

## ОЦЕНКА ОПТИМАЛЬНОГО ПОТРЕБНОГО ПАРКА ВАГОНОВ ОПЕРАТОРОВ С УЧЕТОМ ТЕХНОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ РИСКОВ

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

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

The method for calculation an optimum necessary park of freight carriages of operators companies and industrial enterprises is offered. A method takes into account the technological, financial et al risks at implementation of transportations. The feature of method consists in the partial use of carriages of inventory park.

### Введение

Парк собственных вагонов операторов железнодорожного транспорта и промышленных предприятий является главным фактором в конкурировании на рынке транспортных услуг. Проблема оценки рационального потребного парка в зависимости от предполагаемого объема перевозок, несомненно, имеет первостепенную важность. Важным результатом [1] является методика расчета, а также номограммы зависимости рациональных размеров потребных парков собственных вагонов от объемов перевозок грузов, нормативного оборота вагонов и статической нагрузки, которые позволяют прогнозировать необходимое для перевозки количество собственных вагонов операторских компаний. Предложенные в [1] положения, несомненно, важные для организации рациональной работы компаний операторов, все же не являются полными и единственными. Например, не обязательно выполнять все перевозки только за счет использования собственных вагонов операторов, особенно при потенциальной возможности изменений объемов перевозок в будущем. Здесь при планировании следует учитывать риск получить избыточный, или недостаточный в будущем парк вагонов, который следует сопоставлять с теми затратами и другими условиями по организации перевозок, что могут быть связаны с частичным использованием вагонов инвентарного парка. Установленная в [1; 2] квадратическая модель, позволяющая установить связи между рациональным количеством потребного парка собственных вагонов и среднесуточным объемом перевозок

грузов, может использоваться для оценки финансовых рисков, связанных с планированием размеров собственного вагонного парка операторов. Таким образом, и в этом случае возникает проблема согласования взаимодействия вагонных парков различных собственников, как при формировании парков и планировании работы, так и при выполнении грузовых перевозок. Зависимость рационального количества собственных вагонов от объемов перевозки может быть не одинаковой для различных родов подвижного состава, объемов перевозок грузов, районов курсирования вагонов операторов. В общем случае на основе данных автоматизированных систем грузовых перевозок Укрзалізничці должны быть исследованы формы связи, представляющие зависимости рационального количества вагонов операторов от объема перевозки (среднесуточная погрузка вагонов) и указанных факторов.

### Разработка метода расчета потребного парка с учетом рисков и использования вагонов инвентарного парка

Проблема оценки потребного парка вагонов операторов в зависимости от предполагаемых объемов перевозки, которые обеспечивают оператору перевозку с заданными свойствами (своевременность, стоимость либо рентабельность, надежность, др.) является одной из наиболее важных и сложных для операторов железнодорожного транспорта. Новым в нашем случае является аспект учета рисков, имеющих на этапе принятия решений по формированию парка вагонов операторов. Задачей

оценки оптимальной потребности собственного парка вагонов операторов, возникающей в этом случае, является расчет части требуемых перевозок, которую следует выполнять своими вагонами, считая, что остальная перевозка выполняется вагонами инвентарного парка. Критерием оптимального выбора является минимум суммарного экономического риска. Эта задача сформулирована и исследована в работе. При этом также рассмотрены вопросы выбора видов рисков, оценки их потенциальных возможностей (учитывая разные формы неопределенности), учета изменения возможных объемов перевозок и планирования инвестирования для приобретения вагонов.

### Обоснование постановки задачи

Целесообразность организации перевозок в собственных вагонах операторских компаний при одновременном использовании вагонов Укрзалізничці 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. 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. По данным [3] в современных условиях надежность перевозочного процесса в целом по сети железных дорог составляет 50 %. 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 значительных неприбыльных капитальных вложений на приобретение вагонов, дополнительные эксплуатационные расходы на содержание подвижного состава и управление перевозками. Стоимость перевозки порожнего подвижного состава парка железных дорог учтена в тарифах на перевозку грузов. Порожняк пересылается по регулятивным заданиям железнодорожных администраций за их счет. Коэффициент порожнего пробега является нормируемой величиной и его увеличение ухудшает экономические по-

казатели железных дорог. При планировании перевозок собственными вагонами операторских компаний требуется организация возврата порожних вагонов после выгрузки за счет грузополучателя или непосредственно операторской компании.

