

## ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПОТРЕБНОСТИ В ВАГОННЫХ ПАРКАХ ОПЕРАТОРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Запропоновано метод розрахунку оптимального потрібного парку вантажних вагонів операторських компаній та промислових підприємств, який враховує фінансові, технологічні та інші ризики при виконанні перевезень власними вагонами і частковому використанні вагонів інвентарного парку залізничного транспорту.

Предложен метод расчета оптимального потребного парка грузовых вагонов операторских компаний и промышленных предприятий, который учитывает финансовые, технологические и другие риски при выполнении перевозок собственными вагонами и частичном использовании вагонов инвентарного парка железнодорожного транспорта.

A method for calculation of an optimum necessary stock of freight wagons of operator companies and industrial enterprises is offered. The method takes into account the financial, technological and other risks in performing transportations with own wagons and partial using of wagons from the of inventory stock of railway transport.

### Обоснование постановки задачи

В условиях развития рынка железнодорожных транспортных услуг все возрастающая роль принадлежит операторским и экспедиторским компаниям. Данные Государственного комитета статистики Украины свидетельствуют о непрерывном росте операторской деятельности: в 2005 г. объем перевозок собственными вагонами превысил 29 %, в 2009 г. доля перевозок собственными вагонами была уже около 40 %. Главным фактором конкурентоспособности операторов являются их основные производственные фонды – парк собственных вагонов. Оптимальный расчет производственных фондов, как потребного парка грузовых вагонов в зависимости от предполагаемого объема перевозок, сегодня является первоочередной задачей для операторских компаний. Проблема оценки рационального потребного парка собственных вагонов рассмотрена в работах [1, 2, 3] и др. В [1, 2] установлена квадратическая модель зависимости между рациональным количеством требуемых собственных вагонов и среднесуточным объемом перевозок грузов. В [3] предложена методика расчета требуемого количества вагонов операторов с учетом финансовых рисков, связанных с планированием размеров собственного вагонного парка, а также с учетом возможности выполнения перевозок вагонами собственности Укрзализныци (инвентарным парком). Здесь показано, что при планировании следует учитывать риск получить избыточный

или недостаточный в будущем парк вагонов, а также некоторые финансовые и технологические риски, которые следует сопоставлять с затратами и другими условиями по организации перевозок, в том числе связанными с частичным использованием вагонов инвентарного парка.

Целесообразность организации перевозок в собственных вагонах операторских компаний при одновременном использовании вагонов Укрзализныци обусловлена несколькими существенными факторами. Потребность в эффективном использовании вагонного парка, владельцем которого является операторская компания, вытекает из роста транспортной составляющей в стоимости грузов, перевозимых железными дорогами. Это негативно влияет на конкурентоспособность железнодорожного транспорта в целом. Наряду с финансовыми показателями такое качество перевозочного процесса как надежность транспортных услуг может оцениваться несколькими параметрами: стоимость перевозок, сроки доставки грузов, уровень их сохранности. Надежность перевозок зависит от уровня надежности работы всех элементов логистической цепочки по доставке грузов. Из-за замедления обращения оборотных средств, грузовладельцы несут убытки. Операторские компании, владельцы подвижного состава, вынуждены приобрести и удерживать завышенный парк собственных вагонов. Это требует от операторской компании значительного увеличения капитальных вложений на

приобретение вагонов, дополнительные эксплуатационные расходы на содержание подвижного состава и управление перевозками. Кроме того, стоимость перевозки порожнего подвижного состава парка железных дорог учтена в тарифах на перевозку грузов. При планировании перевозок собственными вагонами операторских компаний требуется организация возврата порожних вагонов после выгрузки за счет грузополучателя или непосредственно операторской компании.

В статье развивается подход к обоснованию потребности в основных производственных фондах компаний операторов, собственных парках вагонов, на основе разработки стохастических экономико-математических моделей, обобщающих результаты [3], которые учитывают как предполагаемую структуру плана перевозки грузов, так и финансовые и технологические риски.

### Информационная база для анализа и моделирования использования основных производственных фондов компаний операторов

На рис. 1 – 4 представлены типичные результаты исследований работы компаний операторов железнодорожного транспорта (на ри-

сунках – оператор 1, оператор 2) в течение месяца (август 2009 г.), которые получены на основе обработки данных автоматизированных систем управления перевозками Укрзализныци. Рисунки показывают формы и особенности использования основных производственных фондов, структуру планирования и организации перевозок, а также отражают статистические свойства процессов эксплуатации собственных вагонных парков. Рис. 1 и 3 представляет возможности курсирования вагонов на различных полигонах, в то же время часть из них работает в кольцевых маршрутах (рис. 2, рис. 4). Рисунки позволяют оценить как грузовые (толстые стрелки), так и порожние рейсы (стрелки из тонких линий) по подводу вагонов под погрузку, а также количественные (первое число на стрелке) и временные характеристики (число в скобках, часы) этих процессов. На рис. 4 кроме этой информации указаны коды основных перевозимых грузов (третье число на дуге), которые предназначены для расчета денежной оценки работы вагонов. На рис. 4 также представлены этапы технологического цикла использования вагонов (в виде последовательности номеров).

