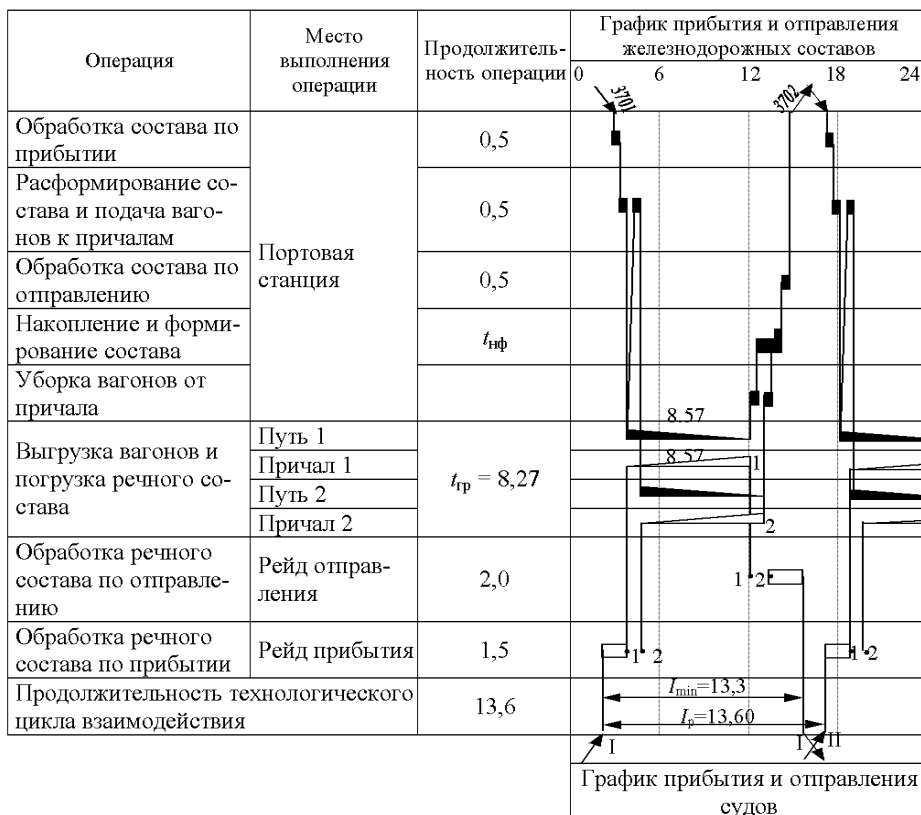


Рисунок 1 – Контактный график взаимодействия железнодорожного и речного транспорта при согласовании расписаний движения поездов и судов

В целом, с учетом продолжительности перерывов в обработке судна, причал будет занят 8,57 ч. Для согласования моментов подачи вагонов и судов к причалу речной состав следует подвести в порт к моменту времени

$$T_c = T_{ж} + t_{пр} + t_{п-у} - t_{тс}, \text{ т. е. } T_c = 2,00 + 0,5 + 0,5 - 1,5 = 1 \text{ ч } 30 \text{ мин.}$$

В этом случае первая баржа поступит к причалу одновременно с вагонами в 3 ч 00 мин, что позволит осуществить перевалку груза по прямому варианту.

Вторая баржа речного состава будет подана ко второму причалу с задержкой на 75 мин (продолжительность операций, связанных с возвращением буксира на рейд и буксировки баржи к причалу).

Вагоны второй подачи поступают на грузовую фронт в 4 ч 00 мин или на 15 мин раньше постановки баржи к причалу 2.

Анализ контактного графика показывает, что технологические интервалы обработки судов и вагонов (см. рисунок 1) меньше среднего интервала поступления железнодорожных и речных составов. Следовательно, обеспечиваются условия согласованной работы двух видов транспорта.

Пример 5. Разработать контактный график грузовой обработки автомобилей и железнодорожных составов в пункте взаимодействия при согласовании расписаний движения на взаимодействующих видах транспорта для следующих исходных данных: суточный объем перевалки с железнодорожного на автомобильный транспорт $Q_{сут} = 600$ т; грузоподъемность железнодорожного вагона $q_c = 60$ т; грузоподъемность автомобиля $q_a = 20$ т; эксплуатационная производительность перегрузочного комплекса $\Pi = 60$ т/ч; вместимость грузового фронта – 5 вагонов; продолжительность технологических операций по обработке автомобильного транспорта по прибытии $t_{пр}^a = 0,2$ ч, отправлению $t_{от}^a = 0,2$ ч, обработке железнодорожных составов по прибытии на грузовую станцию $t_{пр}^{ж} = 0,5$ ч, то же по отправлению $t_{от}^{ж} = 0,5$ ч, расформированию – формированию состава по $t_{р-ф} = 0,5$ ч; продолжительность подачи-уборки вагонов к грузовому фронту $t_{п-у} = 0,5$ ч; количество подач-уборок $x_{п-у} = 2$.

Приняв, что железнодорожный состав прибывает на грузовую станцию в 6 ч 30 мин (рисунок 2), в соответствии с технологическими нормативами вагоны первой подачи поступят на путь грузового фронта в 7 ч 30 мин и будут находиться под грузовой операцией $(60 \cdot 5) / (60) = 5,0$ ч.

Для согласования моментов подачи вагонов и автомобилей к грузовому фронту автомобиль следует подвести к моменту времени

$$T_a = T_{ж} - t_{пр}^a, \text{ т. е. } T_a = 7,5 - 0,2 = 7 \text{ ч } 18 \text{ мин.}$$

В этом случае первый автомобиль поступит к причалу одновременно с вагонами в 7 ч 30 мин, что позволит осуществить перевалку груза по прямому

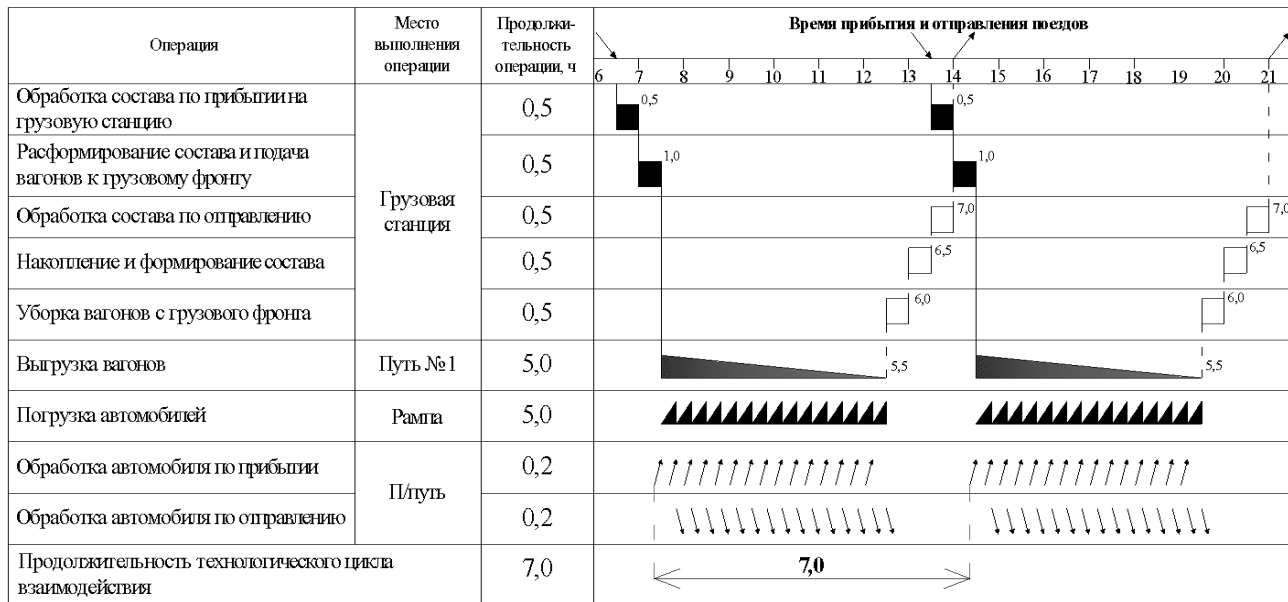


Рисунок 2 – Контактный график взаимодействия автомобильного и железнодорожного видов транспорта при согласовании расписаний движения поездов и автомобилей

варианту. Второй автомобиль будет подан к окончанию погрузки первого автомобиля и т.д.

Вагоны второй подачи поступают на грузовой фронт в 13 ч 00 мин.

Р е ш е н и е. Наилучшие условия при организации взаимодействия обеспечиваются при равенстве эксплуатационной грузоподъемности автомобильного и железнодорожного транспорта, т. е.

$$n_a \varepsilon_a q_a = \bar{n}_ж \varepsilon_в q_в, \quad (21)$$

$$n_a = \frac{10 \cdot 1 \cdot 60}{1 \cdot 20,1} \approx 30 \text{ автомобилей};$$

где $\bar{n}_ж$ – среднее число вагонов в железнодорожном составе (10);

ε_a – степень использования грузоподъемности автомобиля (1).

Время разгрузки одной подачи вагонов исходя из производительности ПРМ

$$T_{\text{разг}}^{\text{под}} = \frac{Q_{\text{сут}}}{k\Pi}, \quad (22)$$

где k – количество подач вагонов;

$$T_{\text{разг}}^{\text{под}} = \frac{600}{2 \cdot 60} = 5 \text{ ч.}$$

Время, необходимое на погрузку 1 автомобиля исходя из производительности ПРМ,

$$t_a = \frac{q_a}{\Pi}, \quad t_a = \frac{20,1}{60} = 0,335 \text{ ч.} \quad (23)$$

3 ПЕРЕВАЛКА ГРУЗОВ В ПУНКТАХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

Совершенствование технического и технологического взаимодействия различных видов транспорта в узлах позволяет значительно сократить расходы на перевозку. Расчеты показывают, что потери из-за отсутствия координации деятельности разных видов транспорта составляют более 10 % от общих транспортных издержек. Кроме того, каждая тонна груза по пути следования к потребителю перегружается 3–4 раза, и расходы на перевалку эквивалентны перевозке того же груза на 100–120 км [2, 7].

Организовать **перевалку грузов без складирования в пунктах взаимодействия** возможно по трем вариантам: без задержки подвижного состава j -го вида транспорта, с задержкой подвижного состава и использованием бункерных складов [1, 2, 6, 11].

По первому варианту возможна работа пункта взаимодействия при строгом согласовании расписаний и согласованном поступлении подвижного состава j -го и i -го видов транспорта.

Согласование расписаний движения является наиболее экономичным способом. Однако практика показывает, что осуществить полное согласование, а главное, выполнение графиков движения j -го и i -го видов транспорта с высокой точностью ($\Delta t < 1$ ч) пока невозможно. Поэтому в пунктах взаимодействия используются различные способы погашения неравномерности поступления транспортных потоков и накопления грузов в количестве, необходимом для компенсации несогласованности в подходе судов, вагонов, автомобилей, без двойной перевалки.

Для повышения доли груза, перегружаемого по прямому варианту, используются следующие способы:

- «склад на колесах» – груз накапливают в вагонах, которые могут принадлежать железнодорожной станции или порту (обменный парк). Обменные парки создаются только при железнодорожно-морских перевозках. В речных портах осуществляется задержка вагонов сверх нормативного времени;

- «склад на плаву» – накопление груза или порожнего тоннажа осуществляется задержкой судов. Организация «складов на плаву» применяется только как оперативная мера, когда в порту отсутствуют вагоны, а склады перегружены;

- *бункерные склады* – сооружают в пунктах взаимодействия (в портах, на железнодорожных станциях, грузовых дворах, подъездных путях). Они входят в состав механизированных технологических линий, перегружающих грузы.

При отсутствии подвижного состава груз поступает в бункер на краткосрочное хранение. Под бункерами проходят транспортеры или пути движения транспортных средств.

Выбор способа повышения объема перегрузки по прямому варианту осуществляется, как правило, по приведенным затратам [1, 6, 10]. В общем виде

$$E = E_{j \rightarrow \text{ск}} (1 - \eta) + E_{\text{ск} \rightarrow i} (1 - \eta) + E_{j \rightarrow i} \eta + E_{\text{пс}j} + E_{\text{пс}i}, \quad (24)$$

где $E_{j \rightarrow \text{ск}}$, $E_{\text{ск} \rightarrow i}$ – приведенные затраты на перегрузку по вариантам: j -й вид транспорта – склад; склад – i -й вид транспорта;

η – доля груза, перегружаемого по прямому варианту;

$E_{j \rightarrow i}$ – затраты на перегрузку по прямому варианту из j -го в i -й вид транспорта;

$E_{\text{пс}i}$, $E_{\text{пс}j}$ – приведенные расходы по содержанию подвижного состава i -го и j -го видов транспорта.

В зависимости от способа повышения объема перегрузки по прямому варианту учитываются соответствующие составляющие расходов.

Мероприятием, позволяющим повысить долю грузов, перегружаемых по прямому варианту, и сократить затраты на перевозку грузов, является выбор оптимальной продолжительности совместной обработки подвижного состава j -го и i -го видов транспорта. Задача актуальна для случая, когда на одном из видов транспорта движение организовано по графику, а на другом подход подвижного состава случаен. Примером могут служить однопутные грузовые пункты, где взаимодействуют железнодорожный и автомобильный транспорт.

Пример 6. Среднесуточный объем перевалки минерально-строительных грузов с железной дороги на речной транспорт в порту составляет $Q = 2000$ т. Количество груза в вагоне $q_b = 64$ т, в судне – $q_c = 900$ т. Колебания потока вагонов и судов описываются нормальным законом распределения. Часовая производительность погрузочно-разгрузочной машины $Q_ч = 200$ т/ч. Приведенная стоимость хранения груза (простой вагона на балансе ветвевладельца) в вагоне за 1 ч $e_b = 3000$ руб./ч, а на складе – $e_{ск} = 6500$ руб./т·ч, стоимость перевалки по прямому варианту $e_{пв} = 1382$ руб./т, а через склад – $e_{св} = 2764$ руб./т. Определить экономически оправданный срок задержки вагонов с грузом в порту для организации прямого варианта перевалки. Какое количество вагонов будет в среднем задерживаться в порту?

Решение. Экономически оправданный срок задержки вагонов с грузом в порту

$$T_з = z_p \beta / Q_ч, \quad (25)$$

где z_p – среднее количество груза, находящегося в порту;

β – доля вагонов с грузом, задерживаемых в порту для перевалки по прямому варианту.

Очевидно, что параметр β следует выбирать таким, чтобы относительные расходы при хранении 1 т груза «на колесах» и переработке по прямому варианту равнялись расходам при хранении груза на складе, а затем – погрузке его в суда, т. е.

$$e_b + e_{пв} = (1 - \beta) e_{ск} + (1 - \beta) e_{св}. \quad (26)$$

Решив (26) относительно β , находим

$$\beta = \frac{1}{1 + \frac{e_b + e_{пв}}{e_{ск} + e_{св}}}. \quad (27)$$

Подставим в выражение (27) исходные данные:

$$\beta = \frac{1}{1 + \frac{3000 + 1382}{6500 + 2764}} = 0,68.$$

Среднеквадратичное отклонение потока судов

$$\sigma_c = \sqrt{\lambda_c T(1-P)}, \quad (28)$$

где P – отношение математического ожидания темпа подхода судов за период T к максимально возможному за этот же период, $P = 0,5 \dots 0,8$.

Среднее квадратичное отклонение потока вагонов, [8]

$$\sigma_B = a'_j \lambda_{Bj}^{b_j} T^{0,5}, \quad (29)$$

где a'_j, b_j – эмпирические коэффициенты, значения которых принимаются в зависимости от рода груза (таблица 1);

λ_{Bj} – среднечасовая интенсивность поступления вагонов с грузом j -й категории в порт,

$$\lambda_{Bj} = \frac{\bar{Q}_j}{24q_B}. \quad (30)$$

Интенсивность потока судов и вагонов

$$\lambda_c = \frac{2000}{900 \cdot 24} = 0,093 \text{ суд./ч}; \quad \lambda_B = \frac{2000}{64 \cdot 24} = 1,3 \text{ ваг./ч.}$$

Средние квадратичные отклонения

$$\sigma_c = \sqrt{0,093 \cdot 48 \cdot (1-0,3)} = 1,77 \text{ судна};$$

$$\sigma_B = 2,264 \cdot 1,3^{0,653} \cdot 48^{0,5} = 18,62 \text{ вагона.}$$

Т а б л и ц а 1 – Значения коэффициентов по родам грузов

Род груза	Коэффициенты	
	a'_j	b_j
Каменный уголь	2,034	0,660
Нефтяные	2,081	0,658
Руда	2,128	0,657
Черные металлы	2,023	0,652
Лесные	2,154	0,676
Минерально-строительные	2,264	0,653
Хлебные	2,375	0,662
Прочие	2,465	0,701

Среднее количество груза, которое необходимо иметь в порту для бесперебойной загрузки судов,

$$Z_p = 0,798 \sqrt{q_B^2 \sigma_B^2 + q_C^2 \sigma_C^2}. \quad (31)$$

Среднесуточный запас груза

$$Z_p = 0,798 \sqrt{64^2 \cdot 18,62^2 + 900^2 \cdot 1,77^2} \approx 1588 \text{ т.}$$

Экономически оправданный срок задержки вагонов с грузом в порту

$$T_3 = 1588 \cdot 0,68 / 200 = 5,4 \text{ ч.}$$

Среднее количество вагонов, которое экономически оправдано задерживать в порту,

$$m_{p3} = z_p \beta / q_B, \quad m_{p3} = 1588 \cdot 0,68 / 64 \approx 17 \text{ ваг.} \quad (32)$$

Пример 7. Рассчитать объем перевалки тарно-штучных грузов по прямому варианту с железнодорожного транспорта на автомобильный, а также объем переработки, если известно, что суточный грузопоток $Q = 1000$ т.

Количество груза в одной подаче 250 т. Груз вывозится с грузового фронта автомобильным транспортом в течение 14 ч. Входящий поток подач и автомобилей описывается законом Пуассона. Грузоподъемность одного автомобиля 5 т. Перерабатывающая способность ПРМ при перегрузке по прямому варианту составляет 60 т/ч, при выгрузке груза из вагона на склад – 65 т/ч и при погрузке груза из склада на автомобиль – 50 т/ч.

Вероятность безотказной работы ПРМ $P_m = 0,9$, а вероятность того, что не потребуется перегрузка груза на склад для выполнения технологических операций, $P_n = 0,9$. Объем сортировки груза на складе составляет 3 % грузопотока, проходящего через склад.

На рисунке 3 представлен потоковый граф перевалки груза с железнодорожного транспорта на автомобильный.

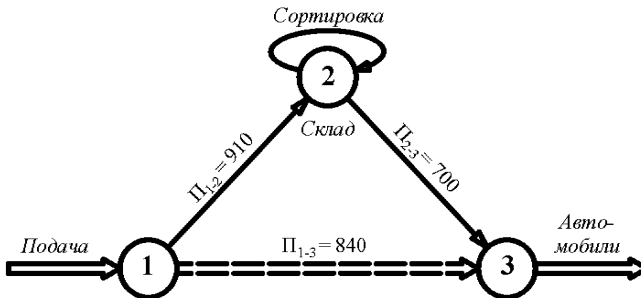


Рисунок 3 – Потоковый граф перевалки груза с железнодорожного транспорта на автомобильный транспорт

Р е ш е н и е. В связи с тем, что автотранспорт работает только в течение двух смен, необходимо первоначально установить объем перевалки с железнодорожного транспорта на автомобильный за этот период.