Разработанный в [1; 2] метод учитывает, что потребный вагонный парк операторской компании (ПВПОК) зависит от таких факторов: среднемесячный объем перевозок; нормативное обращение собственного вагона; средняя статическая нагрузка; дополнительные расходы времени операторской компанией на подготовку, техническое обслуживание, ремонт вагонов; дополнительные расходы времени из-за несоблюдения железными дорогами либо грузоотправителями, либо грузополучателями договорных обязательств. Модель определения потребности в парке вагонов операторской компании имеет вид

$$N^{\text{потр}} \Rightarrow \min, \quad (1)$$

где  $N^{\text{потр}} = f(K^{\text{дост}}, K^{\text{обсл}}, Q_{\text{ср}}^{\text{мес}}, \Theta_{\text{собств}}^{\text{дост}}, P_{\text{ст}})$ .

Принимая планируемые среднемесячные объемы перевозок одинаковыми, получают расчетные соотношения для определения рационального вагонного парка

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

где  $N_{\text{потр}}$  - потребный парк ПВПОК, достаточный для обеспечения запланированных объемов перевозок грузов, вагонов;  $K_{\text{дост}}$  - коэффициент, который учитывает несоблюдение нормативных технологических сроков доставки грузов и обращения 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 собственности операторской компании, тонн/ваг. Принимаются следующие значения коэффициентов -  $K_{\text{дост}} = 1,1$ ,  $K_{\text{обсл}} = 1,15$ .

В расчетах рассматриваются варианты наиболее благоприятного использования грузоподъемности вагонов парка операторов

$$N_{\text{потр}} = 0,033 \times K_{\text{дост}} \times K_{\text{обсл}} = \frac{Q_{\text{ср}}^{\text{мес}} \cdot \Theta_{\text{собст}}^{\text{дост}}}{P_{\text{ст}}} \quad (3)$$

и получают формулу для расчета потребного парка собственных вагонов

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

где переменными величинами является средне-месячный объем перевозок ( $Q_{\text{ср}}^{\text{мес}}$ ) и нормативный оборот вагона ( $\Theta_{\text{собст}}^{\text{дост}}$ ).

Такой приближенный метод расчета не учитывает зависимость парка вагонов операторских компаний Украины от фактического имеющегося объема при переменных параметрах статической нагрузки  $40 \leq P_{\text{ст}} \leq 70$  (т/ваг.). При расчетах ПВПОК также следует учитывать возможности приобретения и содержания вагонов, а также ожидаемые прибыли от их эксплуатации вместо перевозок вагонами инвентарного парка Укрзализныци.

Для операторской компании при выборе величины ПВПОК главное – это наличие достаточных запланированных объемов перевозок. Кроме того, система перевозок грузов операторскими компаниями должна базироваться на технологии «Доставка в установленный срок», чтобы приблизить нормативные сроки доставки к оптимальным потребностям клиентов. Особенностью работы операторских компаний является учет и других критериев эффективности перевозок – время перемещения груза от грузоотправителя к грузополучателю, учитывая дополнительные расходы времени из-за несоблюдения нормативных (технологических) сроков доставки грузов и оборота вагонов; – изношенность парка вагонов, когда также учитываются дополнительные расходы времени на подготовку, техническое обслуживание, ремонт вагонов; – качества предоставленных услуг как процент случаев несохранности перевозки; – надежность времени прибытия грузов. Приведенные показатели далее вводятся в модель совместимой работы нескольких вагонных парков в виде факторов риска (технологических и экономических).

При исследовании вопроса по эффективности организации совместимой работы вагонных парков операторов и инвентарного парка необходимо учитывать разные параметры одного из главных показателей – оборот вагонов, а также плату за подачу порожних вагонов.

Оборот вагона включает время доставки груза от подъездных путей отправления к подъ-

ездным путям назначения, время доставки порожних вагонов (груз на своих осях). Уменьшение этого показателя позволяет снизить количество парка вагонов, потребного для выполнения запланированных перевозок грузов, снизить себестоимость перевозок, увеличить прибыли операторской компании – владельца подвижного состава. Как известно, нормативные сроки доставки грузов вычисляются с 24 часа даты принятия груза к перевозке, а размеры сроков доставки грузов определяются, исходя из расстояния. За несвоевременную доставку грузов и порожних вагонов, которые принадлежат предприятиям – клиентам или операторам перевозок, в соответствии с требованиями Устава железных дорог Украины дороги обязаны возместить получателю штраф. Отмеченные положения позволяют оценить финансовые риски, которые возникают при железнодорожных перевозках.