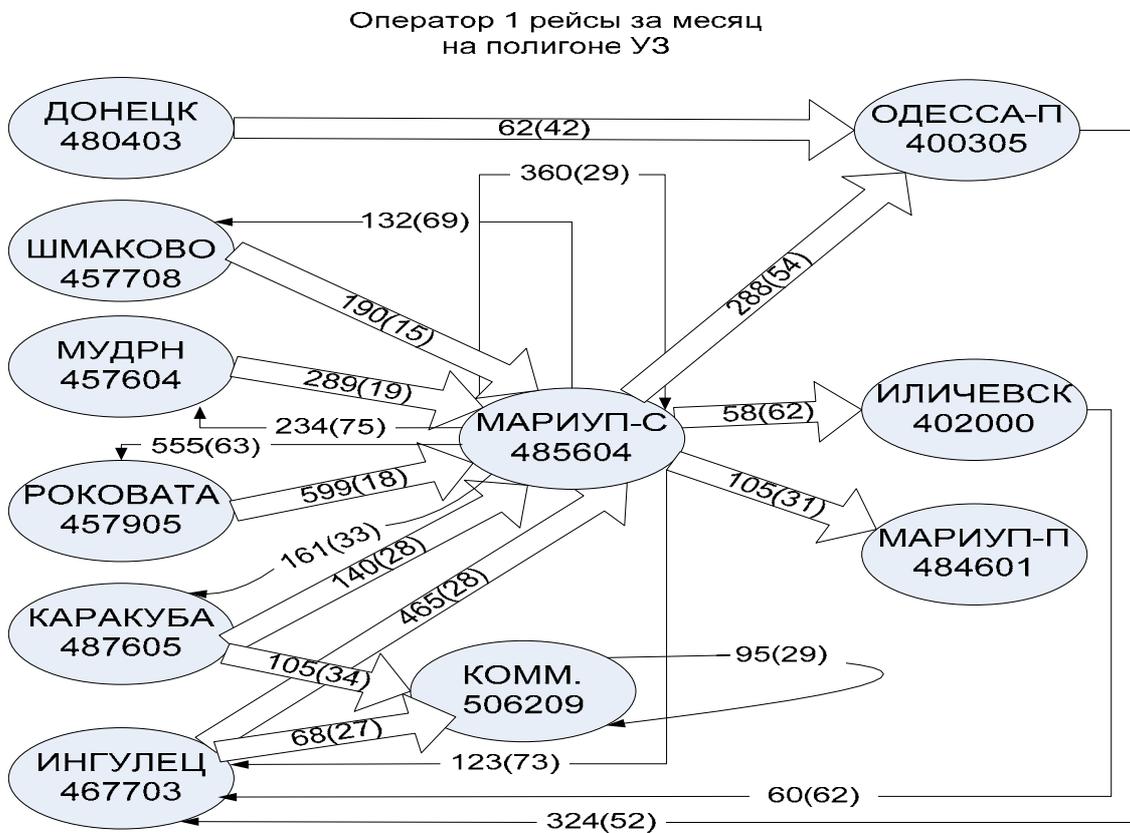


Рис. 1. Типичная схема работы собственных вагонов оператора 1 на полигоне Укрзализныци

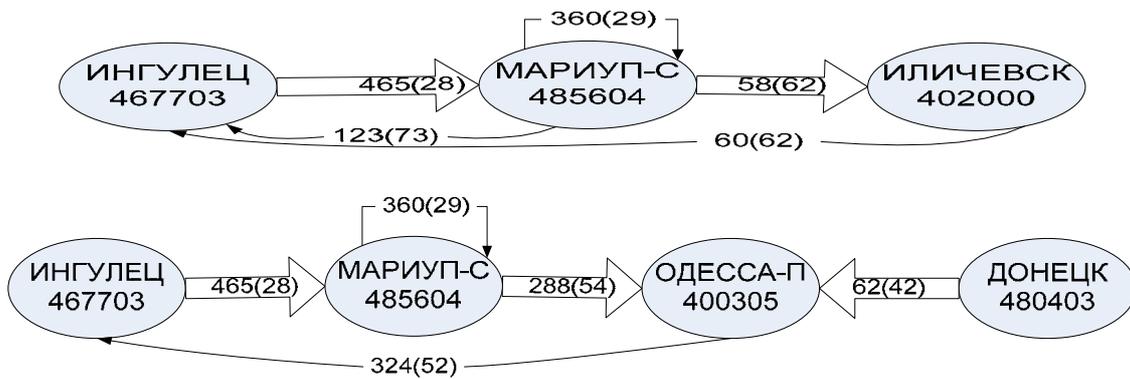


Рис. 2. Примеры кольцевых маршрутов работы оператора 1

Тонкие стрелки – петли одной станции – показывают количество обработанных на ней за месяц вагонов и среднее время, затраченное на их обработку (интервал времени от выгрузки до погрузки).