Средняя интенсивность потока подач

$$\lambda_{\text{в}} = \frac{1000}{250 \cdot 24} = 0,17 \text{ под./ч.}$$

Средняя интенсивность потока автомобилей

$$\lambda_{\text{а}} = \frac{1000}{5 \cdot 14} = 14,3 \text{ авт./ч.}$$

Перерабатывающая способность грузового фронта по связям 1–3, 1–2, 2–3 в соответствии с потоковым графом (см. рисунок 3) также рассчитывается с учетом продолжительности периода работы автомобильного транспорта:

$$\Pi_{1-3} = 60 \cdot 14 = 840 \text{ т; } \Pi_{1-2} = 65 \cdot 14 = 910 \text{ т; } \Pi_{2-3} = 50 \cdot 14 = 700 \text{ т.}$$

Масса груза, которая поступит на грузовой фронт за время t

$$Q' = Q t_{\text{а}} / T_{\text{р}}, \quad (33)$$

где $t_{\text{а}}$ – продолжительность работы автотранспорта, ч;

$T_{\text{р}}$ – продолжительность работы грузового пункта, ч

$$Q' = 1000 \cdot 14 / 24 = 583 \text{ т.}$$

Объем перевалки тарно-штучных грузов по прямому варианту за период T

$$Q'_{1-3} = P_{\text{в}}(T) P_{\text{а}}(T) P_{\text{п}} P_{\text{м}} \Pi_{1-3}(T), \quad (34)$$

где $P_{\text{в}}(T)$, $P_{\text{а}}(T)$ – соответственно вероятность нахождения вагонов и автомобилей у грузового фронта:

$$P_{\text{в}}(T) = (1 - P_{\text{в}}^0) \left[\frac{Q' \eta'}{\Pi_{1-3}} + \frac{Q'(1 - \eta')}{\Pi_{1-2}} \right]; \quad (35)$$

$$P_{\text{а}}(T) = (1 - P_{\text{а}}^0) \left[\frac{Q' \eta'}{\Pi_{1-3}} + \frac{Q'(1 - \eta')}{\Pi_{1-2}} \right]; \quad (36)$$

η' – доля груза, следующего по прямому варианту за время работы автотранспорта,

$$\eta' = \frac{-B - \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}; \quad (37)$$

A, B, C – коэффициенты, значения которых определяются следующим образом:

$$A = PQ(\Pi_{1-2}\Pi_{2-3} - \Pi_{1-3}\Pi_{2-3} - \Pi_{1-3}\Pi_{1-2} + \Pi_{1-3}^2); \quad (38)$$

$$B = PQ(\Pi_{1-3}\Pi_{2-3} + \Pi_{1-3}\Pi_{1-2} - 2\Pi_{1-3}^2) - \Pi_{1-3}^2\Pi_{1-2}\Pi_{2-3}; \quad (39)$$

$$C = PQ\Pi_{1-3}^2; \quad (40)$$

$$P = (1 - e^{-\lambda_{вt}})(1 - e^{-\lambda_{ат}})P_{\Pi}P_{\Pi}\Pi_{1-3}. \quad (41)$$

Подставив исходные данные в вышеприведенные формулы, получим:

$$P = (1 - e^{-0,17 \cdot 14})(1 - e^{-14,3 \cdot 14}) \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,84 = 0,617;$$

$$A = 0,617 \cdot 1 \cdot (0,91 \cdot 0,7 - 0,84 \cdot 0,7 - 0,84 \cdot 0,91 + 0,84^2) = -0,006;$$

$$B = 0,617 \cdot 1 \cdot (0,84 \cdot 0,7 + 0,84 \cdot 0,91 - 2 \cdot 0,84^2) - 0,84^2 \cdot 0,91 \cdot 0,7 = -0,486;$$

$$C = 0,617 \cdot 1 \cdot 0,84^2 = 0,435;$$

$$\eta' = \frac{-(-0,485) - \sqrt{(-0,485)^2 - 4 \cdot (-0,006) \cdot 0,435}}{2 \cdot (-0,006)} = 0,89.$$

Таким образом, по прямому варианту будет перегружено

$$Q'_{1-3} = 583 \cdot 0,89 \approx 519 \text{ т.}$$

Доля груза, перегруженная с вагонов в автомобили по прямому варианту,

$$\eta = \frac{Q'_{1-3}}{Q} = \frac{519}{1000} = 0,519.$$

Объем грузопереработки грузового фронта в пункте взаимодействия железнодорожного и автомобильного транспорта

$$Q_{\Pi} = Q\{\eta + (1 - \eta)K_{\Pi}\} + (1 - \eta)\varphi_{с}, \quad (42)$$

где K_{Π} – количество повторных переработок груза ПРМ при перегрузке его через склад. В данном примере $K_{\Pi} = 2$;

$\varphi_{с}$ – коэффициент, учитывающий дополнительный объем грузопереработки, вызванной сортировкой, взвешиванием и другими операциями, выполняемыми с грузом на складе;

$$Q_{\Pi} = 1000\{0,519 + (1 - 0,519) \cdot 2\} + (1 - 0,519) \cdot 0,03 \approx 1497 \text{ т.}$$

Пример 8. Для исходных данных примера 6 требуется установить, как изменится доля перегрузки по прямому варианту с железнодорожного транспорта на автомобильный и размеры грузопереработки при круглосуточной работе автомобильного транспорта.

Решение. Если организовать круглосуточную работу автотранспорта, то доля перегрузки по прямому варианту существенно возрастет. Используя данные примера 6, находим:

$$\lambda_a = \frac{1000}{5 \cdot 24} = 8,3 \text{ авт./ч;}$$

$$\Pi_{1-3} = 60 \cdot 24 = 1440 \text{ т; } \Pi_{1-2} = 65 \cdot 24 = 1560 \text{ т; } \Pi_{2-3} = 50 \cdot 24 = 120 \text{ т;}$$

$$P = (1 - e^{-0,17 \cdot 24})(1 - e^{-8,3 \cdot 24}) \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 1,44 = 1,147;$$

$$A = 1,147 \cdot 1 \cdot (1,56 \cdot 1,2 - 1,44 \cdot 1,2 - 1,44 \cdot 1,56 + 1,44^2) = -0,033;$$

$$B = 1,147 \cdot 1 \cdot (1,44 \cdot 1,2 + 1,44 \cdot 1,56 - 2 \cdot 1,44^2) - 1,44^2 \cdot 1,56 \cdot 1,2 = -4,08;$$

$$C = 1,147 \cdot 1 \cdot 1,44^2 = 2,378;$$

$$\eta = \frac{-(-4,08) - \sqrt{(-4,08)^2 - 4 \cdot (-0,033) \cdot 2,378}}{2 \cdot (-0,033)} = 0,58.$$

Грузопереработка ПРМ в этом случае будет

$$Q_{\Pi} = 1000\{0,58 + (1 - 0,58) \cdot 2\} + (1 - 0,58) \cdot 0,03 \approx 1433 \text{ т.}$$

При организации круглосуточной работы размер грузопереработки сократится на $\Delta Q_{\Pi} = 1497 - 1433 = 64 \text{ т.}$

4 ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ТРАНСПОРТНЫХ УЗЛАХ

Методы решения таких задач, как оптимизация взаимодействия разных видов транспорта, возникающих при краткосрочном или оперативном управлении, до сих пор не получили должного развития и применения. Это связано с тем, что при решении подобного рода задач приходится учитывать большое количество факторов, динамичность изменяющейся обстановки на пунктах взаимодействия и другие сложности, связанные с математическими и вычислительными ограничениями, нет общепринятой классификации задач подобного типа.

Основная трудность разработки такой классификации обусловлена разнообразием задач оперативного управления. Однако большинство задач, в зависимости от технологических требований, формально можно подразделить на три группы:

- упорядочение обслуживания подвижного состава разных видов транспорта;
- распределение подвижного состава, погрузочно-разгрузочных машин и других ресурсов;
- планирование завоза-вывоза грузов с пунктов взаимодействия и обслуживания клиентуры.

В зависимости от способа задания исходной информации применяемые модели подразделяются на детерминированные, частично-вероятностные, неопределенные.

При простейшем входящем транспортном потоке и показательном распределении времени обслуживания на пункте взаимодействия выбор оптимальной очередности обслуживания сводится к построению такой последовательности обработки транспортных единиц, в которой соблюдается условие

$$\frac{C_j}{t_j} > \frac{C_{j+1}}{t_{j+1}}, \quad (43)$$

где C_j – стоимость обслуживания j -й транспортной единицы;

t_j – продолжительность обслуживания j -й единицы.

Если на пункте взаимодействия одновременно находится j единиц, а время обслуживания постоянно, то оптимальная очередность достигается, когда

$$\frac{C'_j}{t_j} > \frac{C'_{j+1}}{t_{j+1}}, \quad (44)$$

где C'_j – стоимость одного часа простоя j -й транспортной единицы.

Условие (44) справедливо для пуассоновского входящего потока и произвольного распределения времени обслуживания, а также для абсолютных приоритетов, если соблюдается дополнительное неравенство

$$\frac{2C_{\text{п}}\sigma^2(t_{\text{п}})}{t_{\text{п}}} < \frac{C_{\text{а}}}{t_{\text{а}}}. \quad (45)$$

Большое количество оптимизационных задач приходится решать при поиске оптимальных стратегий распределения подвижного состава, ПРМ и других ресурсов при полной определенности исходной информации. В этом случае критерий эффективности зависит лишь от стратегии X органа управления.

Важное место в исследовании режимов взаимодействия занимают линей-

ные модели [1, 7], поэтому на практике применяют методы линейного программирования.

4.1 Оптимизация очередности обработки транспортных средств в пунктах взаимодействия

Пример 9. Определить вариант очередности обработки транспортных средств в порту, при котором расходы от простоя будут минимальными. Исходные данные приведены в таблице 2.

Т а б л и ц а 2 – Исходные данные

Наименование транспортных средств, прибывших в порт	Род грузовой операции	Стоимость 1 ч обработки транспортной единицы, тыс. руб.	Продолжительность обработки, ч
Подача из 10 вагонов	Выгрузка	30	5,70
Автомобиль	”	12	0,13
Баржа	Погрузка	6	2,50
Грузовой теплоход	”	55	4,30

Р е ш е н и е. Оптимальная очередность по минимальным расходам, связанным с простоем подвижного состава при одновременном прибытии транспортных единиц и детерминированной продолжительности грузовых операций, определяется из условия

$$E_{\text{ож}} = \sum_{j=1}^k C_j t_{\text{ож}j} \rightarrow \min. \quad (46)$$

Расчет критериев приоритета по формуле (44) и построение упорядоченной последовательности обслуживания транспортных средств в пункте взаимодействия приведены в таблице 3.

Т а б л и ц а 3 – Результаты расчета критериев приоритета

Наименование транспортных средств, прибывших в порт	Коэффициент K_j	Критерий приоритета	Продолжительность обработки, ч	Расходы за время обработки, тыс. руб.
Подача из 10 вагонов	5,26	3	10,13	303,90
Автомобиль	92,31	1	0,13	1,56
Баржа	2,40	4	12,63	75,78
Грузовой теплоход	12,79	2	4,43	243,65

При оптимальной очередности обработки расходы, связанные с простоем подвижного состава,

$$E_{\text{ож}}^{\text{опт}} = 303,9 + 1,56 + 75,78 + 243,65 = 624,89 \text{ тыс. руб.}$$

Если нарушить оптимальную очередность, например, первыми разгрузить вагоны, затем автомобиль, баржу и грузовой теплоход (экспертный вариант обслуживания), то расходы будут определяться в соответствии с таблицей 4.

Т а б л и ц а 4 – **Результаты расчета произвольной очередности**

Наименование транспортных средств, прибывших в порт	Критерий приоритета	Продолжительность обработки, ч	Расходы за время обработки, тыс. руб.
Подача из 10 вагонов	1	5,70	171,00
Автомобиль	2	5,83	69,96
Баржа	3	8,33	49,98
Грузовой теплоход	4	12,63	694,65

При данной очередности обработки расходы, связанные с простоем подвижного состава,

$$E_{ож}^{эксп} = 171,0 + 69,96 + 49,98 + 694,65 = 985,59 \text{ тыс. руб.}$$

Приведенные расходы увеличились на

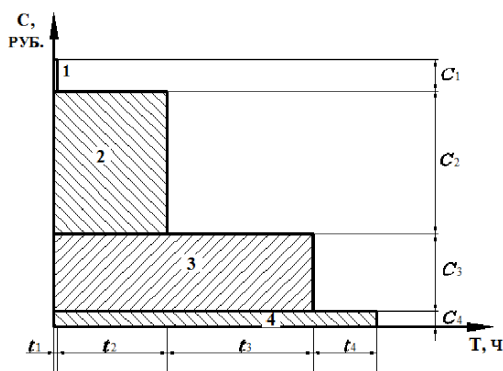
$$\Delta E = E_{ож}^{эксп} - E_{ож}^{опт} = 985,59 - 624,89 = 360,7 \text{ тыс. руб.}$$

Относительное увеличение расходов по отношению к оптимальным

$$\varepsilon = \frac{E_{ож}^{эксп} - E_{ож}^{опт}}{E_{ож}^{опт}} = \frac{985,59 - 624,89}{624,89} = 57,7\% .$$

Графическая иллюстрация зависимости суммарных расходов от очередности обработки транспортных средств в порту показана на рисунках 4 и 5.

Рисунок 4 – График зависимости суммарных расходов от очередности обработки транспортных средств при оптимальном варианте



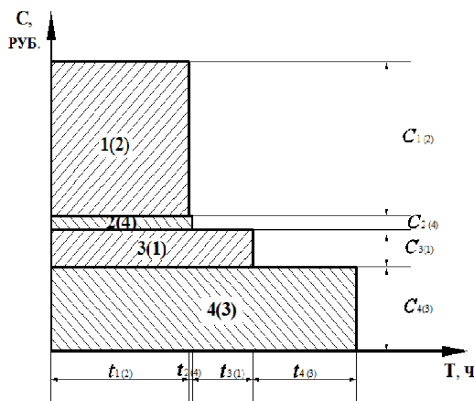


Рисунок 5 – График зависимости суммарных расходов от очередности обработки транспортных средств при нарушении оптимальной очередности обработки

Наихудшей очередностью обработки транспортных средств будет: баржа – подача вагонов – теплоход – автомобиль. Расходы в этом случае

$$E_{ож}^{макс} = 246 + 151,56 + 15 + 687,5 = 1100,06 \text{ тыс. руб.}$$

Относительное увеличение расходов по отношению к оптимальным

$$\Delta E = E_{ож}^{макс} - E_{ож}^{опт} = 1100,06 - 624,89 = 475,17 \text{ тыс. руб.}$$

или

$$\varepsilon = \frac{E_{ож}^{макс} - E_{ож}^{опт}}{E_{ож}^{опт}} = \frac{1100,06 - 624,89}{624,89} = 76 \%$$

4.2 Оптимизация использования подвижного состава и ПРМ

Пример 10. В порт прибыли четыре судна с грузом, общая масса которого составляет 15700 т. Перегрузка осуществляется на железнодорожный транспорт. Известно, что судно A_1 доставило 2000 т песка, A_2 – 2000 т бутового камня, A_3 – 1500 т тарно-штучных грузов, A_4 – 1700 т металла. Грузы могут перегружаться по двум вариантам: прямому (судно – вагон) и со складированием (судно – склад – вагон). Общее число вагонов, поданное за сутки в порт, обеспечивает перевалку по прямому варианту только 2 200 т груза (любой груз обеспечивает полное использование грузоподъемности вагона). Требуется оптимизировать процесс перевалки грузов с воды на железную дорогу, выбрав такое распределение грузооборота по вариантам, при котором стоимость перевалки будет наименьшей. Стоимость перевалки 1 т груза по каждому варианту приведена в таблице 5.

Решение. Для оптимизации процесса перевалки груза в порту необходимо определить минимум функционала:

$$E = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} X_{ij} \quad (47)$$

Т а б л и ц а 5 – Стоимость перегрузки по вариантам

Судно	Род груза	Варианты перевалки грузов		a_i
		прямой	через склад	
A_1	Минерально-строительные	1800	3400	2000
A_2	Бутовый камень	5500	9900	2000
A_3	Тарно-штучные	8500	15200	1500
A_4	Металл	8000	14400	1700

при выполнении ограничений

$$X_{ij} \geq 0; \sum_{i=1}^m X_{ij} = \Pi_j; \sum_{j=1}^n X_{ij} = a_i, \quad (48)$$

где Π_j – объем перевалки по j -му варианту;

a_i – масса груза, доставляемого в порт i -м типом судна;

C_{ij} – себестоимость перевалки груза с i -го судна j -м способом.

Учитывая, что парк вагонов, подаваемых в порт, обеспечивает прямую перевалку $\Pi_1 = 2200$ т груза, то объем перегрузки через склад

$$\Pi_2 = \sum_{i=1}^m a_i - \Pi_1, \quad (49)$$

или

$$\Pi_2 = (2000 + 2000 + 1700 + 1500) - 2200 = 5000 \text{ т.}$$

Процесс оптимизации удобно осуществлять с помощью специальной вспомогательной таблицы (таблица 6).

В таблице 6 наименьшее значение критерия оптимальности (стоимость перевалки 1 т груза) $C_{1-1} = 1800$ руб., что соответствует прямой перегрузке груза с судна A_1 в вагоны. Помещаем в эту клетку максимально возможный объем перерабатываемого груза – 2000 т, и первая строка из дальнейшего рассмотрения исключается. Оставшиеся 200 т груза помещаются в клетку 2–1 (наименьшая себестоимость из оставшихся по прямому варианту клеток), а вариант «судно – вагон» из рассмотрения исключается. В клетку 2–2 помещается максимально возможный объем перевалки, который равен $2000 - 200 = 1800$ т. Аналогично заполняют остальную часть таблицы.

Т а б л и ц а 6 – Начальный план перевалки грузов

Судно	Варианты перевалки грузов		a_i		
	прямой	через склад			
A_1	2000	1800	3400	2000	
A_2	200	5500	1800	9900	2000
A_3	–	8500	1500	15200	1500
A_4	–	8000	1700	14400	1700
Π_j	2200	5000	–	7200	–

Для начального плана должно выполняться условие

$$z = m + n - 1, \quad (50)$$

где z – число занятых клеток расчетной части таблицы;

m, n – число соответственно строк и столбцов в расчетной таблице.

Число строк $m = 4$, а столбцов – $n = 2$, тогда

$$z = 4 + 2 - 1 = 5.$$

Таким образом, требование к начальному плану соблюдается.

Полученный начальный план (см. таблицу 6) улучшается одним из известных методов, в частности методом потенциалов. Система потенциалов строится в соответствии с выражением

$$v_j = u_i + C_{ij}, \text{ если } X_{ij} > 0, \quad (51)$$

где v_j – потенциал столбца;

u_i – потенциал строки.

Присваивая строке, содержащей занятую клетку с максимальным C_{ij} , произвольный потенциал (чаще присваивается нулевой потенциал), по выражению (48) рассчитываются потенциалы остальных строк и столбцов.

Принимая для третьей строки потенциал $u_3 = 0$, находят потенциал второго столбца:

$$v_2 = 0 + 15200 = 15200.$$

По известному потенциалу второго столбца, используя выражение (51), определяют

$$u_2 = 15200 - 9900 = 5300; \quad u_4 = 15200 - 4400 = 800;$$

$$v_1 = 5300 + 5500 = 10800; \quad u_1 = 10800 - 1800 = 9000.$$

Внесем в таблицу 7 начальное решение и найденные потенциалы (шаг 1).

Т а б л и ц а 7 – **Начальный план перевалки грузов с потенциалами**

Судно	Потенциалы		Варианты перевалки грузов		a_i
	u_i	v_j	прямой	через склад	
			10800	15200	
A_1	9000	2000	1800	3400	2000
A_2	5300	200	5500	9900	2000
A_3	0	0	8500	15200	1500
A_4	800	0	8000	14400	1700
Π_j		2200	5000	7200	7200

Для свободных клеток проверяется соблюдение условия

$$\Delta_{ij} = v_j - u_i \leq C_{ij} : \quad (52)$$

$\Delta_{12} = v_2 - u_1 = 15200 - 9000 = 6200 > 3400$ – нарушение условия оптимальности (нарушение составляет 2800);

$\Delta_{31} = v_1 - u_3 = 10800 - 0 = 10800 > 8500$ – нарушение условия оптимальности (нарушение составляет 2300);

$\Delta_{41} = v_1 - u_4 = 10800 - 800 = 10000 > 10000$ – нарушение условия оптимальности (нарушение составляет 2000).

Выбирая клетку с максимальным нарушением условия оптимальности (клетка 1–2), строят замкнутый контур. Одна из вершин контура находится в свободной клетке, а остальные – в базисных клетках 1–1, 1–2, 3–2. Вершины этого контура нумеруют, начиная с вершины, находящейся в незанятой клетке.