Сравнение показателя оборота грузового вагона инвентарного парка и собственных вагонов операторов позволяет установить их различия, состоящие в следующем. В обороте вагонов инвентарного парка учитываются  $t_{\text{груз}}$  – среднее время нахождения вагона под одной грузовой операцией (часов), а также  $k_{\text{м}}$  – коэффициент местной работы железной дороги, дирекции. В то же время в [1] для расчета времени оборота вагонов учитываются  $t_{\text{груз}}$  – среднее время нахождения вагона собственности операторской компании под одной грузовой операцией (часов), и  $k_{\text{сдв}}$  – коэффициент сдвоенных операций выгрузки и погрузки. Другие характеристики оборота вагонов указанных категорий являются одинаковыми. В связи с тем, что у собственных вагонов операторов чаще имеет место обратный пробег в порожнем состоянии за счет средств операторов; параметр  $k_{\text{сдв}} = 2$ , потому что осуществляются обе операции выгрузки и погрузки.

Разработанная в [1, 2] методика расчета ПВПОК в основном учитывает технологию взаимодействия между компаниями операторов и предприятиями Укрзализныци, нормативный оборот грузовых вагонов, статическую нагрузку, а в определенной степени также и неравномерность процесса перевозок и обслуживания технических средств железных дорог Украины (в форме коэффициентов неравномерности).

Отметим некоторые ограничения на использование представленного выше метода расчета ПВПОК. Во-первых, предполагается, что каждый вагон оператора будет иметь один

полигон курсирования и перевозить один вид груза. Во-вторых, оператор имеет достаточный ресурс для приобретения, содержания и управления потребным парком. При этом не учитываются его потенциальные риски, связанные с возможными изменениями объемов перевозок, либо конкуренцией на рынке транспортных услуг. В-третьих, вид зависимости рационального потребного парка вагонов от объемов перевозки при вариации условий может быть изменен, и он все же не учитывается при расчетах. При оценке числа вагонов необходимо учитывать как нелинейную модель зависимости потребного парка от объемов перевозки (значит и эксплуатационных и др. затрат), так и линейную модель зависимости прибыли от собственного парка [1]. Критерием выбора при расчетах потребного парка вагонов собственности операторов следует считать минимум дополнительного суммарного экономического риска при организации процесса перевозок, оценивая и возможности использования вагонов инвентарного парка.

Будем рассчитывать оценку рационального потребного вагонного парка операторов, исходя из следующих положений.

1. Зависимость рационального количества собственных вагонов от объемов перевозки не одинакова для различных родов подвижного состава, объемов перевозок грузов, районов курсирования вагонов.

2. При планировании необходимо учитывать риск 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.

3. В методе расчетов необходимо согласование взаимодействия вагонных парков различных собственников, как при формировании парков и планировании работы, так и при выполнении грузовых перевозок.

#### **Модель и метод расчета оптимального потребного парка вагонов операторов с учетом условий риска**

Построим математическую модель задачи расчета оценки оптимального ПВПОК, предназначенной для нахождения части от заданного объема перевозок, которую следует выполнять собственными вагонами. Отличаем модели является учет рисков при формировании потребного парка вагонов операторов (ППВО). В связи с тем, что в экономической и другой литературе нет однозначного и установившегося по-

нятия риска, далее риски понимаются как возможные дополнительные затраты или недополучение прибыли, связанные с реализацией грузовых перевозок. Эти возможные затраты, представляющие финансовые оценки рисков, сопоставляются с затратами и другими условиями по организации перевозок при частичном использовании вагонов инвентарного парка. Такая интерпретация соответствует содержанию рисков как оценкам (объективным, субъективным, статистическим и др.) возможностей наступления каких-либо ожидаемых событий или же отклонениям рассматриваемых величин от эталонных (плановых и др.) значений с позиций лиц, принимающих решения.

В качестве критерия оптимального выбора используем минимум суммарного экономического риска при выполнении перевозки.