На рис. 4, маршрут 1, указано движение груженых вагонов со станции Запорожье-Левое (ЗПР-Л) на ст. Ильичевск (этап 1), возврат порожних вагонов на ст. Ингулец (этап 2) и пере-

мещение порожних вагонов на ст. Ингулец со ст. ЗПР-Л (также этап 2); на ст. Ингулец выполняется погрузка вагонов назначением на ст. ЗПР-Л (этап 3) и выгрузка вагонов с подачей под погрузку на ст. ЗПР-Л (этап 4) с дальнейшим их направлением на ст. Ильичевск (этап 1). Маршрут 2 сложнее, т.к. в нем участвуют грузопотоки в двух направлениях, но его описание выполняется подобным образом.

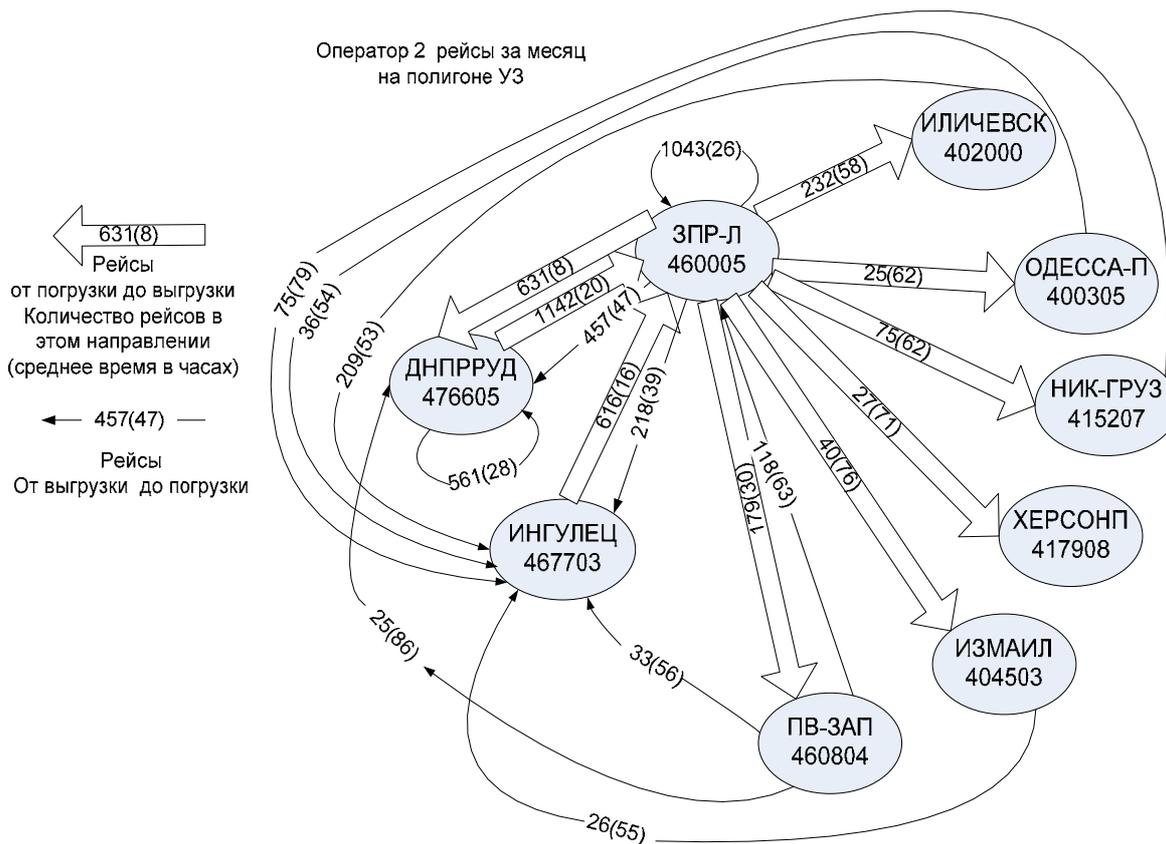


Рис. 3. Схема рейсов работы оператора 2 за месяц

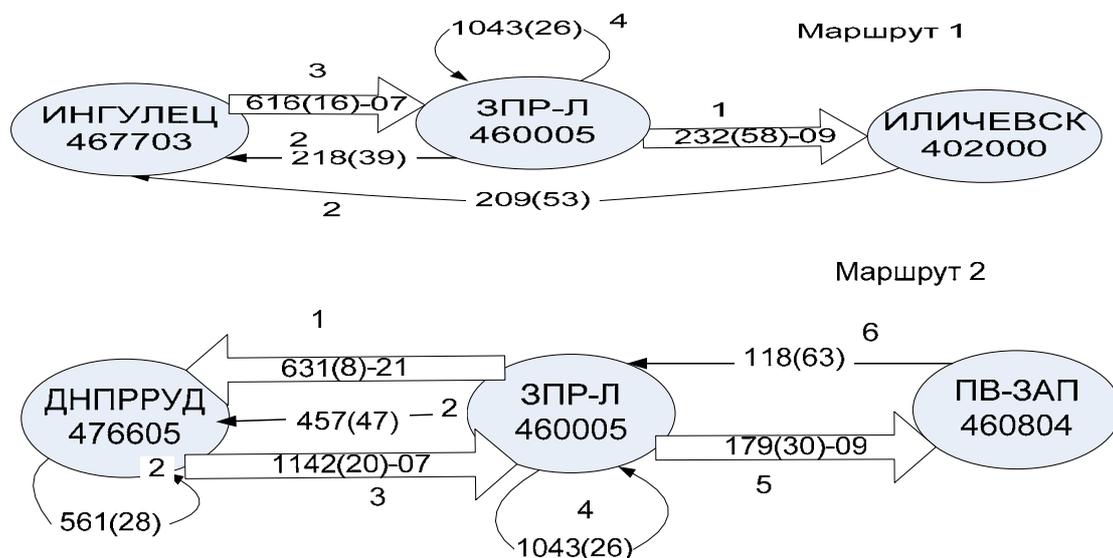


Рис. 4. Примеры кольцевых маршрутов работы оператора 2

Рис. 1 – 4 дают некоторое представление о содержании и сложности проблемы обоснования рациональной потребности в основных производственных фондах компаний-операторов. Кроме того, они позволяют сделать заключение об очевидном различии математических моделей, необходимых для планирования перевозок по кольцевым рейсам и при курсировании вагонов по всему железнодорожному полигону, а также о различии методов, используемых для выбора рациональной потребности в собственных вагонах. Метод оценки потребности в вагонах применительно к перевозкам по маршрутам (рис. 2, рис. 4) в большой степени соответствует работам [1, 2], когда можно с приемлемой точностью оценить время оборота вагонов, соответствующие стоимостные показатели и на этой основе вычислить рациональный потребный парк вагонов, используя детерминированную модель процесса перевозки, базирующуюся на средних значениях. По сути, здесь учитываются лишь технологические факторы процессов перевозки грузов, без учета стоимостных и целого ряда других.

В общем случае, рис. 1 и рис. 3, могут быть рассчитаны лишь оценки вероятностных характеристик времен движения вагонов по различным маршрутам, а также относительные частоты таких рейсов. Здесь более адекватным является выбор объема основных производственных фондов на основе стохастических моделей. Такое же заключение может быть сделано относительно необходимости усовершенствования метода по расчету потребного парка вагонов операторов с учетом условий риска [3].

