



Оценка последствий несвоевременного транспортного обслуживания цехов предприятия



Алексей ПОПОВ
Alexey T. POPOV

Ольга ВОРОНИНА
Olga V. VORONINA



Попов Алексей Тимофеевич – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой организации перевозок Липецкого государственного технического университета (ЛГТУ), Липецк, Россия.

Воронина Ольга Вадимовна – аспирант кафедры организации перевозок ЛГТУ, Липецк, Россия.

Estimation of Consequences of Untimely Transport Service of Shops of the Enterprise

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 75)

В реальных условиях график транспортного обслуживания производственных цехов очень часто нарушается, возникают межоперационные простои технических средств, устройств грузовых фронтов, производственных агрегатов и подвижного состава. Авторы предлагают перейти к адаптивной форме графика организации перевозок посредством динамической транспортной задачи с задержками в сетевой постановке. Основной критерий оптимизации – минимальные транспортно-производственные расходы. В статье представлена методика расчёта стоимостных параметров, позволяющая определить затраты на компоненты транспортного процесса, характерные для металлургического комбината. Приведён расчёт стоимостных коэффициентов на примере перевозок, необходимых доменному цеху.

Ключевые слова: организация перевозок, металлургический комбинат, железнодорожный транспорт, транспортно-производственные расходы, динамическая транспортная задача с задержками, стоимостные параметры.

На основании результатов исследований, приведённых в [1, 2], авторы пришли к выводу, что добиться на производстве снижения транспортных расходов и себестоимости готовой продукции можно, отказавшись от жёсткого закрепления подвижного состава за отдельными перевозками, фиксированного количества вагонов в подаче, времени оборота вагонов, интервала их отправления и перейдя к новой форме организации внутризаводских перевозок, когда перечисленные параметры становятся управляемыми в оперативном режиме [2].

Производство выдвигает достаточно жёсткие требования к транспорту, поставки должны вестись вовремя и в необходимом (требуемом) объёме, подразделения предприятия полностью подчиняют функционирование транспорта под свои нужды. В условиях неравномерности производственных процессов, их неритмичности спасают ситуацию лишь гибкая форма организации перевозок по контактному графику, позволяющему удовлетворять потребности цехов с минимальными потерями для транспорта.

ОБОСНОВАНИЕ МОДЕЛИ

В статье [5] авторы предлагают рассчитывать контактный график в условиях изменяющейся во времени загруженности станций с помощью имитационной модели со встроенным аппаратом управления потоками по конечным ритмам. В работе [6] систематизируются факторы, влияющие на полноту и своевременность удовлетворения потребности производственных подразделений в перевозках, и предлагается система приоритетов, на основе которой создана математическая модель для определения очередности подач-уборок вагонов на фронты погрузки/выгрузки.

В другом случае [7] фигурируют модель организации неразветвленных перевозок, модель перевозок в группе с общим резервом, модель перевозок в группах с арендой. Под арендой понимается динамический резерв первого рода [8, с. 22], представляющий собой обмен вагонами между струями с обязательным возвратом арендованных вагонов под перевозку груза, за которым они закреплены.

В основу своей математической модели положим динамическую транспортную задачу с задержками (ДТЗЗ) в сетевой постановке [9, 10], которая относится к задачам линейного программирования. В работах зарубежных авторов [11–14] подробно рассмотрены алгоритмы для аналогов такого вида. В одном из источников [15] описываются классические методы оптимизации и предлагается использовать динамическую оптимизацию в теории производства.

Отмечаются следующие недостатки линейного программирования: отсутствие зависимости между удельными транспортными расходами и состоянием подвижного состава (порожнее или гружёное) [16, 17], неопределённости с оценкой стоимости транспортировки от цеха-поставщика к цеху-потребителю [18]. Разработанная авторами методика расчёта стоимостных коэффициентов учитывает и позволяет устранить эти недостатки.

При применении ДТЗЗ в сетевой постановке потребовалась коррекция методики определения стоимости транспортировки вагона; стоимости хранения порожнего и гружёного вагонов; стоимости нахождения локомотива вместе с вагонами во вре-

мя подачи/уборки вагонов на фронты погрузки/выгрузки, в моменты непосредственно выгрузки/погрузки вагонов, во время межоперационных простоев и хранения груза на станции; величины упущенной выгоды поставщиков и потребителей вследствие несвоевременной подачи порожних или гружёных вагонов.

Известны объёмы производства x цехов-производителей $a_i = \{a_i(t_{im})\}$, $i = \overline{1, x}$, $m = \overline{1, k_i}$ и объёмы спроса у цехов-потребителей $b_j = \{b_j(t_{jn})\}$, $j = \overline{1, y}$, $n = \overline{1, l_j}$, где $t \in Z$, $Z = \{1, 2, \dots, T\}$, k_i — число выдач груза i -м цехом-производителем за рассматриваемый период времени, l_j — число случаев возникновения спроса на груз j -м цехом-потребителем, t_{im} — момент времени m -й выдачи груза i -м цехом-производителем, t_{jn} — момент времени n -го возникновения спроса j -го цеха-потребителя на груз, где $\forall t_{im} \exists a_i(t_{im}) \neq 0$, $\forall t_{jn} \exists b_j(t_{jn}) \neq 0$. При этом время движения от цехов-поставщиков до цехов-потребителей $t = \|t_{ij}\|$, $i = \overline{1, x}$, $j = \overline{1, y}$.