При выборе видов потенциально возможных и значимых рисков для представления в модели учитываются неопределенности в оценках ряда характеристик процессов перевозки. К ним относятся 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, а также качество услуг в виде сохранности перевозимых грузов. Эти последние характеристики для вагонных парков операторов и инвентарного парка, как известно, оказываются различными [1 ... 3].

Формализацию задачи по расчету ПВПОК на основе финансовых рисков проведем по следующей схеме. Планируемый объем перевозок разделим на две составляющие

$$Q = Q_{св} + Q_{инп}; \quad Q_{исв}; Q_{инп} \quad (5)$$

где  $Q_{инп}$  – планируемая перевозка вагонами инвентарного парка в период  $T_i$ ,  $Q_{исв}$  – планируемая перевозка вагонами собственного парка оператора в период  $T_i$ ,  $Q_{св}$  – планируемая перевозка вагонами собственного парка,  $Q_{инп}$  – планируемая перевозка вагонами инвентарного парка.

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  $P_{исв}(\Delta)$ ;  $P_{инп}(\Delta)$ .

Финансовые риски при перевозках собственным парком вагонов можно представить в следующем виде:

$$\Delta E_{icb} = [\Delta Q_{icb} = (Q_{icb} - Q_{icb}(N_{cb}))] P_{icb} e_q, \quad q = \overline{1,2} \quad (6)$$

где  $Q_{icb}$  – соответствует (5),  $Q_{icb}(N_{cb})$  – действительная реализация перевозки собственным парком вагонов операторов для периода  $T_k$ , ожидаемая с вероятностью  $P_{icb}(\Delta)$ .

С помощью оценок рисков по периодам  $T_k$  (6) может быть рассчитана интегральная оценка экономического риска от перевозки  $Q_{cb}$  собственным парком операторов согласно

$$E_{cb}^{(p)} = \begin{cases} \sum_i \Delta Q_{icb} P_{icb}^{(+)} e_1; \Delta_i^{cb} > 0 \\ \sum_i |\Delta Q_{icb}| P_{icb}^{(-)} e_r; \Delta_i^{cb} < 0 \end{cases}, \quad (7)$$

где  $P_{icb}^{(+)}, P_{icb}^{(-)}$  – оценки вероятностей событий при  $\Delta \geq 0$  и  $\Delta < 0$  соответственно.

$$E_{инп}^{(p)} = \begin{cases} \sum_i \Delta Q_i P_{инп}^{(+)} e_3; \Delta_i^{инп} > 0 \\ \sum_i |\Delta Q_i| P_{инп}^{(-)} e_4; \Delta_i^{инп} < 0 \end{cases}. \quad (8)$$

Так же формируются оценки финансовых рисков при перевозках грузов вагонами инвентарного парка. Выполнив подобные построения, получаем модель вида (8). В уравнении (8) характеристики  $e_3$  и  $e_4$  содержательно соответствуют дополнительным затратам ( $e_1, e_2$ ), но представляют свойства перевозок вагонами инвентарного парка.

Величины (7), (8) 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 на основе такого же подхода к моделированию процессов. Для расчетов 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:

$$E_{\Sigma}(N) = E_{пок}(N) + E_{рем}(N) + E_{эксп}(N) + E_{упр}(N) + E_{cb}^{(p)}(N) + E_{инп}^{(s)}(N) \rightarrow \min_{Q_{cb}} \quad (9)$$

где  $E_{пок}(N)$  – затраты на приобретение вагонов,  $E_{рем}(N)$  – затраты на ремонт,  $E_{эксп}(N)$  – затраты, связанные с эксплуатационными расходами,  $E_{упр}(N)$  – управление вагонным парком,  $E_{cb}^{(p)}(N), E_{инп}^{(s)}(N)$  – дополнительные финансовые риски из-за неравномерности доставки грузов.

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

Схема алгоритма расчета рационального парка ППВО  $N^*$  может быть представлена следующими укрупненными операторами.

1. Задать предполагаемый объем  $Q_{cb}$  (5).
2. Оценить  $N_{cb}(Q_{cb}): N_{cb} = \Psi(Q_{cb})$ .
3. Вычислить оценки затрат (6) – (8), компоненты (9).
4. Перебором  $Q_{cb}$  найти  $\min E_{\Sigma}(N)$  (9).