#### Анализ методов оценки основных производственных фондов компаний-операторов железнодорожного транспорта

Как отмечено выше, проблема оценки основных производственных фондов является одной из наиболее важных и сложных для операторов железнодорожного транспорта. Она учитывает предполагаемые объемы и качественный состав перевозимых грузов, которые обеспечивают компании-оператору перевозку с заданными свойствами (своевременность, стоимость либо рентабельность, надежность и др.). Вместе с тем реализовать перевозку можно не только собственными вагонами, но и вагонным парком государственной собственности. При этом возникает новый аспект – необходимость учета дополнительных рисков, имеющих на этапе принятия решений по формированию парка вагонов операторов. Задача оценки оптимальных производственных фондов операторов, возникающая в этом случае, состоит как в учете стохастических свойств показателя «работы», оборота вагонов, так и в расчете той части требуемого объема перевозок, которую следует выполнять собственными вагонами. Остальная часть требуемых перевозок должна выполняться вагонами государственного, инвентарного парка. Критерием оптимальности такого выбора может быть минимум суммарного экономического риска операторской компании (ОК) при реализации плана перевозки грузов.

Потребности в основных производственных фондах компании (ОПФОК) определяются на основе следующих факторов: среднемесячный объем перевозок, нормативное время оборота

собственных вагонов, средняя загрузка вагона, дополнительные расходы времени операторской компанией на подготовку, техническое обслуживание, ремонт вагонов, дополнительные расходы времени из-за несоблюдения железнодорожными дорогами либо грузоотправителями, либо грузополучателями договорных обязательств [1, 2]. Модель по оценке потребности в парке вагонов ОК на основе временных, технологических характеристик процесса перевозки, когда среднемесячные объемы перевозок считаются одинаковыми, имеет вид:

$$N_{\text{потр}} = f(K_{\text{дост}}, K_{\text{обсл}}, Q_{\text{ср}}^{\text{мес}}, \Theta_{\text{собств}}^{\text{дост}}, P_{\text{ст}}) \Rightarrow \Rightarrow \min. \quad (1)$$