Изменение данных в таблице производят путем уменьшения объема перевалки в четных и увеличения – в нечетных клетках на наименьшую величину, находящуюся в четных клетках. В нашем примере в четных клетках находятся числа 1800 и 2000. Следовательно, объемы перевалки в нечетных клетках могут быть увеличены на 1800 т. Новый план распределения перевалки грузов приведен в таблице 8 (шаг 2).

Для нового плана пересчитывают потенциалы и снова проверяют выполнение условия (52). Проверка на оптимальность показывает, что максимальное нарушение условия оптимальности имеет место для клетки 3–1. Для устранения нарушения составляют новый план (таблица 9).

Проверка на оптимальность показывает, что максимальное нарушение условия оптимальности имеет место для клетки 2–2. Для устранения нарушения составляют новый план (таблица 10).

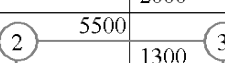
Т а б л и ц а 8 – **Измененный план перевалки грузов (шаг 2)**

Судно	Потенциалы		Варианты перевалки грузов		a_i
	u_i	v_j	прямой	через склад	
			13600	15200	
A_1	11800		200  1800	1800  3400	2000
A_2	8100		2000  5500	–  9900	2000
A_3	0		–  8500	1500  15200	1500
A_4	800		– 8000	1700 14400	1700
Π_j			2200	5000	7200

Т а б л и ц а 9 – **Измененный план перевалки грузов (шаг 3)**

Судно	Потенциалы		Варианты перевалки грузов		a_i
	u_i	v_j	прямой	через склад	
			8500	15200	
A ₁	11800	–	1800	3400	2000
A ₂	3000	2000		9900	2000
A ₃	0	200		15200	1500
A ₄	800	–	8000	14400	1700
П _j		2200	5000	7200	7200

Т а б л и ц а 10 – **Измененный план перевалки грузов (шаг 4)**

Судно	Потенциалы		Варианты перевалки грузов		a_i
	u_i	v_j	прямой	через склад	
			10000	14400	
A ₁	11000	–	1800	3400	2000
A ₂	4500	700		9900	2000
A ₃	1500	1500	8500	15200	1500
A ₄	0	–	8000	14400	1700
П _j		2200	5000	7200	7200

Проверка на оптимальность показывает, что нарушение условия оптимальности имеет место только для клетки 4–1. Для устранения нарушения составляют новый план (таблица 11).

Анализ таблицы 11 показывает, что оптимальный режим взаимодействия обеспечивается, если по прямому варианту будут перегружаться 1500 т тарно-штучных грузов и 700 т металла. Со складированием следует перегрузить 2000 т минерально-строительных грузов, 2000 т бутового камня и 1000 т металла. В этом случае расходы на перевалку будут минимальны:

$$\begin{aligned}
 E_{\text{opt}} &= 1500 \cdot 8500 + 700 \cdot 8000 + 2000 \cdot 3400 + 2000 \cdot 9900 + 1000 \cdot 14400 = \\
 &= 59350000 \text{ руб.}
 \end{aligned}$$

Т а б л и ц а 11 – **Измененный план перевалки грузов (шаг 5)**

Судно	Потенциалы		Варианты перевалки грузов		a_i
	u_i	v_j	прямой	ч/з склад	
			8000	14400	
A_1	11000	–	1800	3400	2000
A_2	4500	–	5500	9900	2000
A_3	–500	1500	8500	15200	1500
A_4	0	700	8000	14400	1700
Π_j		2200	5000		7200

План, составленный по методу «наименьшей стоимости», дал бы расходы

$$E_{\text{нач}} = 2000 \cdot 1800 + 200 \cdot 5500 + 1800 \cdot 9900 + 1500 \cdot 15200 + 1700 \cdot 14400 = \\ = 69800000 \text{ руб.}$$

Экономия расходов по оптимальному варианту по отношению к первоначальному

$$\Delta = \frac{69800000 - 59350000}{59350000} \cdot 100 = 17,6 \%$$

Пример 11. Выбрать оптимальный режим взаимодействия железнодорожного и автомобильного транспорта при вывозе щебня из речного порта. Для доставки груза четырьмя потребителям можно использовать полувагоны, платформы и автомобили грузоподъемностью 5 и 12 т. Общий тоннаж порожнего подвижного состава 630 т, потребности пунктов выгрузки щебня, а также стоимость доставки груза i -м подвижным составом в j -й пункт указаны в таблице 12.

Т а б л и ц а 12 – **Исходные данные**

Вид транспорта	Подвижной состав	Пункты выгрузки				Тоннаж порожнего подвижного состава P_r
		1	2	3	4	
Железнодорожный	Полувагоны	900	800	1000	2600	350
Автомобильный	Автомобили грузоподъемностью 5 т	1100	900	1400	2500	100
	Автомобили грузоподъемностью 12 т	700	1500	2400	2200	180
Потребность пунктов выгрузки	Π_j	220	90	200	90	$\sum_{r=1}^R P_r = 630 \text{ т}$

Р е ш е н и е. Анализируя данные таблицы 13, устанавливаем, что необходимо ввести фиктивный пункт выгрузки, так как

$$\sum_{r=1}^R P_r \neq \sum_{j=1}^M \Pi_j. \quad (53)$$

Мощность фиктивного потребителя

$$\Pi_{\phi} = 630 - (220 + 90 + 200 + 90) = 30 \text{ т.}$$

Учитывая, что при перевозке одного рода груза задача сводится к транспортной, ее решают одним из известных методов. Начальный план, составленный способом «наименьшей стоимости», приведен в таблице 13.

Т а б л и ц а 13 – **Начальный план развоза груза**

Вид транспорта	Подвижной состав	Пункты выгрузки					Тоннаж порожнего подвижного состава P_r
		1	2	3	4	5	
Железнодорожный	Полувагоны	900	800	1000	2600	0	350
		40	90	200	20	–	
Автомобильный	Автомобили грузоподъемностью 5 т	1100	1500	2400	2500	0	100
	Автомобили грузоподъемностью 12 т	–	–	–	70	30	–
		700	900	400	2200	0	180
		180	–	–	–	–	–
Потребность пунктов выгрузки	Π_j	220	90	200	90	30	630

Улучшение начального плана взаимодействия железнодорожного и автомобильного транспорта показано в таблицах 14, 15.

Анализируя оптимальное решение (таблица 15), можно сделать вывод о том, что железнодорожным транспортом следует снабжать 1, 2, 3, 4-й пункты потребления щебня. При этом порожний тоннаж полувагонов и платформ используется полностью. В пункты 1, 4 и 5 груз следует доставлять автотранспортом. Порожний тоннаж автомобилей грузоподъемностью 12 т используется полностью, а автомобили грузоподъемностью 5 т целесообразно использовать только для доставки 70 т щебня в 4-й пункт выгрузки.

При осуществлении такого плана взаимодействия железнодорожного и автомобильного транспорта расходы будут минимальны:

$$\begin{aligned} E &= 40 \cdot 900 + 90 \cdot 800 + 200 \cdot 1000 + 20 \cdot 2600 + 70 \cdot 2500 + 180 \cdot 700 = \\ &= 661000 \text{ руб / сут.} \end{aligned}$$

Таблица 14 – Измененный план развоза груза

Вид транспорта	Подвижной состав	Потенциалы	Пункты выгрузки					Тоннаж порожнего подвижного состава P_r
			1	2	3	4	5	
		$u_i \backslash v_j$	1000	900	1100	2500	0	
Железнодорожный	Полувагоны	0	900 40	800 90	1000 200	2600 20	0	350
Автомобильный	Автомобили грузоподъемностью 5 т	100	1100 -	1500 -	2400 -	2500 70	0 300	100
	Автомобили грузоподъемностью 12 т	200	700 180	900 -	400 -	2200 -	0 -	180
Потребность пунктов выгрузки	P_j		220	90	200	90	30	630

Таблица 15 – Оптимальный план развоза груза

Вид транспорта	Подвижной состав	Потенциалы	Пункты выгрузки					Тоннаж порожнего подвижного состава P_r
			1	2	3	4	5	
		$u_i \backslash v_j$	1000	900	1100	2500	0	
Железнодорожный	Полувагоны	0	900 40	800 90	1000 200	2600 20	0	350
Автомобильный	Автомобили грузоподъемностью 5 т	100	1100 -	1500 -	2400 -	2500 70	0 30	100
	Автомобили грузоподъемностью 12 т	200	700 180	900 -	400 -	2200 -	0 -	180
Потребность пунктов выгрузки	P_j		220	90	200	90	30	630

Пример 12. Со склада железнодорожной станции необходимо доставить грузы четырем потребителям грузовыми автомобилями. Количество ездки к j -му потребителю ($j \in \{1; n\}$) b_j приведено в таблице 16. Кроме того, считается известным время обслуживания j -й линии t_{1j} , которое включает продолжительность погрузки, движения по линии с грузом и разгрузки. Продолжительность порожнего возврата от потребителя j на склад железнодорожной станции t_{2j} также указана в таблице 16. Необходимо составить план взаимодействия автомобильного и железнодорожного транспорта, если время работы автомобиля не должно превышать $T = 480$ мин. Железнодорожная станция находится в непосредственной близости от гаража автотранспортного предприятия.

Т а б л и ц а 16 – **Исходные данные**

Наименование показателя	Потребители			
	1	2	3	4
Планируемое количество ездов	2	2	2	4
Время обслуживания линии t_{1j} , мин	75	127	130	90
Время порожнего возврата автомобиля t_{2j} , мин	58	105	107	80
Время ездки t_j , мин	133	232	237	170

Р е ш е н и е. В качестве критерия оптимальности выберем количество используемых для выполнения перевозок автомобилей. Тогда задача разработки плана взаимодействия автомобильного и железнодорожного транспорта формулируется следующим образом. Имеется

$$m = \sum_{j=1}^n b_j$$

работ для автомобилей. Каждый автомобиль имеет резерв времени T . Каждая работа, т. е. обслуживание j -го потребителя, отнимает из резерва времени автомобиля $t_j = t_{1j} + t_{2j}$ единиц. Требуется разделить потребителей на группы, чтобы суммарное время обслуживания каждой группы потребителей не превосходило T , а количество групп было минимальным.

В соответствии с исходными данными время пребывания автомобиля в наряде не должно превышать 480 мин, а условное количество грузов составляет 10 единиц (по количеству ездов) с затратами времени автомобиля на доставку (таблица 17).

Т а б л и ц а 17 – **Время обслуживания потребителей**

Потребители	1		4				2		3	
Порядковый номер груза	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Время ездки t_j , мин	133	133	170	170	170	170	232	232	237	237

Общие затраты времени автомобилей, связанные с обслуживанием потребителей и железнодорожной станции, составляют

$$\sum_{j=1}^{10} t_j = 133 + 133 + 232 + \dots + 170 = 1884 \text{ мин.}$$

Таким образом, для вывоза груза со склада как минимум требуется

$$Z_{\min} = 1884 / 480 \approx 4 \text{ маш.}$$

Безусловно, достаточное количество автомобилей для обеспечения вывоза грузов со склада равно 10 (по количеству ездов, продолжительность каждой из которых не превышает 480 мин).

Для построения более точной верхней оценки потребного парка автомобилей используем следующую процедуру.

Из последовательности грузов выберем первый и выполним его доставку первым автомобилем:

$$T_{1-1} = t_1 = 133 < 480.$$

Очевидно, что первый автомобиль имеет существенный резерв времени, и поэтому можно рассмотреть перевозку первым автомобилем и второго груза:

$$T_{1-2} = T_{1-1} + t_2 = 133 + 133 = 266 < 480.$$

Продолжая вычисления, получим

$$T_{1-3} = T_{1-2} + t_7 = 266 + 232 = 496 > 480.$$

Таким образом, третий груз перевезти первым автомобилем невозможно. Поэтому займемся планированием работы второго автомобиля:

$$T_{2-7} = t_7 = 232 < 480; \quad T_{2-8} = T_{2-7} + t_8 = 232 + 232 = 464 < 480;$$

$$T_{2-9} = T_{2-8} + t_9 = 464 + 237 = 701 > 480.$$

Для третьего автомобиля

$$T_{3-9} = t_9 = 237 < 480; \quad T_{3-10} = T_{3-9} + t_{10} = 237 + 237 = 474 < 480;$$

$$T_{3-3} = T_{3-10} + t_3 = 474 + 170 = 644 > 480.$$

Для четвертого автомобиля

$$T_{4-3} = t_3 = 170 < 480; \quad T_{4-4} = T_{4-3} + t_4 = 170 + 170 = 340 < 480;$$

$$T_{4-5} = T_{4-4} + t_5 = 340 + 170 = 510 > 480.$$

для пятого автомобиля

$$T_{5-5} = t_5 = 170 < 480; \quad T_{5-6} = T_{5-5} + t_6 = 170 + 170 = 340 < 480.$$

Таким образом, оценка потребности парка автомобилей, полученная с использованием рассмотренной последовательной процедуры формирования подмножеств потребителей, равна 5. Осталось проверить, существует ли допустимое распределение груза для некоторого промежуточного количества автомобилей Z , расположенного в промежутке

$$Z_{\min} \leq Z < Z_{\max}, \quad (54)$$

где Z_{\max} – верхняя оценка потребного парка автомобилей, полученная методом последовательного формирования подмножеств.

В рассмотренном примере $Z_{\min} = 4$ и $Z_{\max} = 5$. Поэтому остается проверить,

существует ли допустимое распределение грузов при $Z = 4$.

Проверку существования допустимого распределения груза по автомобилям можно выполнить следующим образом:

1 Грузы располагаются в порядке увеличения t_j (см. таблицу 17).

2 Строятся таблицы допустимых вариантов загрузки первого автомобиля. Учитывая, что значения расположены в порядке возрастания, процесс вариантообразования заканчивается при нарушении условия

$$\sum_{j=1}^n t_j \leq T. \quad (55)$$

Пример заполнения расчетной таблицы показан в таблице 18. На первом этапе формируются все возможные варианты загрузки автомобиля комбинацией из двух грузов. Все они удовлетворяют необходимому условию (см. таблицу 17). Затем продолжается процесс формирования вариантов загрузки из трех грузов. Очевидно, что все варианты, включающие груз с номером 7 и выше, из дальнейшего рассмотрения следует исключить, что существенно сокращает количество рассматриваемых вариантов.

Комбинации из четырех грузов не удовлетворяют необходимому условию и поэтому также исключаются из рассмотрения.

Процесс расчета продолжается до тех пор, пока не будут рассмотрены все возможные исходные номера грузов.

В таблице 18 находится комбинация (или несколько комбинаций), для которой

$$T - \sum_{j=1}^n t_j = \min \Delta_1. \quad (56)$$

Грузы, входящие в найденную комбинацию, исключаются из рассмотрения.

В анализируемом примере наименьшая невязка между потребными затратами времени на перевозку и временем нахождения автомобиля в наряде имеет место для комбинации грузов 9, 10 и равна

$$\Delta_1 = 480 - 474 = 6 \text{ мин.}$$

В оставшейся части таблиц исключаются варианты, содержащие грузы 9 и 10, и пункт 3 повторяется k раз до тех пор, пока не будет найдено допустимое решение. В частности, после исключения вариантов с грузами 9 и 10 наименьшее значение критерия $\Delta = 7$ характерно для следующих комбинаций грузов: (1, 3, 4); (1, 3, 5); (1, 3, 6); (1, 4, 5); (1, 4, 6); (1, 5, 6); (2, 3, 4); (2, 3, 5); (2, 3, 6); (2, 4, 5); (2, 4, 6); (2, 5, 6). Выбираем любые из комбинаций, не содержащих грузы с одноименными номерами. Такими, например, являются (1, 3, 4); (2, 5, 6) или (1, 3, 5); (2, 4, 6) и т.д.

Т а б л и ц а 18 – **Разработка вариантов развоза грузов**

Комбинации партий груза				Продолжительность работы автомобиля, мин	Соблюдение условия	
1	2	–	–	$133 + 133 = 266$		
	3, 4, 5, 6	–	–	$133 + 170 = 303$		
	7, 8	–	–	$133 + 232 = 365$		
	9, 10	–	–	$133 + 237 = 370$		
	2	3, 4, 5, 6	–	–	$266 + 170 = 436$	
			7	–	$266 + 232 = 498$	$498 > 480$
			3	4	$436 + 170 = 606$	$606 > 480$
	3	4, 5, 6	–	–	$303 + 170 = 473$	
			7	–	$303 + 232 = 535$	$535 > 480$
			4	5	$473 + 170 = 643$	$643 > 480$
	4	5, 6	–	–	$303 + 170 = 473$	
			7	–	$303 + 232 = 535$	$535 > 480$
			5	6	$473 + 170 = 643$	$643 > 480$
	5	6	–	–	$303 + 170 = 473$	
7			–	$303 + 232 = 535$	$535 > 480$	
6			7	$303 + 232 = 535$	$535 > 480$	
2	3, 4, 5, 6	–	–	$133 + 170 = 303$		
	7, 8	–	–	$133 + 232 = 365$		
	9, 10	–	–	$133 + 237 = 370$		
	3	4, 5, 6	–	–	$303 + 170 = 473$	
			7	–	$303 + 232 = 535$	$535 > 480$
	4	5, 6	–	–	$303 + 170 = 473$	
			7	–	$303 + 232 = 535$	$535 > 480$
	5	6	–	–	$303 + 170 = 473$	
			7	–	$303 + 232 = 535$	$535 > 480$
	6	7	–	–	$303 + 232 = 535$	$535 > 480$
3	4, 5, 6	–	–	$170 + 170 = 340$		
	7, 8	–	–	$170 + 232 = 402$		
	9, 10	–	–	$170 + 237 = 407$		
	4	5	–	–	$340 + 170 = 510$	$510 > 480$
4	5, 6	–	–	$170 + 170 = 340$		
	7, 8	–	–	$170 + 232 = 402$		
	9, 10	–	–	$170 + 237 = 407$		
5	5	6	–	–	$340 + 170 = 510$	$510 > 480$
	6	–	–	$170 + 170 = 340$		
	7, 8	–	–	$170 + 232 = 402$		
	9, 10	–	–	$170 + 237 = 407$		
6	6	7	–	–	$340 + 232 = 572$	$572 > 480$
	7, 8	–	–	$170 + 232 = 402$		
	9, 10	–	–	$170 + 237 = 407$		
7	7	8	–	–	$402 + 232 = 634$	$634 > 480$
	8	–	–	$232 + 232 = 464$		
	9, 10	–	–	$232 + 237 = 469$		
8	8	9	–	–	$464 + 237 = 701$	$701 > 480$
	9, 10	–	–	$232 + 237 = 469$		
	9	10	–	–	$469 + 237 = 706$	$706 > 480$
9	10	–	–	$237 + 237 = 474$		

В оставшейся части таблиц имеется только одна комбинация (7, 8), для которой $\Delta = 16$. Это свидетельствует о том, что оптимальный план перевозок составлен, и для перевозки груза достаточно четыре автомобиля, так как

$$\sum_{j=1}^n t_j = 474 + 473 + 473 + 464 = 1884 < 1920.$$

Первый автомобиль должен работать на маршруте, включающем две ездки со склада к третьему потребителю, время работы автомобиля на маршруте составляет 474 мин. Второй автомобиль необходимо использовать для выполнения одной ездки к первому потребителю и двух – к четвертому. При этом время работы на маршруте составляет 473 мин. Третий автомобиль должен совершить одну ездку к первому и две – ко второму, затратив 473 мин. Наконец, четвертый автомобиль целесообразно использовать для доставки грузов со склада второму потребителю, затратив на это 464 мин. В связи с наличием равноэкономичных решений могут использоваться и другие планы.

5 ОПТИМИЗАЦИЯ ИНВЕСТИЦИОННОЙ ПРОГРАММЫ РАЗВИТИЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ТРАНСПОРТА

Главным вопросом инвестиционной программы является поддержание наилучших пропорций развития различных видов транспорта. Объектами оптимизации выступают входящие в существующий транспортный комплекс региона виды транспорта.

Конечная цель оптимизации заключается в получении максимального эффекта при использовании ограниченных ресурсов в размере B , а в качестве управляющих воздействий выступают ресурсы, выделенные на развитие того или иного вида транспорта.

Решение данной задачи предусматривает разработку альтернативных вариантов использования инвестиций на j -м виде транспорта, постановку задачи, анализ результатов, их реализация.