В связи с высокой ответственностью решения о парке собственных вагонов операторской компании реализация экстремальной задачи (9) выполняется методом перебора. В модель могут быть введены дополнительные ограничения (финансовые, технологические, организационные) на отдельные составляющие  $E_{пок}(N), E_{рем}(N), E_{эксп}(N), E_{упр}(N)$ , а также на суммарный объем используемых ресурсов вида

$$E_{пок}(N) + E_{рем}(N) + E_{эксп}(N) + E_{упр}(N) + E_{cb}^{(p)}(N) + E_{инп}^{(s)}(N) \leq E_{const}. \quad (10)$$

На этапе 2 приведенного алгоритма расчета ПВПОК использован оператор  $N_{cb}(Q_{cb}): N_{cb} = \Psi(Q_{cb})$ , который позволяет рассчитать рациональное количество собственных вагонов оператора на основе предполагаемого объема перевозки  $Q_{cb}$ , используя квадратические модели зависимости числа вагонов от  $Q_{cb}$ , предложенные в работе [1], или же другие подобные зависимости, полученные на основе анализа данных автоматизированных систем железнодорожного транспорта (в том числе АСК ВП УЗ) о реализации процессов грузовых перевозок. При вычислении характеристик рисков на этапе 3 алгоритма могут быть использованы модели по расчету ожидаемых оценок прибыли, представленные в [1, 2].

Для реализации предложенной модели по оценке парка ППВО необходимо рассчитать вероятностные меры рисков  $P_{icв}(\Delta)$ ,  $P_{ипп}(\Delta)$  и других. Они могут быть получены на основе анализа данных мониторинга процесса перевозок по данным автоматизированной системы АСК ВП УЗ. При этом в зависимости от объема, характера исследуемых данных и их интерпретации можно построить различные классы математических моделей, представляющих задачу выбора оптимального потребного парка вагонов операторов. Так при использовании нечетких и интервальных мер для оценок рисков,  $\bar{P}_i$  [4], получают соответствующие нечеткие и интервальные модели задачи выбора ПВПОК.

Остановимся на вопросе анализа данных и расчета рисков, связанных с неравномерностью процессов грузовых перевозок, полученных на основе результатов мониторинга процессов грузовых перевозок средствами автоматизированных систем Укрзализныци. На рис. 1, рис. 2 представлены некоторые типичные данные, характеризующие неравномерность процессов эксплуатации собственных вагонных парков, принадлежности Украины и России. Это касается как сдачи, так и приема вагонов. Рис. 1 отражает характер встречных перевозок порожних вагонов. Рис. 2 показывает, что сдача груженых полувагонов собственников Украины имела в представленном периоде большую неравномерность, чем собственники России