Здесь обозначено:

$$N_{\text{потр}} = \frac{12}{365} K_{\text{дост}}, K_{\text{обсл}} = \frac{Q_{\text{ср}}^{\text{мес}} \cdot \Theta_{\text{собств}}^{\text{дост}}}{P_{\text{ст}}}, \quad (2)$$

$N_{\text{потр}}$  – количество собственных вагонов, достаточное для обеспечения запланированных объемов перевозок грузов;  $K_{\text{дост}}$  – коэффициент, который учитывает возможности несоблюдения нормативных технологических сроков доставки грузов и оборота вагонов операторской компании;  $K_{\text{обсл}}$  – коэффициент дополнительных затрат времени на подготовку, техническое обслуживание, ремонт вагонов;  $Q_{\text{ср}}^{\text{мес}}$  – запланированный среднемесячный объем перевозок, тонн;  $\Theta_{\text{собств}}^{\text{дост}}$  – нормативный оборот вагонов операторской компании, суток;  $P_{\text{ст}}$  – средняя статическая нагрузка вагона, тонн/ваг. В расчетах могут быть приняты следующие значения коэффициентов –  $K_{\text{дост}} = 1,1$ ,  $K_{\text{обсл}} = 1,15$ , а также вариант наиболее благоприятного использования грузоподъемности вагонов, когда  $N_{\text{потр}} = 0,033 \cdot K_{\text{дост}}$ :

$$K_{\text{обсл}} = \frac{Q_{\text{ср}}^{\text{мес}} \cdot \Theta_{\text{собств}}^{\text{дост}}}{P_{\text{ст}}}. \quad (3)$$

В этом случае оценка требуемого количества собственных вагонов равна:

$$N_{\text{потр}} = 0,042 \cdot \frac{Q_{\text{ср}}^{\text{мес}} \cdot \Theta_{\text{собств}}^{\text{дост}}}{P_{\text{ст}}}. \quad (4)$$

Приближенная оценка (4) основана на единственном нормированном времени оборота вагонов ОК  $\Theta_{\text{собств}}^{\text{дост}}$ , она не учитывает зависимость парка вагонов от переменного параметра

статической нагрузки  $40 \leq P_{\text{ст}} \leq 70$  (т/ваг.) и другие факторы. Анализ модели (4) показывает, что она может быть использована лишь для перевозок по постоянным маршрутам (рис. 2, рис. 4). В схемах перевозок рис. 1, рис. 3 времена оборота вагонов существенно отличаются для различных рейсов, в которых может быть использован вагон, причем их частотные характеристики имеют значительные различия. Помимо этого при оценке основных производственных фондов следует учитывать возможности приобретения и содержания собственных вагонов, оценки дополнительной ожидаемой прибыли от их эксплуатации вместо перевозок вагонами инвентарного парка Укрзализныци.

Система перевозок грузов ОК должна базироваться на технологии «Доставка в установленный срок», чтобы приблизить нормативные сроки доставки к оптимальным потребностям клиентов, когда существенным является учет и таких критериев эффективности перевозок, как время перемещения груза от грузоотправителя к грузополучателю (учитывая дополнительные расходы времени из-за несоблюдения нормативных сроков доставки грузов и оборота вагонов), изношенность парка вагонов (учет дополнительных расходов времени на подготовку, техническое обслуживание, ремонт вагонов), качество предоставленных услуг (процент случаев несохранности перевозки), надежность времени прибытия грузов. В случае организации перевозок на основе совместной работы вагонных парков операторов и инвентарного парка необходимо учитывать разные параметры одного из главных показателей – оборот вагонов, а также плату за подачу порожних вагонов. Приведенные показатели далее вводятся в модель совместной работы нескольких вагонных парков в виде факторов риска (технологических и экономических).

Подытожим модель по оценке потребности в парке вагонов (1) – (4). Ее использование базируется на следующем:

1) предполагается, что каждый вагон имеет один полигон курсирования и перевозит один вид груза;

2) оператор имеет достаточный ресурс для приобретения, содержания потребного вагонного парка и управления им;

3) считается известным аналитический вид зависимости рационального количества вагонов собственного парка оператора от объема перевозки, хотя при вариации условий он может изменяться.

Остановимся на вопросах разработки математических моделей и методов по оценке рационального требуемого вагонного парка операторов на основе необходимости применения следующих положений.

1. Учет возможности выполнения перевозок различных грузов по нескольким маршрутам.
2. Обеспечение экономически целесообразного и согласованного взаимодействия вагонных парков различных собственников.
3. Учет экономического риска получить избыточный или недостаточный в будущем парк вагонов, который должен оцениваться и сопоставляться с затратами и мерами по организации перевозок, связанными с частичным использованием вагонов инвентарного парка.
4. Учет неодинаковой зависимости рационального количества собственных вагонов от объемов перевозки, родов подвижного состава, районов курсирования вагонов.

Критерием выбора количества собственных вагонов как основных производственных фондов компаний-операторов следует считать минимум суммарного экономического риска при организации процесса перевозок с учетом возможности использования вагонов инвентарного парка.