Пример 13. Для развития транспортного комплекса региона выделены ассигнования в размере X_0 . Транспортное обслуживание региона осуществляется железнодорожным (Ж), автомобильным (А), речным (Р), воздушным (В), трубопроводным (Н) видами транспорта. Требуется так распределить выделенные капитальные вложения, чтобы экономический эффект был максимальным.

Величина эффекта для j -го вида транспорта в зависимости от выделенных объемов инвестиций приведена в таблице 19.

Р е ш е н и е. Процесс формирования оптимизации инвестиционной программы заключается в необходимости максимизировать функцию

$$F(X_0) = \sum_{i=1}^m \Delta E_{\text{тр}}^i(x_j^i) \rightarrow \max \quad (57)$$

Т а б л и ц а 19 – **Величина эффекта для j -го вида транспорта в зависимости от выделенных объемов инвестиций**

Размер инвестиций	Величина эффекта $E_{\text{пт}}(B_j)$ для j -го вида транспорта				
	Ж	А	Р	В	Н
0,2В	3,0	4,9	4,4	5,1	4,0
0,4В	6,6	6,5	5,6	5,9	4,5
0,6В	7,6	7,1	5,9	7,0	5,8
0,8В	7,8	7,8	7,5	9,4	6,1
В	9,4	8,9	10	9,7	7,5

при выполнении условий

$$X_0 = \sum x_i^j; \quad Y_{\text{пт}} = \sum y_i, \quad (58)$$

где X_0 – суммарный размер инвестиций, выделяемый на развитие транспортно-портного комплекса;

m – количество видов транспорта, 5

x_i^j – размер инвестиций, выделенных на развитие j -го вида транспорта;

$Y_{\text{пт}}$ – плановый объем перевозок, выполняемый j -м видом транспорта;

y_i – объем перевозок, выполняемый j -м видом транспорта.

Проанализировав выражение (57), можно сделать вывод, что критерий оптимальности является аддитивной функцией. Поэтому эффект, возникающий на j -м виде транспорта, может складываться друг с другом. Для облегчения расчетов принимается шаг изменения выделенных инвестиций $\Delta = 0,2В$.

При выборе метода оптимизации инвестиционной программы необходимо учитывать следующее:

1) метод должен приводить к конкретным результатам при минимальных объемах вычислений;

2) метод должен дать максимальный объем информации для лица, принимающего решение;

3) результат должен быть воспроизводимым.

Этим требованиям удовлетворяет метод динамического программирования (МДП). Метод динамического программирования служит для решения многоэтапных задач, описывающих дискретные процессы, критерии оптимизации которых обладают свойствами аддитивности.

Под этапом задачи оптимизации понимается взаимодействие двух видов транспорта, эффект от работы которых на любом уровне может складываться. Результат решения задачи может быть представлен в виде таблицы или графика.

В процессе решения задачи МДП производится разбивка на несколько этапов. На первом этапе находится условно-оптимальное распределение ресурсов между двумя видами транспорта, на втором – между тремя видами транспорта и т.д. Перебирая по очереди все виды транспорта, находим оптимальное решение задачи.

Расчеты оптимальных решений при распределении ресурсов между железнодорожным и автомобильным видами транспорта приведен в таблицах 20 и 21.

Таблица 20 – Расчет величины эффекта при распределении инвестиций между железнодорожным и автомобильным видами транспорта

Выделенная сумма инвестиций	Варианты долевого распределения инвестиций		Значение F
	Ж	А	
0,2В	0	0,2В	$0 + 4,9 = 4,9$
	0,2В	0	$3,0 + 0 = 3,0$
0,4В	0	0,4В	$0 + 6,5 = 6,5$
	0,2В	0,2В	$3,0 + 4,9 = 7,9$
	0,4В	0	$6,6 + 0 = 6,6$
0,6В	0	0,6В	$0 + 7,1 = 7,1$
	0,2В	0,4В	$3,0 + 6,5 = 9,5$
	0,4В	0,2В	$6,6 + 4,9 = 11,5$
	0,6В	0	$7,6 + 0 = 7,6$
0,8В	0	0,8В	$0 + 7,8 = 7,8$
	0,2В	0,6В	$3,0 + 7,1 = 10,1$
	0,4В	0,4В	$6,6 + 6,5 = 13,1$
	0,6В	0,2В	$7,6 + 4,9 = 12,5$
	0,8В	0	$7,8 + 0 = 7,8$
В	0	В	$0 + 8,9 = 8,9$
	0,2В	0,8В	$3,0 + 7,8 = 10,8$
	0,4В	0,6В	$6,6 + 7,1 = 13,7$
	0,6В	0,4В	$7,6 + 6,5 = 14,1$
	0,8В	0,2В	$7,8 + 4,9 = 12,7$
	В	0	$9,4 + 0 = 9,4$

Таблица 21 – Оптимальное распределение инвестиций между железнодорожным и автомобильным видами транспорта

Выделенная сумма инвестиций	$E_{\text{пр(ж)}}$	$E_{\text{пр(а)}}$	$F_{\text{жа}}$	Оптимальный вариант распределения инвестиций
0,2В	3,0	4,9	4,9	(0; 0,2В)
0,4В	6,6	6,5	7,9	(0,2В; 0,2В)
0,6В	7,6	7,1	11,5	(0,4В; 0,2В)
0,8В	7,8	7,8	13,1	(0,4В; 0,4В)
В	9,4	8,9	14,1	(0,6В; 0,4В)

Выполним распределение инвестиций для трех видов транспорта – железнодорожного, автомобильного и речного. Распределение инвестиций между тремя видами транспорта представлено в таблице 22, оптимальный вариант распределения – в таблице 23.

Т а б л и ц а 22 – Расчет величины эффекта при распределении инвестиций между железнодорожным и автомобильным и речным видами транспорта

Выделенная сумма инвестиций	Варианты долевого распределения инвестиций		Значение F
	ЖА	Р	
0,2 <i>B</i>	0	0,2 <i>B</i>	0 + 4,4 = 4,4
	0,2 <i>B</i>	0	4,9 + 0 = 4,9
0,4 <i>B</i>	0	0,4 <i>B</i>	0 + 5,6 = 5,6
	0,2 <i>B</i>	0,2 <i>B</i>	4,9 + 4,4 = 9,3
	0,4 <i>B</i>	0	7,9 + 0 = 7,9
0,6 <i>B</i>	0	0,6 <i>B</i>	0 + 5,9 = 5,9
	0,2 <i>B</i>	0,4 <i>B</i>	4,9 + 5,6 = 10,5
	0,4 <i>B</i>	0,2 <i>B</i>	7,9 + 4,4 = 12,3
	0,6 <i>B</i>	0	11,5 + 0 = 11,5
0,8 <i>B</i>	0	0,8 <i>B</i>	0 + 7,5 = 7,5
	0,2 <i>B</i>	0,6 <i>B</i>	4,9 + 5,9 = 10,8
	0,4 <i>B</i>	0,4 <i>B</i>	7,9 + 5,6 = 13,5
	0,6 <i>B</i>	0,2 <i>B</i>	11,5 + 4,4 = 15,9
	0,8 <i>B</i>	0	13,1 + 0 = 13,1
<i>B</i>	0	<i>B</i>	0 + 10 = 10
	0,2 <i>B</i>	0,8 <i>B</i>	4,9 + 7,5 = 12,4
	0,4 <i>B</i>	0,6 <i>B</i>	7,9 + 5,9 = 13,8
	0,6 <i>B</i>	0,4 <i>B</i>	11,5 + 5,6 = 17,1
	0,8 <i>B</i>	0,2 <i>B</i>	13,1 + 4,9 = 18
	<i>B</i>	0	14,1 + 0 = 14,1

Т а б л и ц а 23 – Оптимальное распределение инвестиций между железнодорожным и автомобильным видами транспорта

Выделенная сумма инвестиций	$E_{\text{пр(жа)}}$	$E_{\text{пр(р)}}$	$F_{\text{жар}}$	Оптимальный вариант распределения инвестиций
0,2 <i>B</i>	3,0	4,9	4,9	(0,2 <i>B</i> ; 0)
0,4 <i>B</i>	6,6	6,5	7,9	(0,2 <i>B</i> ; 0,2 <i>B</i>)
0,6 <i>B</i>	7,6	7,1	11,5	(0,4 <i>B</i> ; 0,2 <i>B</i>)
0,8 <i>B</i>	7,8	7,8	13,1	(0,6 <i>B</i> ; 0,2 <i>B</i>)
<i>B</i>	9,4	8,9	14,1	(0,8 <i>B</i> ; 0,2 <i>B</i>)

Аналогичным образом производится распределение инвестиций между остальными видами транспорта. Результаты расчета приведены в таблице 24, оптимальный вариант распределения инвестиций между всеми видами транспорта региона – в таблице 25.

Т а б л и ц а 24 – **Расчет величины эффекта при распределении инвестиций между пятью видами транспорта региона**

Выделенная сумма инвестиций	Варианты долевого распределения инвестиций		Значение F
	ЖАРВ	Н	
0,2 <i>B</i>	0	0,2 <i>B</i>	$0 + 4,0 = 4,0$
	0,2 <i>B</i>	0	$5,1 + 0 = \mathbf{5,1}$
0,4 <i>B</i>	0	0,4 <i>B</i>	$0 + 4,5 = 4,5$
	0,2 <i>B</i>	0,2 <i>B</i>	$5,1 + 4,0 = 9,1$
	0,4 <i>B</i>	0	$10,0 + 0 = \mathbf{10,0}$
0,6 <i>B</i>	0	0,6 <i>B</i>	$0 + 5,8 = 5,8$
	0,2 <i>B</i>	0,4 <i>B</i>	$5,1 + 4,5 = 9,6$
	0,4 <i>B</i>	0,2 <i>B</i>	$10,0 + 4,0 = 14,0$
	0,6 <i>B</i>	0	$14,4 + 0 = \mathbf{14,4}$
0,8 <i>B</i>	0	0,8 <i>B</i>	$0 + 6,1 = 6,1$
	0,2 <i>B</i>	0,6 <i>B</i>	$5,1 + 4,0 = 9,1$
	0,4 <i>B</i>	0,4 <i>B</i>	$10,0 + 4,5 = 14,5$
	0,6 <i>B</i>	0,2 <i>B</i>	$14,4 + 4,0 = \mathbf{18,4}$
	0,8 <i>B</i>	0	$17,4 + 0 = 17,4$
<i>B</i>	0	<i>B</i>	$0 + 7,5 = 7,5$
	0,2 <i>B</i>	0,8 <i>B</i>	$5,1 + 6,1 = 11,2$
	0,4 <i>B</i>	0,6 <i>B</i>	$10,0 + 5,8 = 15,8$
	0,6 <i>B</i>	0,4 <i>B</i>	$14,4 + 4,5 = 18,9$
	0,8 <i>B</i>	0,2 <i>B</i>	$17,4 + 4,0 = \mathbf{21,4}$
	<i>B</i>	0	$21,0 + 0 = 21,0$

Т а б л и ц а 25 – **Оптимальное распределение инвестиций между железнодорожным и автомобильным видами транспорта**

Выделенная сумма инвестиций	$E_{\text{пр(жарв)}}$	$E_{\text{пр(н)}}$	$F_{\text{жарвн}}$	Оптимальный вариант распределения инвестиций
0,2 <i>B</i>	5,1	4,0	5,1	(0,2 <i>B</i> ; 0)
0,4 <i>B</i>	10,0	4,5	10,0	(0,4 <i>B</i> ; 0)
0,6 <i>B</i>	14,4	5,8	14,4	(0,6 <i>B</i> ; 0)
0,8 <i>B</i>	17,4	6,1	18,4	(0,6 <i>B</i> ; 0,2 <i>B</i>)
<i>B</i>	21,0	7,5	21,4	(0,8 <i>B</i> ; 0,2 <i>B</i>)

Анализ результатов расчетов показывает, что оптимальным распределением выделенных капитальных вложений (инвестиций) на развитие пяти видов транспорта региона при заданных условиях являются: при объеме инвестиций 0,2*B* – вложения на развитие трубопроводного транспорта; при объеме инвестиций 0,4*B* – вложения на развитие трубопроводного и других видов транспорта по 0,2*B* в каждый; при объеме инвестиций 0,6*B* – вложения на развитие трубопроводного, автомобильного и речного видов транспорта по 0,2*B* в каж-

дый; при объеме инвестиций $0,8B$ – вложения на развитие трубопроводного, автомобильного, речного и воздушного видов транспорта по $0,2B$ в каждый; при объеме инвестиций B – вложения по $0,2B$ в развитие каждого из пяти видов транспорта.

6 ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОНТРЕЙЛЕРНЫХ ПЕРЕВОЗОК

Современный уровень развития экономики, ее глобализация предъявляют все более высокие требования к транспортной сфере. На первом месте скорость, экономичность доставки, а также сохранность грузов. Немаловажное обстоятельство – экологичность грузоперевозок. Всем этим запросам вполне отвечают **контрейлерные перевозки**. Контрейлерная перевозка сочетает оперативность и маневренность автомобильного транспорта с надежностью железнодорожного. Основное отличие от привычных автомобильных заключается в том, что автопоезд передвигается на дальнее расстояние не по шоссе, а по железной дороге со скоростью пассажирского или товарного поезда. По прибытию в пункт назначения железнодорожного состава автопоезд своим ходом доставляет груз до заказчика.

Контрейлерные перевозки определяются как мультимодальные, при которых автомобильные транспортные средства (полуприцепы, автопоезда в полном составе) перевозятся на специализированном подвижном составе (платформах). Их можно охарактеризовать как вид грузовых перевозок между отправителями и получателями грузов при сохранении транспортной упаковки в процессе перегрузки универсальных транспортных средств с одного вида транспорта на другой.

Контрейлерные (contrail) перевозки (америк. «*railintermodal*» или «*piggi-back*» – «пиггибэк») – это комбинированные железнодорожно-автомобильные перевозки, при которых автопоезда, трейлеры, полуприцепы или съемные кузова (*swapbody*) без водителя и тягача перевозят на специализированном подвижном составе (платформах) (*TOFC – traileronflatcar* – трейлер на железнодорожной платформе).

Этот же термин применяется для перевозки автомобильных шасси (*containerchausse*) с установленными на них контейнерами, погруженными на облегченные безбортовые железнодорожные платформы длиной 22,5–26,7 м (*COFC – containeronflatcar* – контейнер на железнодорожной платформе [14]).

В соответствии с **Соглашением о международном грузовом сообщении**, *контрейлерной отправкой считается предъявленный к перевозке по единой накладной груженный автопоезд, съемный автомобильный кузов или полуприцеп.*

Мировой опыт показывает, что залогом успешного развития комбиниро-

ванных (в том числе контрейлерных) перевозок является глубокая техническая и технологическая проработка всех этапов логистической цепи.

Контрейлеры по типам автотранспортных средств делятся на полуприцепы и полные автопоезда (полуприцеп с седельным тягачом). Контрейлерные перевозки, кроме того, подразделяются на сопровождаемые и несопровождаемые. К несопровождаемым относятся полуприцепы, к сопровождаемым – полные автопоезда (рисунок 6).

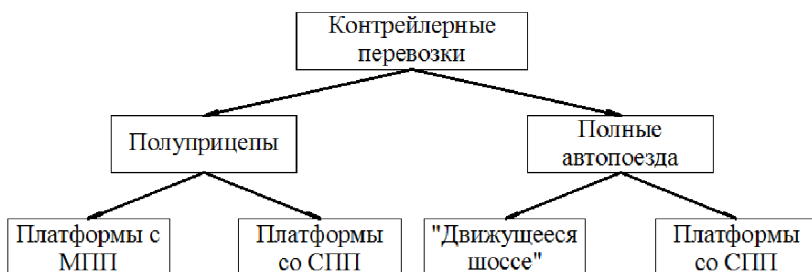


Рисунок 6 – Классификация контрейлерных перевозок

Полные автопоезда. Этот вид контрейлерных перевозок обеспечивается специальным видом железнодорожного подвижного состава. По типу железнодорожного подвижного состава такие перевозки подразделяются на систему «движущееся шоссе» и технологию с использованием специальных платформ со стационарной пониженной площадкой (карманом).

«Движущееся шоссе». При данном подвиде контрейлерных перевозок полностью укомплектованные транспортные средства (полные автопоезда) перевозятся на специализированных платформах, оснащенных нестандартными колесными парами, диаметр которых менее стандартных. Это позволяет погруженному автопоезду вписаться в габарит погрузки.

Стационарная пониженная площадка (СПП). В этом случае платформа имеет усиленную раму и карман в полу, в котором размещаются автомобильные колесные пары полуприцепа и тягача. Глубину кармана определяет габарит погрузки.

Полуприцепы. Конструкция платформ аналогична той, что и при перевозке автопоездов, однако есть и одно отличие: потребная площадь платформ со СПП для полуприцепов значительно меньше, так как в кармане должны размещаться только задние автомобильные колесные пары, что значительно сокращает потребную полезную длину вагона.

Платформы с МПП. Отличительной особенностью данного типа платформ является наличие специального устройства, обеспечивающего подъем и опускание кармана. При верхнем положении площадки платформа при-

нимает вид обычной универсальной платформы. Такая конструкция позволяет значительно сократить время на выполнение грузовых операций.

Наиболее интересный вариант контрейлерных перевозок – использование роудрейлеров. Роудрейлеры – это контейнеры или прицепы с комбинированной ходовой частью, способные передвигаться как по автостраде, так и по рельсам. Роудрейлеры могут крепиться и к автомобилю-тягачу, и к локомотиву, образуя целые роудрейлерные поезда.

Пример формирования бимодального состава показан на рисунке 7. Сдвоенные колеса полуприцепа поднимаются, и он своей задней частью опирается на тележку. Затем та же операция выполняется с другим полуприцепом. Второй полуприцеп, уже опирающийся на железнодорожные тележки, подталкивается к первому так, чтобы сцепное устройство переднего (или заднего) трейлера было сопряжено с помощью заднего сцепного пальца и паза со вторым, и образовался поезд.

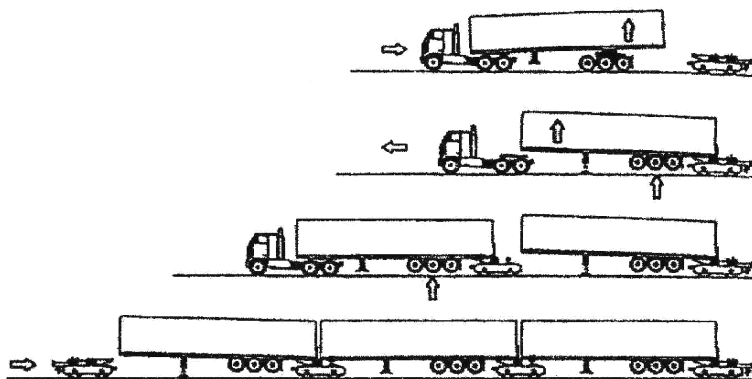


Рисунок 7 – Формирование бимодальной перевозки

Преимущества использования контрейлерных грузоперевозок очевидны: они позволяют *сочетать маневренность и скорость автотранспорта с безопасностью и независимостью от погодных условий железнодорожного транспорта*. При этом уменьшается загруженность автомагистралей, снижается аварийность, обеспечивается сохранность дорожного полотна. Основная же причина, по которой в западных странах так много уделяется внимания развитию контрейлерных перевозок – их *экологичность*. Контрейлерные перевозки, по сравнению с автомобильными, наносят меньший вред окружающей среде, сокращая вредные выбросы.

Недостаток таких перевозок – *снижение степени эффективности использования грузоподъемности железнодорожного транспорта*, так как

приходится перевозить кроме непосредственно груза еще и сам прицеп или автомобиль.

Для оценки данного типа мультимодальных перевозок рассматриваются четыре группы критериев:

- 1) эффективность (мера качества функционирования транспорта);
- 2) безопасность и надежность;
- 3) затраты (в денежном выражении);
- 4) скорость товародвижения.

Поскольку в экономических показателях получают отражение практически все стороны работы транспорта, то при сравнении вариантов, прежде всего, рассматриваются экономические, а затем учитываются и другие критерии.