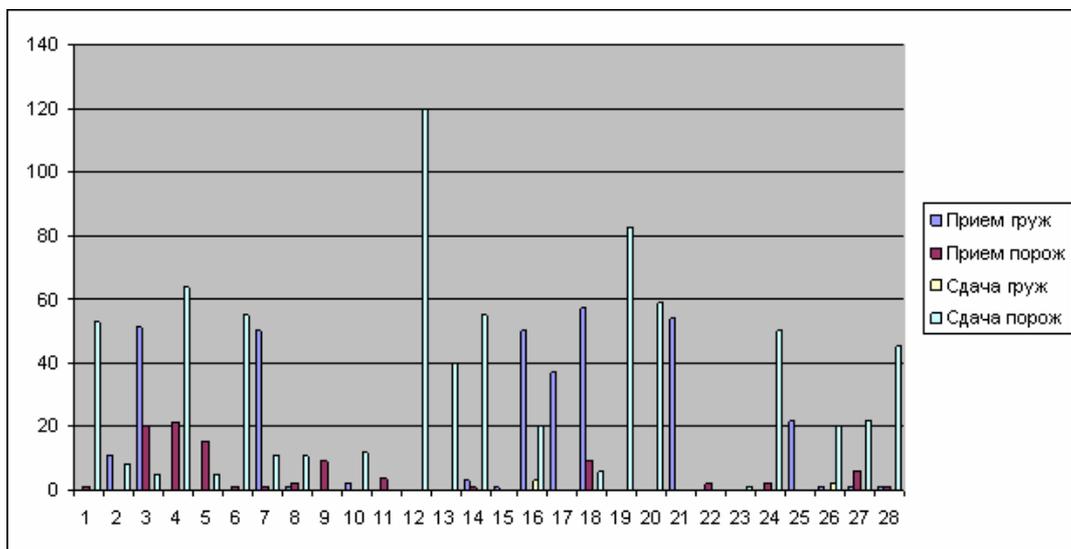


Рис. 1. Учет обмена по стыкам с РЖД собственными полувагонами

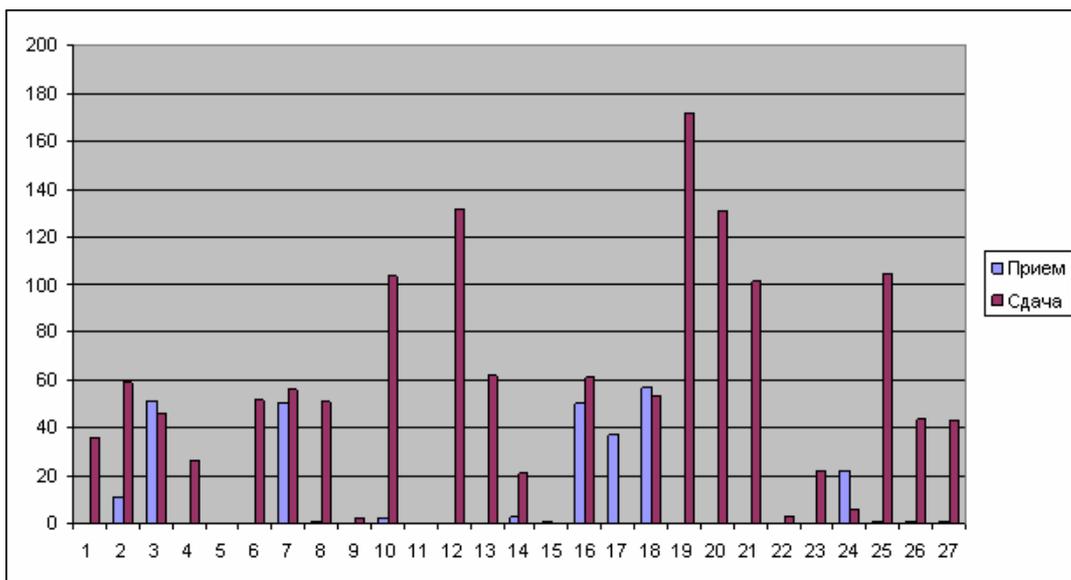


Рис. 2. Анализ перехода по стыкам собственных груженых полувагонов (УЗ)

Причем, отмечается сдача порожняка, который в значительной степени мог бы перекрыть потребности в перевозках. Результаты мониторинга показывают, что предположение методики [1] о равномерности перевозок не совсем оправдывается. Объемы перевозок вагонами операторских компаний не были высокими, с учетом отмеченных возможных рисков в доставке грузов в срок они вполне могли быть выполнены вагонами инвентарного парка, по крайней мере, в некотором установленном количестве.

### **Выводы**

Проблема оценки рациональной потребности в собственном вагонном парке операторских компаний и промышленных предприятий должна решаться, исходя из требований минимизации технолого-экономических рисков, возникающих при доставке грузов с учетом современных требований к перевозкам. Разработанная в статье модель и метод по расчету потребного парка вагонов собст-

венников учитывает условия неполноты информации на этапе планирования, и служит основанием для систематизации информации и более полной оценки возможностей использования инвентарного парка при организации грузовых перевозок.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Кулешов В. В. Удосконалення технології перевезень вагонами операторських компаній на основі ресурсозбереження // Автореф. дис. на здобуття наук. ступ. канд. техн. наук, Харків, – 2006. – 20 с.
2. Данько М. І., Кулешов В. В. Визначення парку вагонів операторських компаній для забезпечення перевезень вантажів залізничним транспортом // Зб. наукових праць / УкрДАЗТ, вип. 57, 2004. – С. 121 – 128.
3. Тишкин Е. М. Информационно-управляющие технологии эксплуатации вагонного парка. Труды ВНИИАС, вып. 4. – Москва: 2004. – 184 с.
4. Згуровский М. З. Интегрированные системы управления и проектирования. – Киев: Высшая школа, 1990. – 351 с.

Поступила в редколлегию 15.05.07.