### Стохастические модели для расчета основных производственных фондов компаний-операторов

Исследуем две возможности стохастического моделирования при оценке требуемого собственного парка компаний операторов. При этом первая модель, по сути, обобщает (1) – (4) за счет учета возможности выполнения грузовых рейсов собственными вагонами по нескольким маршрутам, а также неоднородности статистических характеристик железнодорожных перевозок. Вторая модель дополнительно учитывает экономические риски, связанные с работой как собственного, так и инвентарного вагонного парка.

**Стохастическая модель** по оценке необходимого количества вагонов *при учете случайных значений факторов выбора маршрутов курсирования и времен оборотов вагонов* может быть легко получена следующим образом. На основе анализа плана перевозки и возможных рейсов курсирования вагонов при его реализации выберем  $j = 1, \dots, J_r$  маршрутов

движения вагонов, рис. 1, рис. 3. На основе статистической информации о времени оборота вагона по каждому из маршрутов  $r_j$  получаемой по данным автоматизированных систем Укрзализныци, а также с учетом напряженности, объемов соответствующих перевозок оценивается относительная частота случайного события: перевозка грузов по маршруту  $j = 1, \dots, J_r$ . Обозначив  $Q_j^{\text{мес ср}}$  – запланированный среднемесячный объем перевозок, а  $\Theta_{\text{собств}}^{\text{дост}}$  – нормативный или фактический оборот вагонов операторской компании для  $r_j$ , на основе модели (1) – (4) определяем оценку рационального количества парка вагонов –  $n_{\text{потр}}^j$ .

С учетом введенных обозначений статистическая оценка требуемого количества собственных вагонов компаний операторов является математическим ожиданием вида, что непосредственно обобщает (4):

$$N_{\text{потр}}(\omega) = \sum_{j=1}^{J_r} n_{\text{потр}}^j \omega_j. \quad (5)$$

**Модель и метод расчета основных производственных фондов с учетом экономического риска** при перевозках грузов несколькими операторами формируется, исходя из таких предположений. В [3] разработана математическая модель задачи оценки требуемого парка вагонов операторов, основанная на расчете части от заданного объема перевозок, которую следует выполнять собственными вагонами. Ее отличием является учет рисков, учитываемых при формировании требуемого парка вагонов, под которыми понимаются возможные дополнительные затраты или недополучение прибыли при реализации грузовых перевозок. В рамках модели эти возможные затраты, представляющие финансовые оценки рисков, сопоставляются с затратами и другими условиями по организации перевозок при частичном использовании вагонов инвентарного парка для одного возможного маршрута перевозок (рис. 2, рис. 4). В качестве объективных источников таких рисков в модели выступают неопределенности в оценках ряда характеристик процесса перевозки. К ним могут быть отнесены, например, учет возможных изменений объемов перевозок; технологический риск, обусловленный неравномерностью процессов доставки грузов в период  $T_k$ ; дополнительные затраты, связанные с износом парка вагонов; надежность времени прибытия грузов; сохранность

перевозимых грузов. Последние из перечисленных характеристик для вагонных парков операторов и инвентарного парка имеют существенное различие [1, 2].

Используя в качестве критерия оптимального выбора минимум суммарного экономического риска при выполнении перевозки по  $j=1, \dots, J_r$  возможным маршрутам движения вагонов, выполним формализацию задачи по расчету требуемого вагонного парка по следующей схеме. Разделим планируемый объем перевозок по каждому маршруту движения на две составляющие:

$$Q_j = Q_{j\text{инп}} + Q_{j\text{св}}; Q_{j\text{инп}}; Q_{j\text{св}}; \quad (6)$$

где  $Q_{j\text{инп}}$  – планируемая перевозка по маршруту  $j=1, \dots, J_r$  вагонами инвентарного парка в период  $T_i$ ,

$Q_{j\text{св}}$  – планируемая перевозка вагонами собственного парка оператора по тому же маршруту в период  $T_i$ ,

$Q_{j\text{св}}$  – планируемая перевозка вагонами собственного парка для  $j=1, \dots, J_r$ ,

$Q_{j\text{инп}}$  – планируемая перевозка вагонами инвентарного парка по тому же маршруту в период  $T_i$ ,

$$Q_i = \sum_j Q_j = \sum_j Q_{j\text{инп}} + \sum_j Q_{j\text{св}}. \quad (7)$$

Обозначим через  $\Theta_{j\text{инп}}$  время оборота вагона инвентарного парка для маршрута  $j=1, \dots, J_r$ , а  $\Theta_{j\text{св}}$  – соответствующий показатель времени движения собственных вагонов. Считаем, что относительные частоты движения вагонов по маршрутам  $j=1, \dots, J_r$  пропорциональны объемам перевозимых грузов и временам оборота вагонов. Они представляют оценки вероятности нахождения вагона на маршруте  $j=1, \dots, J_r$  и рассчитываются на основе системы равенств:

$$\omega_{j\text{инп}} = \Theta_{j\text{инп}} Q_{j\text{инп}} / \sum_j \Theta_{j\text{инп}} Q_{j\text{инп}}; \quad (8)$$

$$\omega_{j\text{св}} = \Theta_{j\text{св}} Q_{j\text{св}} / \sum_j \Theta_{j\text{св}} Q_{j\text{св}};$$