Себестоимость перевозок определяется денежным выражением текущих затрат на выполнение единицы перевозок как

$$C_i = \frac{\mathcal{E}_i}{(pl)_i}, \quad (59)$$

где \mathcal{E}_i – эксплуатационные расходы по i -ому варианту перевозок,

$$\mathcal{E}_i = \mathcal{E}_{\text{пр},i} + \mathcal{E}_{\text{вр},i} + \mathcal{E}_{\text{дор},i}, \quad (60)$$

$\mathcal{E}_{\text{пр},i}$ – эксплуатационные расходы, связанные с пробегом (топливо, смазка, техобслуживание) по i -му варианту;

$\mathcal{E}_{\text{вр},i}$ – эксплуатационные расходы, связанные с продолжительностью перевозки (зарплата, амортизационные отчисления) по i -му варианту;

$\mathcal{E}_{\text{дор},i}$ – эксплуатационные расходы, связанные с содержанием путевого хозяйства по i -му варианту;

pl_i – грузооборот по i -му варианту.

Другим критерием является *минимум затрат труда на доставку продукции* от склада поставщика до склада потребителя, т.е. приведенные затраты на всем пути следования. Указанный критерий имеет следующий вид:

- при мультимодальных перевозках –

$$\Pi_{\text{а-ж}} = \Pi'_\text{а} + \Pi'_\text{ж}; \quad (61)$$

- при перевозке автомобильным транспортом –

$$\Pi_\text{а} = \mathcal{E}_\text{а} + Y_\text{а} + E_\text{н}(\mathcal{K}_\text{а} + C_\text{а}); \quad (62)$$

- при перевозке железнодорожным транспортом

$$\Pi_\text{ж} = C_\text{пр} + C_\text{хр} + \mathcal{E}_\text{ж} + Y_\text{ж} + E_\text{н}(\mathcal{K}_\text{ж} + C_\text{ж}), \quad (63)$$

где $\mathcal{E}_\text{а}$, $\mathcal{E}_\text{ж}$ – текущие годовые эксплуатационные расходы соответственно при автомобильных и железнодорожных перевозках;

- $У_a, У_ж$ – ущерб, причиняемый транспортом окружающей среде;
 E_H – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений, 0,15;
 $K_a, K_ж$ – одновременные капитальные затраты и стоимость подвижного состава;
 $C_a, C_ж$ – стоимость грузовой массы (оборотные фонды);
 $C_{пр}, C_{хр}$ – затраты соответственно на погрузочно-разгрузочные операции и хранение грузов на станции.

Затраты при перевозке грузов автомобильным транспортом

$$\Theta_a = \frac{e_{пр}^a L_a}{ab_a q_{гр}^a} + \frac{e_{вр}^a (L_a + b_a v_{тех}^a t_{пр}^a)}{ab_a q_{гр}^a v_{тех}^a} + \frac{e_{дор}^a L_a}{a}, \quad (64)$$

- где a – коэффициент использования грузоподъемности автомобиля;
 b_a – коэффициент использования пробега автомобиля;
 $q_{гр}^a$ – грузоподъемность полуприцепа, т;
 $v_{тех}^a$ – техническая скорость движения автомобиля, км/ч
 $t_{пр}^a$ – продолжительность нахождения автомобиля под погрузкой-разгрузкой, ч;
 L_a – расстояние перевозки, км;
 $e_{пр}^a, e_{вр}^a, e_{дор}^a$ – расходные вставки, связанные соответственно с пробегом, со временем и содержанием дорог.

Ущерб от загрязнения атмосферы выбросами автомобильного транспорта при использовании автомобилей с дизельными двигателями рассчитывается по формуле

$$У_a = \frac{e_a L_a}{ab q_{гр}^a}, \quad (65)$$

где e_a – расходная вставка при использовании автомобиля с дизельным двигателем, 25,1.

Капитальные вложения в подвижной состав и постоянные устройства автотранспорта

$$K_a = \frac{(\Pi_a + \Pi_b) t_{дв}^a}{365 K_{пнар} ab q_{гр}^a v_{тех}^a}, \quad (66)$$

где Π_a, Π_b – стоимость соответственно автотранспорта и производственно-технической базы, отнесенные к одному автомобилю, руб.;

$t_{дв}^a$ – время одной ездки, ч, определяемая как

$$t_{\text{дв}}^{\text{а}} = \frac{L + b v_{\text{тех}}^{\text{а}} t_{\text{гр}}^{\text{а}}}{b v_{\text{тех}}^{\text{а}}}, \quad (67)$$

$K_{\text{п}}$ – коэффициент использования автопарка;

$t_{\text{нар}}$ – продолжительность нахождения автомобиля в наряде, ч.

Материальные средства, находящиеся в обороте, рассчитываются по формуле

$$C_{\text{а}} = \frac{\Pi_{\text{гр}} \Theta_{\text{а}}}{365}, \quad (68)$$

где $\Pi_{\text{гр}}$ – стоимость 1 т груза, 0,125 млн руб.;

$\Theta_{\text{а}}$ – оборот автомобиля, сут,

$$\Theta_{\text{а}} = \frac{t_{\text{п}} + t_{\text{дв}}}{24}, \quad (69)$$

$t_{\text{п}}$ – потери времени на заезды на техобслуживание, ремонт, заправку, равные $0,2L_{\text{а}}$, ч.

Затраты при перевозке грузов железнодорожным транспортом. Эксплуатационные расходы при железнодорожных перевозках рассчитываются по формуле

$$\Xi_{\text{ж}} = e_{\text{пв}} + e_{\text{фр}} + e_{\text{дв}} L_{\text{жд}} + e_{\text{тех}} \frac{L_{\text{жд}}}{L_{\text{тс}}} + e_{\text{пу}} L_{\text{жд}} + e_{\text{хр}}, \quad (70)$$

где e – расходные вставки соответственно на погрузку-выгрузку ($e_{\text{пв}}$), формирование-расформирование составов ($e_{\text{фр}}$), передвижение составов ($e_{\text{дв}}$), обслуживание на технических станциях ($e_{\text{дв}}$), содержание постоянных устройств ($e_{\text{пу}}$), хранение грузов ($e_{\text{хр}}$);

$L_{\text{жд}}$ – расстояние перевозки железнодорожным транспортом, км;

$L_{\text{тс}}$ – расстояние перевозки, км.

Стоимость локомотивного парка и парка платформ определяется по формуле

$$K_{\text{ж}} = \frac{(K_{\text{рл}} N_{\text{лок}} \Pi_{\text{лок}} + K_{\text{рп}} N_{\text{пл}} \Pi_{\text{пл}}) t_{\text{дв}}^{\text{ж}}}{365 K_{\text{в}} t_{\text{в}} a_{\text{в}} b_{\text{в}} q_{\text{гр}}^{\text{в}} v_{\text{тех}}^{\text{жд}}}, \quad (71)$$

где $K_{\text{рл}}$, $K_{\text{рп}}$ – коэффициенты, учитывающие резерв локомотивов и платформ, соответственно 1,05 и 1,15;

$N_{\text{лок}}$, $N_{\text{пл}}$ – соответственно количество локомотивов и платформ;

$\Pi_{\text{лок}}$, $\Pi_{\text{пл}}$ – стоимость соответственно локомотива и платформы, руб.;

$t_{\text{дв}}^{\text{в}}$ – время нахождения вагона в движении, ч;

$$t_{\text{дв}}^{\text{в}} = \frac{L_{\text{жд}} + b_{\text{в}} v_{\text{тех}}^{\text{жд}} t_{\text{гр}}}{b_{\text{в}} v_{\text{тех}}^{\text{жд}}}, \quad (72)$$

$K_{\text{в}}$ – коэффициент использования парка вагонов;

$t_{\text{в}}$ – продолжительность использования вагона, 24 ч

$a_{\text{в}}$ – коэффициент использования грузоподъемности вагона;

$b_{\text{в}}$ – коэффициент использования пробега вагона, 0,8;

$q_{\text{гр}}^{\text{в}}$ – грузоподъемность платформы, т;

$t_{\text{гр}}$ – время на погрузку, крепление груза и разгрузку платформы, 3,5 ч.

Ущерб от загрязнения атмосферы железнодорожным транспортом

$$Y_{\text{жд}} = 0,12 Y_{\text{а}}.$$

Материальные средства, находящиеся в обороте, находят по формуле

$$C_{\text{жд}} = \frac{\Pi_{\text{гр}} \Theta_{\text{в}}}{365}, \quad (73)$$

где $\Theta_{\text{в}}$ – оборот автомобиля, сут,

$$\Theta_{\text{в}} = \frac{t_{\text{п}} + t_{\text{дв}}^{\text{жд}}}{24}; \quad (74)$$

$t_{\text{п}}$ – потери времени на заезды на техобслуживание, ремонт и т.п., $0,2L_{\text{жд}}$, ч.

Пример 14. Определить эффективность перевозки 1 т груза автомобильным, железнодорожным видами транспорта и контейнерной перевозкой. Расстояние перевозки груза от отправителя до получателя груза: автомобильным транспортом – 1320 км, железнодорожным – 1100 км. При контейнерной перевозке 30 % расстояния перевозки осуществляется автомобильным транспортом, 70 % – железнодорожным.

Исходные данные для расчета затрат при прямой автомобильной перевозке грузов приведены в таблице 26.

Исходные данные для расчета затрат при перевозке груза железнодорожным транспортом приведены в таблице 27.

Подставляя исходные данные в вышеприведенные формулы, получим

Т а б л и ц а 26 – **Исходные данные при перевозке автомобильным транспортом**

Наименование	Обозначение	Величина, руб.
Расходная ставка, связанная: – с пробегом автопоезда, руб./км – со временем, руб./ч	$e_{гр}$ $e_{вр}$	150 220
Расходная ставка: – на содержание 1 км дорог, руб./т·км – при использовании автомобиля с дизельным двигателем, руб./км	$e_{дор}$ e_a	13,6 230
Коэффициент использования: – грузоподъемности автомобиля – пробега автопоезда – автопарка	a b_a $K_{п}$	0,87 0,8 0,7
Продолжительность нахождения автомобиля, ч: – в наряде – под погрузкой-выгрузкой	$t_{нар}$ $t_{пр}$	12 1,5
Стоимость, млрд. руб.: – автопоезда – полуприцепа – производственно-технической базы	$Ц_a$ $Ц_{гр}$ $Ц_б$	1,5 0,5 3,75
Грузоподъемность полуприцепа, т	$q_{гр}$	20
Расстояние перевозки, км	L_a	1320
Техническая скорость движения автопоезда, км/ч	v_a	60

$$Y_a = \frac{230 \cdot 1320}{0,87 \cdot 0,8 \cdot 20} = 21810,34 \text{ руб./т};$$

$$t_{дв}^a = \frac{1320 + 0,8 \cdot 60 \cdot 1,5}{0,80 \cdot 60} = 29 \text{ ч};$$

$$K_a = \frac{(1,5 + 3,75) \cdot 29 \cdot 10^9}{365 \cdot 0,7 \cdot 12 \cdot 0,87 \cdot 0,8 \cdot 20 \cdot 60} = 59455,86 \text{ руб./т};$$

$$\Theta_a = \frac{0,2 \cdot 1320 + 29}{24} = 12,21 \text{ сут}; \quad C_a = \frac{0,125 \cdot 10^6 \cdot 12,21}{365} = 4181,51 \text{ руб./т};$$

$$П_a = 35225,29 + 21810,34 + 0,15 \cdot (59455,86 + 4181,51) = 66581,24 \text{ руб./т}.$$

Затраты при перевозке железнодорожным транспортом:

$$\mathcal{E}_ж = 0 + 1000 + 1,1 \cdot 1100 + 1820 \cdot \frac{1100}{300} + 0,12 \cdot 1100 + 0 = 9015,33 \text{ руб./т};$$

$$t_{дв}^в = \frac{1100 + 0,8 \cdot 50 \cdot 3,5}{0,8 \cdot 50} = 31 \text{ ч};$$

Т а б л и ц а 27 – Исходные данные при перевозке железнодорожным транспортом

Наименование	Обозначение	Величина
Затраты на выполнение начально-конечных операций, руб./т	$e_{\text{фр}}$	1000
Расходная ставка, руб./т-км: – на передвижение поезда – на содержание постоянных устройств	$e_{\text{дв}}$ $e_{\text{пв}}$	1,7 0,12
Расходная ставка, связанная с пропуском поездов через технические станции, руб./т: – без переработки вагонов – с переработкой вагонов	$e_{\text{бп}}$ $e_{\text{сп}}$	400 1820
Расходная ставка, руб./т: – на погрузку и разгрузку платформ – на содержание складов и хранение грузов на станциях	$e_{\text{пв}}$ $e_{\text{хр}}$	600 30
Стоимость локомотива, млрд. руб.	$\Pi_{\text{лок}}$	19,4
Стоимость платформы, млрд. руб.	$\Pi_{\text{пл}}$	0,6
Продолжительность использования вагона, ч	$t_{\text{в}}$	24
Коэффициент использования парка вагонов	$K_{\text{в}}$	0,7
Коэффициент использования грузоподъемности вагона	$a_{\text{в}}$	0,65
Расстояние перевозки, км	$L_{\text{жд}}$	1100
Среднее расстояние между техническими станциями, км	$L_{\text{ср}}$	300

$$K_{\text{ж}} = \frac{(1,05 \cdot 1 \cdot 19,4 + 1,15 \cdot 20 \cdot 0,6) \cdot 10^9 \cdot 31}{365 \cdot 0,7 \cdot 24 \cdot 0,65 \cdot 0,8 \cdot 20 \cdot 50} = 332201,19 \text{ руб./т};$$

$$Y_{\text{жд}} = 0,12 \cdot 21810,34 = 2617,24 \text{ руб./т}; \quad \Theta_{\text{жд}} = \frac{0,2 \cdot 1100 + 31}{24} = 10,46 \text{ сут};$$

$$C_{\text{жд}} = \frac{0,125 \cdot 10^6 \cdot 10,46}{365} = 3582,19 \text{ руб./т};$$

$$\Pi_{\text{жд}} = 9015,33 + 2617,24 + 0,15 \cdot (332201,19 + 3582,19) = 62000,08 \text{ руб./т.}$$

Затраты при контрейлерной перевозке:

$$\begin{aligned} \mathcal{E}'_{\text{а}} &= \frac{150 \cdot 400}{0,87 \cdot 0,8 \cdot 20} + \frac{220 \cdot (400 + 0,8 \cdot 60 \cdot 1,5)}{0,87 \cdot 0,8 \cdot 20 \cdot 60} + \frac{13,6 \cdot 400}{0,87} = \\ &= 10687,55 \text{ руб./т}; \end{aligned}$$

$$Y'_a = \frac{230 \cdot 400}{0,87 \cdot 0,8 \cdot 20} = 6609,2 \text{ руб./т}; \quad t'_{дв} = \frac{400 + 0,8 \cdot 60 \cdot 1,5}{0,80 \cdot 60} = 9,83 \text{ ч};$$

$$K'_a = \frac{(0,5 + 3,75) \cdot 9,83 \cdot 10^9}{365 \cdot 0,7 \cdot 12 \cdot 0,87 \cdot 0,8 \cdot 20 \cdot 60} = 16314,73 \text{ руб./т};$$

$$\Theta'_a = \frac{0,2 \cdot 400 + 9,83}{24} = 3,74 \text{ сут}; \quad C'_a = \frac{0,125 \cdot 10^6 \cdot 3,74}{365} = 1280,82 \text{ руб./т};$$

$$\Pi'_a = 10687,55 + 6609,2 + 0,15 \cdot (16314,73 + 1280,82) = 19936,08 \text{ руб./т};$$

$$\Theta'_{ж} = 0 + 1000 + 1,1 \cdot 770 + 600 \cdot \frac{770}{300} + 0,12 \cdot 770 + 0 = 3479,4 \text{ руб./т};$$

$$t'_{дв} = \frac{770 + 0,8 \cdot 50 \cdot 3,5}{0,8 \cdot 50} = 22,75 \text{ ч};$$

$$K'_{ж} = \frac{(1,05 \cdot 1 \cdot 19,4 + 1,15 \cdot 20 \cdot 0,6) \cdot 10^9 \cdot 22,75}{365 \cdot 0,7 \cdot 24 \cdot 0,65 \cdot 0,8 \cdot 20 \cdot 50} = 243792,81 \text{ руб./т};$$

$$Y'_{жд} = 0,12 \cdot 617,82 = 74,14 \text{ руб./т}; \quad \Theta'_{жд} = \frac{0,2 \cdot 770 + 22,75}{24} = 7,36 \text{ сут};$$

$$C'_{жд} = \frac{0,125 \cdot 10^6 \cdot 7,36}{365} = 2520,55 \text{ руб./т};$$

$$\Pi'_{жд} = 3479,4 + 74,14 + 0,15 \cdot (243792,81 + 2520,55) = 40500,54 \text{ руб./т};$$

$$\Pi_{a-ж} = 19936,08 + 40500,54 = 60436,62 \text{ руб./т}.$$

Анализ полученных результатов показывает, что минимальные приведенные затраты на перевозку 1 т груза будут при контейнерной перевозке для заданных условий.

7 ОСВОЕНИЕ ГРУЗОВЫХ ПЕРЕВОЗОК

Решению задачи оптимального освоения перевозок посвящено большое количество научных исследований, выполненных отдельными авторами и научными коллективами [1, 7]. Широкое распространение для распределения перевозок между различными видами транспорта получили линейные модели. Оптимизация взаимодействия двух видов транспорта или более представляет многоэтапную транспортную задачу [1, 4, 7]. Решение такой сложной проблемы (освоение перевозок на транспортной сети и в узлах, по-

строение оптимального плана, формирование структуры постоянных устройств сети) часто сводится к модели: найти минимум функции

$$\Phi = \min \sum_{ij} E_{ij} = \min (\sum_{ij} a_{ij} + \sum_{ij} b_{ij} x_{ij}) \quad (75)$$

при ограничении $\sum_j x_{ij} - \sum_i x_{ij} = x_{ij}$

$$E_{ij} = \begin{cases} 0 & \text{при } x_{ij} = 0; \\ a_{ij} + b_{ij} x_{ij} & \text{при } x_{ij} > 0, \end{cases}$$

где E_{ij} – приведенные затраты на строительство и функционирование элемента сети ij (из пункта i в j);

x_{ij} – объем перевозок по элементу ij ;

a_{ij} , b_{ij} – эмпирические коэффициенты. Первый отражает постоянные (дискретные), а второй – переменные (зависящие) затраты.

Пример 15. В транспортном узле (рисунок 8) имеется два причала – A_1 и A_2 для перевалки песка соответственно 100 тыс. и 200 тыс. т. Песок доставляется автотранспортом в 8 районов города – Π_1 – Π_8 , потребность каждого из которых в песке составляет 8; 11; 16; 23; 39; 57; 68; 78 тыс. т. Стоимость погрузки песка в автомобили на обоих причалах одинакова.

Приведенное расстояние перевозки l_{ij} от i -го причала до j -го района приведено в таблице 28.

Т а б л и ц а 28 – Расстояние перевозки l_{ij} от i -го причала до j -го района

В километрах

Причалы	Пункты потребления								Q_i
	Π_1	Π_2	Π_3	Π_4	Π_5	Π_6	Π_7	Π_8	
A_1	3,05	6,04	4,17	5,32	4,96	6,28	7,69	6,27	100
A_2	5,08	6,85	4,81	5,23	3,78	4,86	5,86	3,54	200
Q_j	8	11	16	23	39	57	68	78	

Определить оптимальный вариант обслуживания причалов и потребителей автотранспортом, при котором пробег автомобилей будет минимальным и будет выполнен план перевозок.

Р е ш е н и е. Для построения оптимального плана обслуживания причалов необходимо определить минимум функции

$$L = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^8 l_{ij} X_{ij}, \quad (76)$$

$$\sum_{i=1}^2 X_{ij} = Q_j,$$

где Q_j – общее количество груза, поступающего в j -й район города;

$$\sum_{i=1}^8 X_{ij} = Q_i,$$

Q_i – общее количество груза, отправляемого из пункта i .

Расчет потенциалов для начального плана обслуживания потребителей приведен в таблице 29.