приближенность характеристик (8) обусловлена и тем, что при их вычислении предполагается пригодность всех собственных вагонов для перевозок, а также некоторые другие допущения такого рода. В случае необходимости учет

уточняющих факторов может быть выполнен за счет, например, корректировок времен  $\Theta_{j\text{св}}$ .

Чтобы получить оценки финансовых рисков при перевозках собственным парком вагонов, представим их в следующем виде. Пусть удельное отклонение от норматива перевозки, обеспечивающей устойчивую технологию некоторого потребителя транспортных услуг в период  $T_i$ ,  $\Delta \geq 0$  ведет к затратам  $e_1$ , а при условии  $\Delta < 0$  приводит к дополнительным затратам  $e_2$ . Обозначим вероятности технологических рисков отклонений  $\Delta$  от плановых эталонных значений  $Q_i$  через величины  $P_{j\text{св}}(\Delta)$ ;  $P_{j\text{инп}}(\Delta)$ . Тогда оценки соответствующих рисков равны:

$$\Delta E_{j\text{св}} = \left[ \Delta Q_{j\text{св}} = (Q_{j\text{св}} - Q_{j\text{св}}(N_{\text{св}})) \right] P_{j\text{св}} e_q,$$

$$q = \overline{1, 2}, \quad (9)$$

где  $Q_{i\text{св}}$  – соответствует планируемым оценкам (6),

$Q_{j\text{св}}(N_{\text{св}})$  – действительная реализация перевозки собственным парком вагонов операторов для периода  $T_i$ , ожидаемая с вероятностью  $P_{j\text{св}}(\Delta)$ .

С помощью оценок рисков по периодам  $T_i$  (6) может быть рассчитана интегральная оценка экономического риска от перевозки  $Q_{\text{св}}$  собственным парком операторов, а также вагонами инвентарного парка следующим образом:

$$E_{\text{св}}^{(P)} = \sum_j e_{j\text{св}}^{(P)} \omega_{j\text{св}}^{(P)}; \quad (10)$$

$$E_{\text{инп}}^{(P)} = \sum_j e_{j\text{инп}}^{(P)} \omega_{j\text{инп}}^{(P)}, \quad (11)$$

где

$$e_{j\text{св}}^{(P)} = \begin{cases} \sum_j \Delta Q_{j\text{св}} P_{j\text{св}}^{(+)} e_1; & \Delta_{i\text{св}} \geq 0, \\ \sum_j |\Delta Q_{j\text{св}}| P_{j\text{св}}^{(-)} e_2; & \Delta_{i\text{св}} < 0, \end{cases} \quad (12)$$

$P_{j\text{св}}^{(+)}$ ,  $P_{j\text{св}}^{(-)}$  – оценки вероятностей событий при  $\Delta \geq 0$  и  $\Delta < 0$ , соответственно, а

$$e_{j\text{инп}}^{(P)} = \begin{cases} \sum_j \Delta Q_{j\text{инп}} P_{j\text{инп}}^{(+)} e_3; & \Delta_{i\text{инп}} \geq 0, \\ \sum_j |\Delta Q_{j\text{инп}}| P_{j\text{инп}}^{(-)} e_4; & \Delta_{i\text{инп}} < 0. \end{cases} \quad (13)$$

Равенство (13) показывает, каким образом, выполнив подобные построения, формируют оценки финансовых рисков при перевозках грузов вагонами инвентарного парка. В (13) характеристики  $e_3$  и  $e_4$  содержательно соответствуют дополнительным затратам ( $e_1, e_2$ ), но представляют свойства перевозок вагонами инвентарного парка.

Величины (12), (13) служат оценками экономических рисков, возможных из-за неравномерности процессов доставки грузов. Дополнительные затраты, риски, а также качество услуг в виде сохранности перевозимых грузов могут быть представлены таким же образом. Для расчетов этих количественных показателей могут быть использованы результаты [1, 2].

Целевая функция и задача оптимизации по оценке величины потребного парка вагонов операторов  $N$ , полученная с использованием построенных моделей рисков, имеет вид:

$$E_{\Sigma}(N) = E_{\text{пок}}(N) + E_{\text{рем}}(N) + E_{\text{эксп}}(N) + E_{\text{упр}}(N) + E_{\text{св}}^{(P)}(N) + E_{\text{инп}}^{(P)}(N) \rightarrow \min_{Q_{\text{св}}}, \quad (14)$$

где  $E_{\text{пок}}(N)$  – затраты на приобретение вагонов;

$E_{\text{рем}}(N)$  – затраты на ремонт;

$E_{\text{эксп}}(N)$  – затраты, связанные с эксплуатационными расходами;

$E_{\text{упр}}(N)$  – управление вагонным парком;

$E_{\text{св}}^{(P)}(N), E_{\text{инп}}^{(P)}(N)$  – дополнительные финансовые риски из-за неравномерности доставки грузов, полученные на основе уравнений (10), (11).