Т а б л и ц а 29 – **Расчет потенциалов для начального плана обслуживания потребителей**

Причал	Потенциал u_i	Районы города с соответствующим потенциалом v_j								Q_i
		Π_1	Π_2	Π_3	Π_4	Π_5	Π_6	Π_7	Π_8	
		3,05	6,04	4,17	7,06	5,61	6,69	7,69	5,37	
A_1	0	3,05	6,04	4,17	5,32 1	4,96	6,28	7,69 2	6,27	100
		11	8	23	–	–	–	58	–	
A_2	1,83	5,08	6,85	4,81	5,23 4	3,78	4,86	5,86 3	3,54	200
		–	–	–	78	16	57	10	39	
Q_i	–	11	8	23	78	16	57	68	39	$\Sigma=300$

Для занятой клетки ($X_{ij} > 0$) должно выполняться равенство

$$v_j - u_i = l_{ij}. \quad (77)$$

Для свободных клеток ($X_{ij} = 0$) проверяется соблюдение условия

$$\Delta_{ij} = v_j - u_i \leq l_{ij}. \quad (78)$$

Условие выполняется для

$$\Delta_{18} = 5,37 - 0 = 5,37 \leq 6,27; \quad \Delta_{21} = 3,05 - 1,83 = 1,22 \leq 5,08;$$

$$\Delta_{22} = 6,04 - 1,83 = 4,21 \leq 6,85; \quad \Delta_{23} = 4,17 - 1,83 = 2,34 \leq 4,81.$$

Условие нарушается для

$$\Delta_{14} = 7,06 - 0 = 7,06 > 5,32 \quad \Delta_{15} = 5,61 - 0 = 5,61 > 4,96; \quad \Delta_{16} = 6,69 - 0 = 6,69 > 6,28.$$

Имеется нарушения в клетках 1–4, 1–5, 1–6. Для его устранения строится замкнутый контур (см. таблицу 29). Одна из вершин контура находится в свободной клетке с максимальным нарушением условия оптимальности (1–4), а остальные – в базисных клетках (т. е. занятых) – 1–7, 2–7, 2–4. Вершины этого контура нумеруют, начиная с вершины, находящейся в незанятой клетке.

Изменения в таблице 29 происходят при уменьшении объемов перевалки песка в четных клетках контура и увеличении в нечетных на наименьшую величину, находящуюся в четных клетках. В четных клетках контура находятся числа 58 и 78. Следовательно, объемы перевалки в нечетных клетках увели-

чиваются, а в нечётных – уменьшаются на 58 тыс. т. Оптимальный план обслуживания причалов автомобильным транспортом приведен в таблице 30.

Т а б л и ц а 30 – **Оптимальный вариант плана обслуживания потребителей**

Причал	Потенциал u_i	Районы города с соответствующим потенциалом v_j								Q_i
		П ₁	П ₂	П ₃	П ₄	П ₅	П ₆	П ₇	П ₈	
		3,05	6,04	4,17	5,32	3,88	4,95	5,95	3,63	
A ₁	0	3,05	6,04	4,17	5,32	4,96	6,28	7,69	6,27	100
A ₂	0,09	–	–	–	20	16	57	68	39	200
Q_j	–	11	8	23	78	16	57	68	39	$\Sigma=300$

Для нового плана пересчитываются потенциалы и проверяется выполнение условия оптимальности для свободных клеток. Проверка показывает, что нарушений условия оптимальности нет, и поэтому полученный план является оптимальным. В соответствии с этим планом перевалку груза на автотранспорт для районов П₁, П₂, П₃ следует выполнять на причале А₁, для районов П₅ – П₈ – на причале А₂. Район П₄ следует снабжать песком с двух причалов (см. рисунок 8). При таком варианте взаимодействия автомобильного и речного транспорта пробег автомобилей будет наименьшим:

$$L_{\text{опт}} = 11 \cdot 3,05 + 8 \cdot 6,04 + 23 \cdot 4,17 + 58 \cdot 5,32 + 20 \cdot 5,23 + 16 \cdot 3,78 + 57 \cdot 4,86 + 68 \cdot 5,86 + 39 \cdot 3,54 = 1464,98 \text{ тыс. т}\cdot\text{км.}$$

План, который был составлен методом «наименьшей стоимости», обеспечивает объем работы

$$L_{\text{нач}} = 11 \cdot 3,05 + 8 \cdot 6,04 + 23 \cdot 4,17 + 78 \cdot 5,23 + 16 \cdot 3,78 + 57 \cdot 4,86 + 10 \cdot 5,86 + 58 \cdot 7,69 + 39 \cdot 3,54 = 1565,9 \text{ тыс. т}\cdot\text{км.}$$

Таким образом, оптимальный режим взаимодействия позволяет уменьшить объем работы автотранспорта на

$$\Delta L = L_{\text{нач}} - L_{\text{опт}} = 1565,9 - 1464,98 = 100,92 \text{ тыс. т}\cdot\text{км.}$$

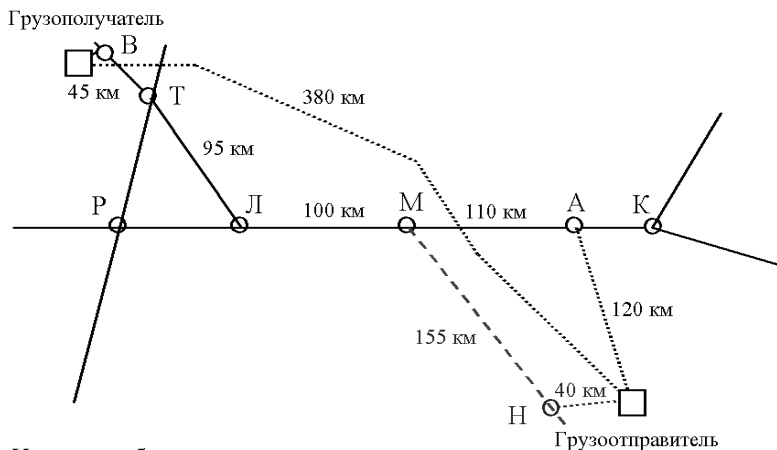
Увеличение расходов по отношению к оптимальному варианту

$$\Delta = (1565,9 - 1464,98) / 1464,98 = 6,9 \%$$

Пример 16. Определить годовые расходы грузополучателя на перевозку щебня в объеме 30 000 т в год от предприятия-производителя до грузополучателя автомобильным транспортом при существующей транспортной инфраструктуре (рисунок 9).

Исходные данные:

- расчетная норма пробега автомобиля при подаче заказчику – 40 км/ч;
- расстояние подачи автомобиля (нулевой пробег) – 10,0 км;



Условные обозначения:
 — — железнодорожный участок; — автомобильная дорога.

Рисунок 9 – Схема транспортной сети

- расчетная норма пробега автомобиля при перевозке груза – 60,0 км/ч;
- модель и характеристика используемых грузовых автомобилей – автомобили модели МАЗ-6501 грузоподъемностью 20,1 т;
- тарифная ставка 1-го разряда, действующая в автотранспортной организации, – 500 тыс. руб.;
- кратный размер тарифной ставки 1-го разряда водителя грузового автомобиля в зависимости от грузоподъемности автомобиля – 2,59;
- среднемесячная норма рабочего времени водителя – 167,3 ч;
- коэффициент повышения тарифной ставки (оклада), предусмотренный в локальном нормативном правовом акте и (или) трудовом договоре (контракте), – 1,1;
- коэффициент повышения тарифной ставки в качестве дополнительной меры стимулирования труда в размере, предусмотренном контрактом, – 0,2;
- сумма нормативов налогов и отчислений от средств на оплату труда – 34,7 %;
- норма расхода топлива на 100 км пробега автомобиля – 30,0 л/100 км;
- норма расхода топлива на езду с грузом – 0,5 л;
- цена одного комплекта шины без учета налога на добавленную стоимость – 2 464 тыс. руб.;
- количество шин, установленных на автомобиле, – 10 ед.;
- эксплуатационная норма пробега одной шины до списания – 50,0 тыс. км;
- индекс цен производителей промышленной продукции производствен-

но-технического назначения по состоянию на сентябрь 2013 г. по отношению к декабрю 2011 г. – 124,853;

- амортизационная стоимость автомобиля без налога на добавленную стоимость – 570 004 тыс. руб.;

- срок полезного использования автомобиля – 7 лет;

- рентабельность автомобильных грузовых перевозок – 30,0 %.

Р е ш е н и е. Эксплуатационные расходы на автомобильные перевозки грузов определяются в соответствии с Методическими рекомендациями по расчету тарифов на автомобильные перевозки грузов и пассажиров в Республике Беларусь, утвержденными приказом Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь [15].

Расчет показателей транспортной работы за смену при перевозке груза автомобильным транспортом при существующей инфраструктуре:

- количество ездов с грузом за смену

$$n_e = \frac{T_n}{l_{\text{ег}} / (\beta \cdot v_T) + t_{\text{п-р}}}, \quad (79)$$

где T_n – время в наряде, ч;

$l_{\text{ег}}$ – длина ездки с грузом, $l_{\text{ег}} = 380$ км;

β – коэффициент использования пробега, $\beta = 0,45$;

v_T – расчетная норма пробега автомобиля при подаче заказчику, которая принимается в соответствии с Приложением 1 [17], км/ч;

$t_{\text{п-р}}$ – время простоя автомобиля под погрузкой-разгрузкой за одну ездку, ч.

Время в наряде

$$T_n = T_{\text{см}} - t_{\text{п-з}} - t_{\text{п}}, \quad (80)$$

где $T_{\text{см}}$ – продолжительность рабочего дня (смены) водителя, $T_{\text{см}} = 8,0$ ч;

$t_{\text{п-з}}$ – подготовительно-заключительное время (с учетом времени пред-рейсового медицинского осмотра), в соответствии с п. 9 [16]

$t_{\text{п-з}} = 0,417$ ч;

$t_{\text{п}}$ – время на подачу подвижного состава заказчику

$$t_{\text{п}} = \frac{L_{\text{п}}}{v_T}; \quad (81)$$

$L_{\text{п}}$ – расстояние подачи (нулевой пробег), км;

$$t_{\text{п}} = \frac{10}{40} = 0,25 \text{ ч}; \quad T_n = 8 - 0,417 - 0,25 = 7,333 \text{ ч.}$$

Время простоя автомобиля под погрузкой и разгрузкой за одну ездку

$$t_{п-р} = \frac{q\gamma N_{гр}}{60}, \quad (82)$$

где q – грузоподъемность автомобиля (автомобиля с прицепом), т;
 γ – коэффициент использования грузоподъемности автомобиля в соответствии с классом перевозимого груза, при перевозке щебня $\gamma = 1,0$;
 $N_{гр}$ – норма времени погрузки и разгрузки одной тонны груза, в соответствии с [18] $N_{гр} = 0,66$ мин;

$$t_{п-р} = \frac{20,1 \cdot 1,0 \cdot 0,66}{60} = 0,22 \text{ ч}; \quad n_e = \frac{7,333}{380 : (0,45 \cdot 60) + 0,22} = 0,51 \text{ ездки},$$

- пробег автомобиля с грузом за смену

$$L_{гр} = n_e l_{ег}; \quad (83)$$

$$L_{гр} = 0,51 \cdot 380 = 193,8 \text{ км},$$

- общий пробег автомобиля за смену

$$L_{общ} = \frac{L_{гр}}{b} + L_{п}; \quad (84)$$

$$L_{общ} = \frac{193,8}{0,45} + 10 = 440,7 \text{ км},$$

- объем перевозок грузов автомобилем за смену

$$Q = n_e q \gamma; \quad (85)$$

$$Q = 0,51 \cdot 20,1 \cdot 1 = 10,25 \text{ т},$$

- объем транспортной работы (грузооборот) за смену

$$P = Q l_{ег}; \quad (86)$$

$$P = 10,25 \cdot 380 = 3895 \text{ т} \cdot \text{км}.$$

Расчет эксплуатационных затрат на перевозку по статьям:

- норма времени на 1 т·км

$$H_{вр} = \frac{60}{v_T q \beta}; \quad (87)$$

$$H_{вр} = \frac{60}{60 \cdot 20,1 \cdot 0,45} = 0,111 \text{ ч},$$

- часовая тарифная ставка водителя

$$T_{\text{ч}}^{\text{в}} = \frac{T_{\text{к}} T^1}{M_{\text{ф}}}, \quad (88)$$

где $T_{\text{к}}$ – кратный размер тарифной ставки 1-го разряда водителя грузового автомобиля в зависимости от грузоподъемности автомобиля, принимается в соответствии с локальными нормативными правовыми актами;

T^1 – тарифная ставка 1-го разряда, действующая в организации, руб.;

$M_{\text{ф}}$ – расчетная среднемесячная норма рабочего времени, установленная на текущий календарный год для организаций с соответствующим режимом рабочего времени, ч;

$$T_{\text{ч}}^{\text{в}} = \frac{2,59 \cdot 500000}{167,3} = 7741 \text{ руб./ч};$$

- сдельные расценки в расчете на 1 т перевезенного груза и на 1 т·км перевозочной работы

$$CP_{\text{т}} = \frac{T_{\text{ч}}^{\text{в}} N_{\text{пр}}}{60}; \quad (89)$$

$$CP_{\text{т·км}} = \frac{T_{\text{ч}}^{\text{в}} H_{\text{вп}}}{60}, \quad (90)$$

$$CP_{\text{т}} = \frac{7739 \cdot 0,66}{60} = 85,1 \text{ руб./т}; \quad CP_{\text{т·км}} = \frac{7739 \cdot 0,11}{60} = 14,2 \text{ руб./т};$$

- общая сумма заработной платы водителей при сдельной системе оплаты труда

$$ЗД_{\text{сд}} = CP_{\text{т}} k_{\text{ЕТС}} Q + CP_{\text{т·км}} k_{\text{ЕТС}} P, \quad (91)$$

где $k_{\text{ЕТС}}$ – коэффициент повышения тарифной ставки (оклада), а также сдельной расценки, размер и условия установления которого предусматриваются в локальном нормативном правовом акте и (или) трудовом договоре (контракте), $k_{\text{ЕТС}} = 1,1$;

$$ЗД_{\text{сд}} = 85,1 \cdot 1,1 \cdot 10,25 + 14,3 \cdot 1,1 \cdot 3895,0 = 62228 \text{ руб.};$$

- заработная плата за подготовительно-заключительное время, за подачу подвижного состава заказчику и доплата с учетом коэффициента повышения тарифной ставки в качестве дополнительной меры стимулирования труда в размере, предусмотренном контрактом, заключенным с работником, определяются соответственно по формулам

$$ЗП_{п-3} = T_q^B k_{\text{ЕТС}} t_{п-3}, \quad (92)$$

$$ЗП_{п} = T_q^B k_{\text{ЕТС}} t_{п}, \quad (93)$$

$$ЗП_{\text{доп}} = T_q^B k_{\text{к}} T_{\text{см}}, \quad (94)$$

где $k_{\text{к}}$ – коэффициент повышения тарифной ставки в качестве дополнительной меры стимулирования труда в размере, предусмотренном контрактом;

$$ЗП_{п-3} = 7741 \cdot 1,1 \cdot 0,417 = 3551 \text{ руб.}; \quad ЗП_{п} = 7741 \cdot 1,1 \cdot 0,25 = 2129 \text{ руб.};$$

$$ЗП_{\text{доп}} = 7741 \cdot 0,2 \cdot 8 = 12386 \text{ руб.};$$

- общая сумма заработной платы водителей при сдельной системе оплаты труда

$$ЗП_{\text{в}} = (ЗП_{\text{сд}} + ЗП_{\text{пв}} + ЗП_{п} + ЗП_{\text{к}}) k_{\text{зп}}, \quad (95)$$

где $k_{\text{зп}}$ – коэффициент, учитывающий выплаты стимулирующего и компенсирующего характера, иные выплаты, предусмотренные коллективными договорами, положениями об оплате труда, трудовыми договорами (контрактами), иными локальными нормативными правовыми актами в соответствии с законодательством, резерв на оплату отпусков, компенсацию за неиспользованный отпуск и другие выплаты из заработной платы, относимые в установленном порядке на себестоимость перевозок, принимается равным 1,95;

$$ЗП_{\text{в}} = (62228 + 3551 + 2129 + 12386) \cdot 1,95 = 156573 \text{ руб.};$$

- заработная плата ремонтных и вспомогательных рабочих

$$ЗП_{\text{р}} = N_{\text{зп}} \frac{T^1}{M_{\text{ф}}} \frac{L_{\text{общ}}}{1000} k_{\text{т}}, \quad (96)$$

где $N_{\text{зп}}$ – норма затрат на заработную плату ремонтных и вспомогательных рабочих на 1000 км пробега, $N_{\text{зп}} = 127,4 \text{ руб./1000 км}$ [19];

$k_{\text{т}}$ – коэффициент корректировки норм затрат в зависимости от типа подвижного состава, $k_{\text{т}} = 1,08$;

$$ЗП_{\text{р}} = 127,4 \cdot \frac{500000}{167,3} \cdot \frac{440,7}{1000} \cdot 1,08 = 181222 \text{ руб.};$$

- заработная плата руководителей, специалистов и служащих

$$ЗП_{\text{с}} = ЗП_{\text{в}} k_{\text{с}}, \quad (97)$$

где k_c – коэффициент заработной платы руководителей, специалистов и служащих, приходящийся на 1 руб. заработной платы водителей, принимается $k_c = 0,7$;

$$ЗП_c = 156573 \cdot 0,7 = 109601 \text{ руб.};$$

- заработная плата персонала по организации и осуществлению перевозок за одну смену работы

$$ЗП = ЗП_в + ЗП_р + ЗП_c, \quad (98)$$

$$ЗП = 156573 + 181222 + 109601 = 447396 \text{ руб.};$$

- налоги и отчисления от средств на оплату труда

$$О_{cc} = ЗП \frac{x}{100}, \quad (99)$$

где x – сумма нормативов налогов и отчислений от средств на оплату труда, %;

$$О_{cc} = 447396 + \frac{34,7}{100} = 155246 \text{ руб.};$$

- затраты на автомобильное топливо определяются исходя из расхода топлива в зависимости от пробега, выполненной транспортной работы и стоимости:

$$S_T = R_T \Pi_T, \quad (100)$$

где R_T – расход топлива на плановое задание, л;

Π_T – стоимость 1 л автомобильного топлива без учета налога на добавленную стоимость, уплачиваемого при его приобретении,
 $\Pi_T = 8167 \text{ руб.};$

$$S_T = 112,31 \cdot 8167 = 917236 \text{ руб.}$$

Расход топлива на осуществление перевозок грузов без работы специального оборудования:

$$R_T = \left(\frac{N_{л}}{100} L_{общ} k_k + \frac{P - q\beta L_{общ}}{100} N_{p,0,5} + N_{cr} n_c \right) k_T, \quad (101)$$

где $N_{л}$ – норма расхода топлива на 100 км пробега автомобиля, л/100 км;

k_k – коэффициент корректировки линейных норм расхода топлива,
 $k_k = 0,85$ [20];

$N_{p,0,5}$ – дополнительный расход (или экономия) топлива на каждые 100 т·км перевыполненной (или невыполненной) транспортной работы по отношению к транспортной работе, выполняемой при коэффициенте

динамического использования грузоподъемности 0,5, принимается
 $N_{p,0,5} = 1,3 \text{ л/100 т·км}$;

N_{er} – норма расхода топлива на езду с грузом, л;

k_r – коэффициент, учитывающий внутригаражный расход топлива, принимается $k_r = 1,005$;

$$R_r = \left(\frac{30,0}{100} \cdot 440,7 \cdot 0,85 + \frac{3918,2 - 20,1 \cdot 0,45 \cdot 440,7}{100} \cdot 1,3 + 0,5 \cdot 0,51 \right) \cdot 1,005 = \\ = 112,31 \text{ л};$$

- затраты на смазочные и другие эксплуатационные материалы

$$S_{cm} = S_r \frac{N_{cm}}{100}, \quad (102)$$

где N_{cm} – норма расхода смазочных и других эксплуатационных материалов на 1 руб. затрат на топливо, $N_{cm} = 4,44 \%$;

$$S_{cm} = 917236 \cdot \frac{4,44}{100} = 40725 \text{ руб.};$$

- затраты на ремонт и восстановление автомобильных шин

$$S_{ш} = \Pi_{ш} n_{ш} \frac{N_{ш}}{100} \frac{L_{ш}}{1000}, \quad (103)$$

где $\Pi_{ш}$ – цена одного комплекта шины, принятая в соответствии с учетной политикой организации без учета налога на добавленную стоимость, руб.;

$n_{ш}$ – количество шин, установленных на автомобиле (прицепе, полуприцепе), ед.;

$N_{ш}$ – норма износа на 1000 км пробега к стоимости шины, % [21];

$$N_{ш} = \frac{1000}{L_{ш} k_{ш}} \cdot 100, \quad (104)$$

где $L_{ш}$ – эксплуатационная норма пробега одной шины до списания, км;

$k_{ш}$ – коэффициент, учитывающий условия эксплуатации подвижного состава, принимается $k_{ш} = 0,9$;

$$N_{ш} = \frac{1000}{50000 \cdot 0,9} \cdot 100 = 2,222 \%;$$

$$S_{ш} = 2464000 \cdot 10 \cdot \frac{2,222}{100} \cdot \frac{440,7}{1000} = 241283,6 = 241284 \text{ руб.};$$

- материальные затраты на техническое обслуживание и ремонт подвижного состава

$$S_p = MЗ \frac{L_{\text{общ}}}{1000} \frac{I_{\text{мп}}}{100} k_T, \quad (105)$$

где $MЗ$ – норма затрат на запасные части, узлы, агрегаты и материалы для технического обслуживания и ремонта подвижного состава, приходящаяся на 1000 км пробега автомобиля,

$MЗ = 254058$ руб. /1000 км;

$I_{\text{мп}}$ – индекс цен производителей промышленной продукции производственно-технического назначения, $I_{\text{мп}} = 124,853$ %;

$$S_p = 254058 \cdot \frac{440,7}{1000} \cdot \frac{124,853}{100} \cdot 1,08 = 150973 \text{ руб.};$$

- затраты на амортизацию основных средств

$$S_{AO} = S_a + S_{\text{пф}}, \quad (106)$$

где S_a – амортизационные отчисления на полное восстановление подвижного состава, руб.;

$S_{\text{пф}}$ – амортизация прочих основных средств, приходящаяся на данный вид перевозок, руб.

$$S_{AO} = 324480 + 24336 = 348816 \text{ руб.}$$

Амортизационные отчисления на полное восстановление подвижного состава в соответствии с [22]

$$S_a = S_a^ч T_{\text{см}}, \quad (107)$$

где $S_a^ч$ – норматив отчислений на полное восстановление подвижного состава на 1 автомобиле-час, руб.;

$$S_a^ч = \frac{\Pi_a}{12 L_n M_{\text{ф}}^r} \cdot 1000, \quad (108)$$

где Π_a – амортизационная стоимость автомобиля без налога на добавленную стоимость, руб.;

L_n – срок полезного использования автомобиля, лет;

$M_{\text{ф}}^r$ – расчетная норма рабочего времени, установленная на текущий календарный год для организаций с соответствующим режимом рабочего времени, ч;

$$S_a^ч = \frac{570004}{12 \cdot 7,0 \cdot 167,3} \cdot 1000 = 40560 \text{ руб.}; \quad S_a = 40560 \cdot 8,0 = 324480 \text{ руб.};$$

- расходы на амортизацию прочих основных средств, приходящаяся на данный вид перевозок,

$$S_{пф} = S_a \cdot k_{пс}, \quad (109)$$

где $k_{пс}$ – коэффициент амортизации прочих основных средств, приходящийся на 1 руб. амортизации на полное восстановление подвижного состава, принимается $k_{пс} = 0,075$;

$$S_{пф} = 324480 \cdot 0,075 = 24336 \text{ руб.};$$

- общехозяйственные (накладные) расходы без учета налогов, включаемых в себестоимость прямым счетом, и фонда заработной платы руководителей, специалистов и служащих при условии, что он включен в общий фонд оплаты труда,

$$S_{н} = 3П_{в} \cdot k_{нв}, \quad (110)$$

где $k_{нв}$ – коэффициент, учитывающий общехозяйственные расходы, приходящиеся на 1 руб. заработной платы водителей, принимается $k_{нв} = 0,65$;

$$S_{н} = 156573 \cdot 0,65 = 101772 \text{ руб.};$$

- себестоимость работы 1-го автомобиля в течение смены определяется как сумма затрат по статьям с включением налогов и платежей:

$$S = 3П + O_{сс} + S_{т} + S_{см} + S_{ш} + S_{р} + S_{АО} + S_{н}, \quad (111)$$

$$S = 447396 + 155246 + 917236 + 40725 + 241284 + 150975 + 348816 + 101772 = 2403448 \text{ руб.};$$

- плановая прибыль от перевозок грузов

$$\Pi = S \cdot \frac{R}{100}, \quad (112)$$

где R – рентабельность автомобильных грузовых перевозок, принимается $R = 30 \%$;

$$\Pi = 2403448 \cdot \frac{30}{100} = 721034 \text{ руб.};$$

- стоимость перевозки грузов определяется как сумма себестоимости прибыли и налогов, сборов и отчислений, уплачиваемых из выручки:

$$D_{\text{п}} = S + \Pi + N_{\text{в}}, \quad (113)$$

$$D_{\text{п}} = 2403448 + 721034 = 3124482 \text{ руб.};$$

- тариф на перевозку 1 т груза

$$S_{\text{т}} = \frac{S}{Q}, \quad (114)$$

$$S_{\text{т}} = \frac{3124482}{10,25} = 304828 \text{ руб./т.}$$

Таким образом, расходы грузополучателя на перевозку общего объема груза автотранспортом составляют

$$S_{\text{общ}} = 30000 \cdot 304828 = 9144840000 \text{ руб.}$$

Пример 17. Для условий примера 16 определить годовые расходы грузополучателя на перевозку щебня в объеме 30000 т в год от предприятия-производителя до собственных производственных мощностей автомобильным и железнодорожным транспортом при существующей транспортной инфраструктуре: от предприятия-производителя до станции А – автотранспортом, от станции А до станции В, где имеются подъездные пути предприятия-потребителя, – железнодорожным транспортом (см. рисунок 9).

Р е ш е н и е. Эксплуатационные расходы на автомобильные перевозки грузов определяются в соответствии с Методическими рекомендациями по расчету тарифов на автомобильные перевозки грузов и пассажиров в Республике Беларусь, утвержденными приказом Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь.

Расчет показателей транспортной работы за смену при перевозке груза автомобильным транспортом при существующей инфраструктуре:

- количество ездов с грузом за смену определяется по формуле (79), время в наряде – по формуле (80), время на подачу подвижного состава заказчику – по формуле (81)

$$t_{\text{п}} = \frac{10}{40} = 0,25 \text{ ч}; \quad T_{\text{п}} = 8,0 - 0,417 - 0,25 = 7,33 \text{ ч.}$$

Время простоя автомобиля под погрузкой и разгрузкой за одну езду находится по формуле (82):

$$t_{\text{п-р}} = \frac{20,1 \cdot 1,0 \cdot 0,66}{60} = 0,22 \text{ ч}; \quad n_{\text{е}} = \frac{7,33}{\frac{120}{0,45 \cdot 60} + 0,22} = 1,57 \text{ ездки};$$

- пробег автомобиля с грузом за смену определяется по формуле (83):

$$l_{\text{пр}} = 1,57 \cdot 120 = 188,4 \text{ км};$$

- общий пробег автомобиля за смену рассчитывается по формуле (84):

$$L_{\text{общ}} = \frac{188,4}{0,45} + 10 = 428,7 \text{ км};$$

- объем перевозок грузов автомобилем за смену рассчитывается по формуле (85):

$$Q = 1,57 \cdot 20,1 \cdot 1,0 = 31,6 \text{ т};$$

- объем транспортной работы (грузооборот) за смену определяется по формуле (86):

$$P = 31,6 \cdot 120,0 = 3792,0 \text{ т} \cdot \text{км}.$$

Расчет эксплуатационных затрат на перевозку по статьям:

- норма времени на 1 т·км определяется по формуле (87):

$$H_{\text{вр}} = \frac{60}{60 \cdot 20,1 \cdot 0,45} = 0,11 \text{ ч};$$

- часовая тарифная ставка водителя находится по формуле (88):

$$T_{\text{ч}}^{\text{в}} = \frac{2,59 \cdot 500000}{167,3} = 7741 \text{ руб./ч};$$

- сдельные расценки в расчете на 1 т перевезенного груза и на 1 т·км перевозочной работы определяются соответственно по формулам (89) и (90):

$$CP_{\text{т}} = \frac{7741 \cdot 0,66}{60} = 85,2 \text{ руб./т}; \quad CP_{\text{т} \cdot \text{км}} = \frac{7741 \cdot 0,11}{60} = 14,2 \text{ руб./т} \cdot \text{км};$$

- общая сумма заработной платы водителей при сдельной системе оплаты труда вычисляется по формуле (91):

$$ЗП_{\text{сд}} = 85,1 \cdot 1,1 \cdot 31,6 + 14,3 \cdot 1,1 \cdot 3792,0 = 62606 \text{ руб.};$$

- заработная плата за подготовительно-заключительное время, за подачу подвижного состава заказчику и доплата с учетом коэффициента повышения тарифной ставки в качестве дополнительной меры стимулирования труда в размере, предусмотренном контрактом, заключенным с работником, определяются соответственно по формулам (92) – (94):

$$ЗП_{\text{п-з}} = 7741 \cdot 1,1 \cdot 0,417 = 3551 \text{ руб.};$$

$$ЗП_{\text{п}} = 7741 \cdot 1,1 \cdot 0,25 = 2129 \text{ руб.};$$

$$ЗП_k = 7741 \cdot 0,2 \cdot 8,0 = 12386 \text{ руб.};$$

- общая сумма заработной платы водителей при сдельной системе оплаты труда рассчитывается по формуле (95):

$$ЗП_b = (62606 + 3551 + 2129 + 12386) \cdot 1,95 = 157310 \text{ руб.};$$

- заработная плата ремонтных и вспомогательных рабочих устанавливается по формуле (96):

$$ЗП_p = 127,4 \cdot \frac{500000}{167,3} \cdot \frac{428,7}{1000} \cdot 1,08 = 176287 \text{ руб.};$$

- заработная плата руководителей, специалистов и служащих определяется по формуле (97):

$$ЗП_c = 157310 \cdot 0,7 = 110117 \text{ руб.};$$

- заработная плата персонала по организации и осуществлению перевозок за одну смену работы рассчитывается по формуле (98):

$$ЗП = 157310 + 176287 + 110117 = 443714 \text{ руб.};$$

- налоги и отчисления от средств на оплату труда определяются по формуле (99):

$$О_{cc} = 443714 \cdot \frac{37,4}{100} = 153969 \text{ руб.};$$

- затраты на автомобильное топливо определяются исходя из расхода топлива в зависимости от пробега, выполненной транспортной работы и стоимости топлива по формуле (100), расход топлива на осуществление перевозок грузов без работы специального оборудования – по формуле (101):

$$R_T = \left(\frac{30}{100} \cdot 428,7 \cdot 0,85 + \frac{3791,2 - 20,1 \cdot 0,45 \cdot 428,7}{100} \cdot 1,3 + 0,5 \cdot 1,57 \right) \cdot 1,005 = 109,53 \text{ л};$$

$$S_T = 109,53 \cdot 8167 = 894532 \text{ руб.};$$

- затраты на смазочные и другие эксплуатационные материалы вычисляются по формуле (102):

$$S_{cm} = 894532 \cdot \frac{4,44}{100} = 39717 \text{ руб.};$$

- затраты на ремонт и восстановление автомобильных шин определяются по формуле (103), норма износа на 1000 км пробега к стоимости шины – по формуле (104):

$$N_{\text{ш}} = \frac{1000}{50000 \cdot 0,9} \cdot 100 = 2,22 \ %;$$

$$S_{\text{ш}} = 2464000 \cdot 10 \cdot \frac{2,222}{100} \cdot \frac{440,7}{1000} = 241283,6 = 241284 \ \text{руб.};$$

- материальные затраты на техническое обслуживание и ремонт подвижного состава рассчитывается по формуле (105):

$$S_{\text{р}} = 254058 \cdot \frac{428,7}{1000} \cdot \frac{124,853}{100} \cdot 1,08 = 146862 \ \text{руб.};$$

- затраты на амортизацию основных средств определяются по формуле (106), амортизационные отчисления на полное восстановление подвижного состава – по формуле (107), норматив отчислений на полное восстановление подвижного состава на 1 автомобиле-час – по формуле (108):

$$S_{\text{а}}^{\text{ч}} = \frac{570004}{12 \cdot 7,0 \cdot 167,3} \cdot 1000 = 40560 \ \text{руб.};$$

$$S_{\text{а}} = 40560 \cdot 8,0 = 324480 \ \text{руб.}$$

Амортизация прочих основных средств, приходящаяся на данный вид перевозок, определяется по формуле (109):

$$S_{\text{пф}} = 324480 \cdot 0,075 = 24336 \ \text{руб.};$$

$$S_{\text{АО}} = 324480 + 24336 = 348816 \ \text{руб.};$$

- общехозяйственные (накладные) расходы без учета налогов, включаемых в себестоимость прямым счетом, и фонда заработной платы руководителей, специалистов и служащих при условии, что он включен в общий фонд оплаты труда, находится по формуле (110):

$$S_{\text{н}} = 157310 \cdot 0,65 = 102252 \ \text{руб.};$$

- себестоимость работы 1-го автомобиля в течение смены рассчитывается как сумма затрат по статьям с включением налогов и платежей по формуле (111):

$$S = 447396 + 153969 + 894532 + 39717 + 234714 + 146882 + 348816 + 102252 = 2364576 \ \text{руб.};$$

- плановая прибыль от перевозок грузов определяется по формуле (112):

$$\Pi = 2364567 \cdot \frac{30}{100} = 709373 \ \text{руб.};$$

- стоимость перевозки грузов определяется как сумма себестоимости прибыли и налогов, сборов и отчислений, уплачиваемых из выручки, по формуле (113):

$$D_{\text{п}} = 2364576 + 709373 = 3073949 \text{ руб.};$$

- тариф на перевозку 1 т груза определяется по формуле (114):

$$S_{\text{т}} = \frac{3073949}{31,6} = 97277 \text{ руб./т.}$$

Таким образом, расходы грузополучателя на перевозку общего объема груза от предприятия-производителя до станции А автомобильным транспортом

$$S_{\text{общ}} = 30000 \cdot 97277 = 2,92 \text{ млрд руб.}$$

Тариф на перегрузку 1 т груза из автомобиля в вагон принимаем 15 тыс. руб. Следовательно, затраты на перегрузку груза из автомобилей в вагоны на станциях

$$S_{\text{перер}} = 30000 \cdot 15000 = 0,45 \text{ млрд руб.}$$

Затраты грузополучателя на перевозку груза железнодорожным транспортом определяются в соответствии с тарифами на перевозку грузов, действующими на Белорусской железной дороге, и тарифным расстоянием перевозки по вариантам расчета.

Тариф на перевозку 1 т щебня на расстояние 350 км составляет 41885 руб. [23], следовательно, общие годовые затраты грузополучателя на перевозку груза железнодорожным транспортом при существующей инфраструктуре

$$S_{\text{жд}} = 30000 \cdot 41885 = 1,26 \text{ млрд руб.}$$

Таким образом, общие затраты грузополучателя на перевозку щебня с учетом его перегрузки из автомобилей в вагоны

$$S_{\text{общ}} = 2,92 + 0,45 + 1,26 = 4,63 \text{ млрд руб.}$$

Пример 18. На основании исходных данных примера 16 определить общие затраты грузополучателя на перевозку груза от грузоотправителя до собственных производственных мощностей с использованием только железнодорожного транспорта.

При строительстве и вводе в эксплуатацию нового железнодорожного участка перевозка груза будет осуществляться от грузоотправителя до новой станции Н – автомобильным транспортом, далее от станции Н до станции В – железнодорожным.

Затраты грузоотправителя на перевозку груза автомобильным транспор-

том при строительстве нового железнодорожного участка определяются аналогично примеру 15 и составят 1,01 млрд руб.

Тариф на перевозку 1 т щебня на расстояние 395 км составляет 48195 руб. [23], следовательно, общие годовые затраты грузополучателя на перевозку груза железнодорожным транспортом при строительстве нового участка соответственно

$$S_{\text{жд}} = 30000 \cdot 48195 = 1,45 \text{ млрд руб.}$$

Затраты на перегрузку груза из автомобилей в вагоны на станциях составят

$$S_{\text{перер}} = 30000 \cdot 15000 = 0,45 \text{ млрд руб.}$$

Общие затраты грузополучателя при перевозке щебня с учетом перегрузки груза из автомобилей в вагоны составят

$$S_{\text{общ}} = 1,01 + 0,45 + 1,45 = 2,91 \text{ млрд руб.}$$

Пример 19. Для условий примера 18 определить годовой экономический эффект железной дороги от перевозки груза по новому железнодорожному участку, а также эффективность капитальных вложений в его строительство при существующих тарифах на перевозку грузов железнодорожным транспортом и при увеличении тарифов в 2 раза.

Исходные данные:

- тип и характеристика используемого железнодорожного подвижного состава – полувагоны грузоподъемностью 60 т, масса тары – 22 т;
- коэффициент использования грузоподъемности вагона при перевозке данного вида груза – 1,0;
- средняя участковая скорость движения грузового поезда по маршруту перевозки – 40,0 км/ч;
- общее время простоя на технических станциях, расположенных на маршруте перевозки груза, приходящееся на 1 вагон, – 16,4 ч;
- общий простой вагона на станции отправления и станции назначения, а также под погрузочно-выгрузочными операциями – 32,0 ч;
- средний состав грузового поезда на участке – 60 вагонов;
- отношение вспомогательного пробега локомотивов к пробегу в голове поезда – 0,150;
- вид тяги, используемый на железнодорожном участке, – тепловозная;
- масса эксплуатируемых тепловозов – 276 т;
- норма расхода топлива тепловозами на участке – 28,61 кг/10⁴ т·км брутто;
- удельные затраты локомотиво-часов маневрового локомотива, приходящиеся на 1 грузовой вагон на станции отправления и станции назначения, – 0,05 лок·ч;

- доля условно-переменных затрат в общей величине затрат на железнодорожном транспорте – 47,3 %;
- продолжительность выполнения проектных и строительно-монтажных работ – 5 лет;
- капитальные затраты в строительство нового железнодорожного участка – 1,5 трлн руб.

Р е ш е н и е. Ежегодный эффект, ожидаемый от перевозки груза при строительстве нового железнодорожного участка по сравнению с перевозкой по существующей транспортной сети, определяется по формуле

$$\Delta_{\text{жд}} = (\sum S_{\text{жд}2} - \sum E_{\text{жд}2}) - (\sum S_{\text{жд}1} - \sum E_{\text{жд}1}), \quad (115)$$

где $\sum S_{\text{жд}1}$, $\sum E_{\text{жд}1}$ – суммарная выручка железной дороги от перевозки груза соответственно по существующей и проектной железнодорожной сети, руб. По результатам расчета, представленного в примерах 16 и 17, данные показатели при существующих тарифах на перевозку по варианту расчета составляют 1 256,5 и 1,45 млрд руб., следовательно, при увеличении тарифов в 2 раза они составят 2 513,0 и 2,89 млрд. руб.;

$\sum S_{\text{жд}2}$, $\sum E_{\text{жд}2}$ – суммарные эксплуатационные затраты дороги на перевозку груза соответственно по существующей и проектной железнодорожной сети, руб.

Эксплуатационные расходы на грузовые перевозки железнодорожным транспортном состоят из условно-переменных (зависящих от объемов перевозки) и условно-постоянных расходов. Уровень условно-постоянных расходов определяется методом расходных ставок [24], при этом структура затрат формируется на основании следующих калькуляционных измерителей:

- вагоно-километры;
- вагоно-часы;
- локомотиво-километры (электровозо-километры, тепловозо-километры);
- локомотиво-часы (электровозо-часы, тепловозо-часы);
- бригадо-часы локомотивных бригад (электровозов, тепловозов);
- тонно-километры брутто вагонов и локомотивов;
- топливно-энергетические ресурсы (ТЭР) на тягу поездов (электроэнергия, дизельное топливо);
- отправленные вагоны;
- локомотиво-часы маневровых локомотивов.

Величины расходных ставок по итогам работы Белорусской железной дороги за 9 месяцев 2013 года представлены в таблице 31.