В модели задачи расчета ПВПОК (9) наряду со значениями  $E_{\text{св}}^{(P)}(N), E_{\text{инп}}^{(P)}(N)$  могут быть учтены и другие дополнительные финансовые риски, связанные с износом парка вагонов, надежностью времени прибытия грузов и остальными перечисленными выше факторами.

Укрупненный алгоритм расчета основных производственных фондов компаний операторов относительно рационального парка собственных вагонов, используемых на нескольких маршрутах, составляет последовательность таких операторов:

1. Задать предполагаемый объем  $Q_{\text{св}}$ , а также его составляющие (6).
2. Оценить показатели (7), (8).
3. Вычислить оценки затрат (12), (13) как компоненты (10), (11).

4. Перебором  $Q_{\text{св}}$ , последовательно изменяя предполагаемый объем грузов, который перевозится собственным вагонным парком оператора, найти  $\min E_{\Sigma}(N)$  (14).

В модель задачи (6) – (14) планирования основных производственных фондов могут быть введены ограничения на отдельные составляющие  $E_{\text{пок}}(N), E_{\text{рем}}(N), E_{\text{эксп}}(N), E_{\text{упр}}(N)$  (финансовые, технологические, организационные) или же на суммарный объем используемых ресурсов, например, в таком виде:

$$E_{\text{пок}}(N) + E_{\text{рем}}(N) + E_{\text{эксп}}(N) + E_{\text{упр}}(N) + E_{\text{св}}^{(P)}(N) + E_{\text{инп}}^{(P)}(N) \leq E_{\text{const}}. \quad (15)$$

Реализация дискретной экстремальной задачи (6) – (15) выполняется методом перебора в связи с высокой ответственностью принятия решения об основных производственных фондах операторской компании, а также из-за отсутствия временных ограничений на время реализации разработанной модели.

Вероятностные меры рисков  $P_{ji \text{ св}}(\Delta), P_{ji \text{ инп}}(\Delta)$  и др., используемые в математической модели планирования (6) – (15), могут быть получены на основе анализа данных мониторинга процесса грузовых перевозок по данным автоматизированной системы АСК ВП УЗ. При этом в зависимости от объема, характера исследуемых данных и их интерпретации могут быть построены различные классы математических моделей, представляющих задачу выбора требуемого парка вагонов операторов. Например, представление факторов неопределенности с помощью нечетких и интервальных мер, характеризующих финансовые риски предприятия вместо статистических характеристик  $\bar{P}_i$  [4, 5], позволяет сформировать соответствующие нечеткие и интервальные модели задачи выбора основных производственных фондов. Эти вопросы выходят за рамки представленной работы.

## Выводы

Проблема планирования основных производственных фондов компаний-операторов железнодорожного транспорта представлена как задача стохастического программирования в условиях риска. Вычисляются потребности в рациональном собственном вагонном парке предприятий, исходя из требований минимизации финансово-экономических рисков, возни-

кающих при доставке грузов с учетом современных требований к перевозкам. Предложенные в статье модели и методы планирования учитывают многовариантное использование собственных вагонов, а также возможность привлечения для организации перевозок ресурсов других компаний. При этом открываются возможности кооперации нескольких перевозчиков, а также снижения финансовых, технологических и других рисков, имеющих место при железнодорожных перевозках.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кулешов, В. В. Удосконалення технології перевезень вагонами операторських компаній на основі ресурсозбереження [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Х., 2006. – 20 с.
2. Данько, М. І. Визначення парку вагонів операторських компаній для забезпечення перевезень вантажів залізничним транспортом [Текст] / М. І. Данько, В. В. Кулешов // Зб. наук. пр. – 2004. – Вип. 57. – Х.: УкрДАЗТ, 2004. – С. 121-128.
3. Скалозуб, В. В. Оценка оптимального потребного парка вагонов операторов с учетом технологического-экономических рисков [Текст] / В. В. Скалозуб, О. В. Солтысюк, М. С. Чередниченко // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2007. – Вип. 17. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2007. – С. 48-55.
4. Тишкин, Е. М. Информационно-управляющие технологии эксплуатации вагонного парка [Текст] / Е. М. Тишкин // Тр. ВНИИАС. – Вып. 4. – М., 2004. – 184 с.
5. Згуровский, М. З. Интегрированные системы управления и проектирования [Текст] / М. З. Згуровский. – К.: Высш. шк., 1990. – 351 с.

Поступила в редколлегию 12.01.2010.

Принята к печати 20.01.2010.