Т а б л и ц а 31 – Расходные ставки на Белорусской железной дороге за 9 месяцев 2013 года

Измеритель	Единица измерения	Величина
Вагоно-километр грузового вагона	руб./ваг.·км	196,5
Вагоно-час грузового вагона	руб./ваг. ч	3827,7
Электровозо-километр	руб./электровозо·км	6715,7
Электровозо-час	руб./электровозо·ч	18440,5
Тепловозо-километр	руб./тепловозо·км	9617,8
Тепловозо-час	руб./тепловозо·ч	79723,9
Бригадо-час локомотивной бригады электро- воза	руб./бригадо·ч	165422,5
Бригадо-час локомотивной бригады тепловоза	руб./бригадо·ч	183912,5
Тонно-километр брутто	руб./т·км	3,0
1 кВт·ч электроэнергии ¹⁾	руб./кВт·ч	1282,4
1 кг условного топлива	руб./кг	8377,3
Отправленный вагон	руб./ваг	214648,2
Локомотиво-час маневрового локомотива	руб./лок·ч	292138,2
¹⁾ Расходные ставки на стоимость ТЭР указаны без НДС		

$$E_{\text{тер}} = E_{\text{вагкм}} + E_{\text{вагч}} + E_{\text{локкм}} + E_{\text{локч}} + E_{\text{брч}} + E_{\text{ткм}} + E_{\text{ТЭР}} + E_{\text{отпр}} + E_{\text{ман}} \quad (116)$$

Расходы, связанные с вагоно-километрами пробега грузовых вагонов, в общем виде определяются по формуле

$$E_{\text{ваг·км}} = \sum nse_{\text{ваг·км}}, \quad (117)$$

где $\sum ns$ – вагоно-километры пробега грузовых вагонов;

$e_{\text{ваг·км}}$ – расходная ставка на 1 вагоно-километр пробега грузового вагона, руб.

Общее количество погруженных (отправленных) грузоотправителем вагонов

$$\sum n = \frac{Q_{\text{гр}}}{q_{\text{ваг}} k_{\text{гр}}}; \quad (118)$$

где $Q_{\text{гр}}$ – общая масса перевозимого груза, т;

$q_{\text{ваг}}$ – грузоподъемность грузового вагона, т;

$k_{\text{гр}}$ – коэффициент использования грузоподъемности вагона при перевозке заданного груза;

$$\sum n = \frac{30000}{60 \cdot 1,0} = 500 \text{ ваг.}$$

Расстояние перевозки груза железнодорожным транспортом при существующей инфраструктуре согласно схеме транспортной сети и маршруту перевозки составляет 350 км, следовательно,

$$E_{\text{ваг-км}} = 500 \cdot 350 \cdot 196,5 = 34\,387\,500 \text{ руб.}$$

Расходы, связанные с вагоно-часами работы грузовых вагонов,

$$E_{\text{ваг-ч}} = (\sum nt_n + \sum nt_{\text{ст}}) \cdot e_{\text{ваг-ч}}, \quad (119)$$

где $\sum nt_n$, $\sum nt_{\text{ст}}$, – вагоно-часы нахождения грузовых вагонов соответственно в пути следования и на технических станциях;

$e_{\text{ваг-ч}}$ – расходная ставка на 1 вагоно-час грузового вагона, руб.;

$$\sum nt_n = n \sum \frac{l_i}{v_{\text{уч}i}}, \quad (120)$$

где l_i – длина i -го участка, входящего в маршрут перевозки груза, км;

$v_{\text{уч}i}$ – участковая скорость движения грузовых поездов по i -му участку, км/ч;

$$\sum nt_{\text{ст}} = nt_{\text{погр}} + nt_{\text{тех}} + nt_{\text{выгр}}, \quad (121)$$

где $nt_{\text{погр}}$, $nt_{\text{выгр}}$ – вагоно-часы простоя вагонов соответственно на станциях погрузки и выгрузки, включая простой под погрузочно-выгрузочными операциями;

$nt_{\text{тех}}$ – вагоно-часы простоя вагонов на технических станциях, расположенных по маршруту перевозки груза;

$$\sum nt_n = 500 \cdot \frac{110+100+95+45}{40} = 4375 \text{ ваг} \cdot \text{ч};$$

$$\sum nt_{\text{ст}} = 500 \cdot (32,0+16,4) = 24200 \text{ ваг} \cdot \text{ч};$$

$$E_{\text{ваг-ч}} = (4375 + 24200) \cdot 3827,7 = 109\,376\,528 \text{ руб.}$$

Расходы, связанные с локомотиво-километрами пробега поездных локомотивов,

$$E_{\text{лок-км}} = \frac{\sum n}{\bar{n}} (1 + \beta_{\text{всп}}) l_n e_{\text{лок-км}}, \quad (122)$$

где \bar{n} – средний состав грузового поезда на участке, вагонов;

$\beta_{\text{всп}}$ – отношение вспомогательного пробега локомотивов к пробегу в голове поезда;

l_n – длина маршрута перевозки, км;

$e_{\text{лок-км}}$ – расходная ставка на 1 локомотиво-километр, руб.;

$$E_{\text{лок-км}} = \frac{500}{60} (1 + 0,15) \cdot 350 \cdot 9617,8 = 32\,259\,704 \text{ руб.}$$

Расходы, связанные с локомотиво-часами работы поездных локомотивов, определяются по формуле

$$E_{\text{лок}\cdot\text{ч}} = \frac{\sum n t_n}{\bar{n}} (1 + \beta_{\text{всп}}) e_{\text{лок}\cdot\text{ч}}, \quad (123)$$

где $e_{\text{лок}\cdot\text{ч}}$ – расходная ставка на 1 поездо-час, руб.;

$$E_{\text{л}\cdot\text{ч}} = \frac{4375}{60} (1 + 0,15) \cdot 79723,9 = 6\,685\,181 \text{ руб.}$$

Расходы на содержание локомотивных бригад

$$E_{\text{бр}\cdot\text{ч}} = 1,5 \frac{\sum n t_n}{\bar{n}} (1 + \beta_{\text{всп}}) e_{\text{бр}\cdot\text{ч}}, \quad (124)$$

где 1,5 – коэффициент, учитывающий дополнительное время работы локомотивных бригад, связанное с приемкой-сдачей локомотивов;

$e_{\text{бр}\cdot\text{ч}}$ – расходная ставка на 1 бригадо-час локомотивной бригады, руб.;

$$E_{\text{бр}\cdot\text{ч}} = 1,5 \cdot \frac{4375}{60} (1 + 0,15) \cdot 183912,5 = 23\,132\,744 \text{ руб.}$$

Расходы, связанные с тонно-километрами брутто выполненной работы, определяются по формуле

$$E_{\text{т}\cdot\text{км}} = (\sum n \cdot q_{\text{бр}} + P_{\text{л}} \frac{\sum n s}{\bar{n}} (1 + \beta_{\text{всп}})) I_n e_{\text{т}\cdot\text{км}}, \quad (125)$$

где $q_{\text{бр}}$ – масса брутто грузового вагона, т;

$P_{\text{л}}$ – масса локомотива, используемого для ведения грузовых поездов на участке, т;

$e_{\text{т}\cdot\text{км}}$ – расходная ставка на 1 тонно-километр брутто, руб.;

$$q_{\text{бр}} = \frac{Q_{\text{гр}}}{\sum n} + q_{\text{тар}}, \quad (126)$$

$$q_{\text{бр}} = \frac{30000}{500} + 22 = 82 \text{ т};$$

$$E_{\text{т}\cdot\text{км}} = (500 \cdot 82 + 276 \cdot \frac{500}{60} (1 + 0,15)) \cdot 350 \cdot 3 = 45\,827\,250 \text{ руб.}$$

Расходы, связанные с потреблением ТЭР на тягу поездов,

$$E_{\text{ТЭР}} = (\sum n s \cdot q_{\text{бр}} + P_{\text{л}} \frac{\sum n s}{\bar{n}} (1 + \beta_{\text{всп}})) I_n \alpha_{\text{т(э)}} e_{\text{т}} \cdot 10^{-4}, \quad (127)$$

где $\alpha_{т(э)}$ – норма расхода дизельного топлива (электроэнергии) на тягу поездов, кг/10 000 т·км брутто (кВт·ч/10 000 т·км брутто);
 e_t – стоимость 1 кг дизельного топлива (1 кВт·ч электроэнергии), руб.;

$$E_{ТЭР} = (500 \cdot 82 + 276 \cdot \frac{500}{60} \cdot (1 + 0,15)) \cdot 350 \cdot 28,61 \cdot 8377,3 \cdot 10^{-4} = 366\,120\,855 \text{ руб.}$$

Расходы на операции, связанные с отправлением грузового вагона со станции,

$$E_{отпр} = \Sigma n e_{отпр}, \quad (128)$$

где $e_{отпр}$ – расходная ставка на 1 отправленный грузовой вагон, руб.;

$$E_{отпр} = 500 \cdot 214648,2 = 107\,324\,100 \text{ руб.}$$

Расходы на выполнение маневровой работы с грузовыми вагонами на технических станциях

$$E_{ман} = \Sigma Mt_{ман} \cdot e_{лок \cdot ч}^{ман}, \quad (129)$$

где $\Sigma Mt_{ман}$ – общие затраты локомотиво-часов маневровых локомотивов на выполнение маневровой работы с грузовыми вагонами на технических станциях;

$e_{лок \cdot ч}^{ман}$ – расходная ставка на 1 локомотиво-час маневрового локомотива;

$$\Sigma Mt_{ман} = 2 \Sigma n \cdot t_{ман}^{уд}, \quad (130)$$

где $t_{ман}^{уд}$ – удельные затраты локомотиво-часов маневрового локомотива f , приходящиеся на 1 грузовой вагон на станции отправления и станции назначения;

$$\Sigma Mt_{ман} = 2 \cdot 500 \cdot 0,05 = 50,0 \text{ лок} \cdot \text{ч};$$

$$E_{ман} = 50 \cdot 292138,2 = 14\,606\,910 \text{ руб.}$$

Таким образом, общая величина условно-переменных эксплуатационных затрат составляет

$$E_{пер} = 34\,387\,500 + 109\,376\,528 + 32\,259\,704 + 6\,685\,181 + 23\,132\,744 + 45\,827\,250 + 366\,120\,855 + 107\,324\,100 + 14\,606\,910 = 739\,720\,772 \text{ руб.}$$

Величина условно-постоянных затрат определяется по формуле

$$E_{пост} = E_{пер} \cdot \left(\frac{100}{\alpha_{пер}} - 1 \right), \quad (131)$$

где $\alpha_{\text{пер}}$ – доля условно-переменных затрат в общей величине эксплуатационных затрат дороги, %;

$$E_{\text{пост}} = 739720772 \cdot \left(\frac{100}{47,3} - 1 \right) = 824170924 \text{ руб.}$$

Следовательно, общие эксплуатационные затраты на перевозку груза железнодорожным транспортом от станции отправления до станции назначения при существующей инфраструктуре

$$E_{\text{общ}} = 739720772 + 824170924 = 1563891696 \text{ руб.}$$

Общие эксплуатационные затраты на перевозку груза при строительстве нового железнодорожного участка определяются аналогично и в соответствии с изменениями транспортной сети составят 1706641162 руб.

Таким образом, годовой эффект от перевозки груза по новому железнодорожному участку при существующих тарифах на перевозку составит

$$\mathcal{E}_{\text{жд}} = (1445,9 - 1706,6) - (1256,5 - 1563,9) = 46,7 \text{ млн руб.,}$$

а при тарифе, увеличенном в 2 раза, –

$$\mathcal{E}_{\text{жд}} = (2891,8 - 1706,6) - (2513 - 1563,9) = 236,1 \text{ млн руб.}$$

Таким образом, организация перевозки груза железнодорожным транспортом с использованием нового участка при существующих тарифах и при тарифах, увеличенных в 2 раза, является эффективной. В результате годовой эффект соответственно составит 46,7 и 236,1 млн руб., а удельный эффект в расчете на 1 т перевозимого груза – соответственно 1556,7 и 7870 млн руб.

В качестве показателя эффективности строительства нового железнодорожного участка используется простой срок окупаемости, который представляет собой период времени, по окончании которого чистый объем поступлений (доходов) перекрывает объем капитальных затрат (расходов) в реализацию проекта, и определяется для условий данного примера по формуле

$$T_{\text{гр}} = \frac{K_{\text{и}}}{\mathcal{E}_{\text{жд}}} + t_{\text{смп}}, \quad (132)$$

где $K_{\text{и}}$ – объем капитальных затрат в реализацию проекта, руб.;

$\mathcal{E}_{\text{жд}}$ – годовой экономический эффект от перевозочной деятельности, руб.;

$t_{\text{смп}}$ – продолжительность выполнения проектных и строительно-монтажных работ, лет.

При существующих тарифах на перевозку груза и при тарифах на перевозку, увеличенных в 2 раза, простой срок окупаемости значительно превышает средний срок службы нового участка

$$T_{\text{пр}} = \frac{1500000}{88,3} + 5 \gg 25 \text{ лет}, \quad T_{\text{пр}} = \frac{1500000}{236,1} + 5 \gg 25 \text{ лет.}$$

Следовательно, даже при увеличенных тарифах строительство нового железнодорожного участка для перевозки заданных годовых объемов грузов является не эффективным. Для появления окупаемости капитальных затрат в течение 25 лет объем ежегодно перевозимого груза должен вырасти до величины, которую можно определить по формуле

$$Q_{\text{гр}} = \frac{K_{\text{и}}}{(25 - t_{\text{смп}}) \varepsilon_{\text{жд}}}, \quad (133)$$

где $\varepsilon_{\text{жд}}$ – удельный экономический эффект от строительства железнодорожного участка, приходящийся на 1 т перевозимого груза, руб.

Таким образом, потребный объем груза при существующих тарифах

$$Q_{\text{гр}} = \frac{1500000}{(25 - 5) \cdot 1556,7} = 48,178 \text{ млн т/год};$$

при тарифах, увеличенных в 2 раза, –

$$Q_{\text{гр}} = \frac{1500000}{(25 - 5) \cdot 7870} = 9,53 \text{ млн т/год.}$$

Полученная величина потребных объемов перевозок грузов при существующих тарифах является практически недостижимой, что свидетельствует о неэффективности проекта. Однако, учитывая наличие в регионе потенциальных грузоотправителей и грузополучателей, эффективность строительства может быть достигнута за счет привлечения дополнительных клиентов, увеличения тарифов и объемов перевозок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 *Правдин, Н. В.* Взаимодействие различных видов транспорта / Н. В. Правдин, В. Я. Негрей, В. А. Подкопаев. – М. : Транспорт, 1989. – 208 с.
- 2 *Бучин, Е. Д.* Взаимодействие внутреннего водного транспорта с морским железнодорожным и автомобильным / Е. Д. Бучин. – М. : Транспорт, 1978. – 192 с.
- 3 *Васильев, Ф. Л.* Численные методы решения экстремальных задач / Ф. Л. Васильев. – М. : Наука, 1980. – 520 с.
- 4 *Вентцель, Е. С.* Исследование операций / Е. С. Вентцель. – М. : Советское радио, 1972. – 552 с.
- 5 Железнодорожные станции и узлы (задачи, примеры, расчеты) / под ред. Н. В. Правдина. – М. : Транспорт, 1984. – 296 с.

6 Основы взаимодействия железных дорог с другими видами транспорта / под ред. В. В. Повороженко. – М. : Транспорт, 1986. – 215 с.

7 **Правдин, Н. В.** Взаимодействие различных видов транспорта в узлах / Н. В. Правдин, В. Я. Негрей. – Мн. : Выш. шк., 1983. – 247 с.

8 **Правдин, Н. В.** Прогнозирование грузовых потоков / Н. В. Правдин, М. Л. Дыканюк, В. Я. Негрей. – М. : Транспорт, 1987. – 232 с.

9 **Резер, С. М.** Взаимодействие транспортных систем / С. М. Резер. – М. : Наука, 1985. – 246 с.

10 **Сиротский, В. Ф.** Эксплуатация портов / В. Ф. Сиротский, В. Н. Трифонов. – М. : Транспорт, 1984. – 280 с.

11 **Сологуб, Н. К.** Разработка плана-графика взаимодействия разных видов транспорта в узле. Ч. II / Н. К. Сологуб, А. А. Шаров, А. А. Абрамов. – М. : МИИТ, 1985. – 500 с.

12 **Сологуб, Н. К.** Единая транспортная сеть и взаимодействие различных видов транспорта. Ч. II / Н. К. Сологуб, А. А. Абрамов. – М. : МИИТ, 1985. – 500 с.

13 **Еловой, И. А.** Эффективность логистических транспортно-технологических систем (теория и методы расчетов). В 2 ч. Ч. I / И. А. Еловой. – Гомель : БелГУТ, 2000. – 290 с.

14 Организация контейнерных перевозок : учеб.-метод. пособие / И. А. Еловой [и др.]; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2008. – 67 с.

15. Методические рекомендации по расчету тарифов на автомобильные перевозки грузов и пассажиров в Республике Беларусь, утв. приказом М-ва трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь от 23.04.2013 № 158-Ц.

16. Положение о рабочем времени и времени отдыха для водителей автомобилей, утв. постановлением М-ва трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь от 25.11.2010 № 82.

17. Рекомендации по установлению норм времени на единицу транспортной работы, утвержденные приказом М-ва трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь от 19.07.2012 № 391-Ц.

18. Правила автомобильных перевозок грузов, утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь от 30.06.2008 № 970 (в ред. постановления Совмина от 04.10.2013 № 885).

19. Нормы затрат на техническое обслуживание и ремонт автомобильных транспортных средств, утв. приказом М-ва трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь от 19.07.2012 № 391-Ц.

20. Инструкция о порядке применения норм расхода топлива для механических транспортных средств, машин, механизмов и оборудования, утв. Постановлением М-ва трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь от 31.12.2008 № 141.

21. Технический кодекс установившейся практики ТКП 299-2011 «Автомобильные шины. Нормы и правила обслуживания», утв. приказом М-ва трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь от 21.03.2011 № 149-Ц.

22. Инструкция о порядке начисления амортизации основных средств и нематериальных активов, утвержденная постановлением М-ва экономики Респ. Беларусь, М-вом финансов Респ. Беларусь и М-вом архитектуры и строительства Республики Беларусь от 27.02.2009 № 31/18/6.

23. Постановление Министерства экономики Респ. Беларусь от 23.04.2013 № 26 «О тарифах на перевозку грузов по территории Республики Беларусь железнодорожным транспортом общего пользования, кроме перевозок грузов, следующих транзитом по территории стран-участниц Единого экономического пространства, а также работы (услуги), связанные с организацией и осуществлением этой перевозки».

24. Методические рекомендации по расчету экономических параметров, позволяющих оценить технологические процессы эксплуатационной работы основного вида деятельности – «Деятельность железнодорожного транспорта», утв. приказом Начальника Белорус. ж. д. от 14.12.2012 № 444Н.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1 Уровень загрузки пунктов взаимодействия. Обработка вагонов и автомобилей в пунктах взаимодействия.....	3
2 Технологический процесс обработки взаимодействующих транспортных средств.....	8
3 Перевалка грузов в пунктах взаимодействия.....	15
4 Оптимизация процессов взаимодействия в транспортных узлах	22
4.1 Оптимизация очередности обработки транспортных средств в пунктах взаимодействия.....	24
4.2 Оптимизация использования подвижного состава и ПРМ.....	26
5 Оптимизация инвестиционной программы развития различных видов транспорта.....	38
6 Эффективность контрейлерных перевозок.....	43
7 Освоение грузовых перевозок.....	52
Список литературы.....	78

Учебное издание

НЕГРЕЙ Виктор Яковлевич
ПОДКОПАЕВ Виталий Алексеевич
ФИЛАТОВ Евгений Анатольевич и др.

МУЛЬТИМОДАЛЬНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ
(ПРИМЕРЫ И РАСЧЕТЫ)

Учебно-методическое пособие
по дисциплине «Взаимодействие видов транспорта»

Редактор *И. И. Эвентов*
Технический редактор *В. Н. Кучерова*

Подписано в печать 05.11.2014 г. Формат 60×84 ¹/₁₆.
Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman. Печать на ризографе.
Усл. печ. л. 4,87. Уч.-изд. л. 4,87. Тираж 350 экз.
Зак. № 3120. Изд. № 13

Издатель и полиграфическое исполнение
Белорусский государственный университет транспорта;
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий
№ 1/361 от 13.06.2014.
№ 2/104 от 01.04.2014.
Ул. Кирова, 34, 246653, Гомель