Выявлены связи C между цехами-поставщиками и цехами-потребителями $C(A_{im}, B_{jn}) \subset C$ при наличии следующих условий: отсутствии передачи резервов между цехами-поставщиками $C(A_{im}, A_{i+1, m}) = 0$; отсутствии обмена резервами между цехами-потребителями $C(B_{jn}, B_{j+1, n}) = 0$; отсутствии передачи запасов у цехов-производителей $C(A_{im}, A_{i, m+1}) = 0$; ограничении пропускной способности связей $d(A_{im}, B_{jn}) = d_{ij}(t_{im})$.

Транспортно-производственные расходы при транспортировке продукции определим следующим образом:

при $t_{jn} - t_{im} \geq t_{ij}$ (рис. 1)

$$S(C(A_{im}, B_{jn})) = S_{ij} + S_j^x(t_{jn} - t_{im} - t_{ij}); \quad (1)$$

при $t_{jn} - t_{im} < t_{ij}$ (рис. 2)

$$S(C(A_{im}, B_{jn})) = S_{ij} + S_j^o(t_{im} + t_{ij} - t_{jn}), \quad (2)$$

где S_{ij} — стоимость транспортировки единицы подвижного состава от i -го цеха-производителя до j -го цеха-потребителя;

S_j^x — затраты на хранение единицы подвижного состава в течение единицы времени у j -го цеха-потребителя;

S_j^o — стоимость затрат j -го цеха-потребителя из-за несвоевременного прибытия единицы подвижного состава в единицу времени;



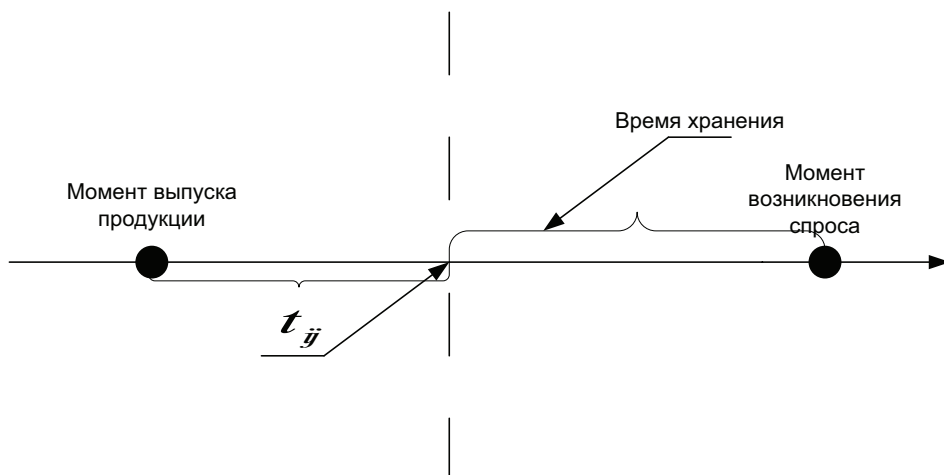


Рис. 1. Преждевременное прибытие груза в пункт назначения.

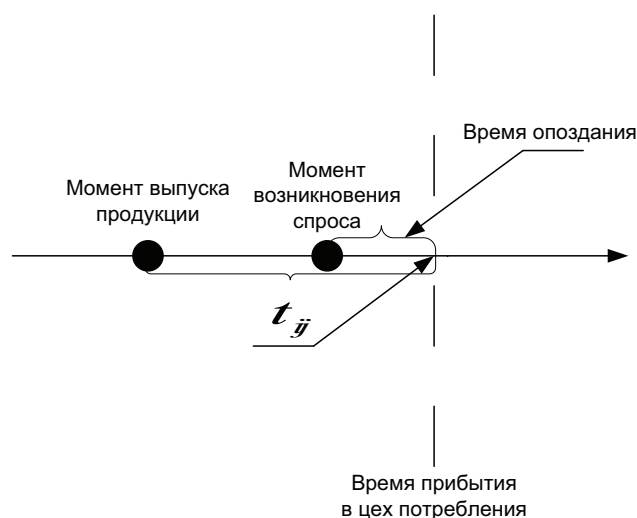


Рис. 2. Прибытие груза в пункт назначения с опозданием.

$(t_{jn} - t_{im} - t_{ij})$ – время нахождения продукции в резерве;

$(t_{jn} - t_{im})$ – интервал времени между моментом производства груза и моментом его потребления;

$(t_{im} + t_{ij} - t_{jn})$ – время опоздания продукции к моменту спроса на неё.

$$\sum_c \in S(C(A_{im}, B_{jn})) P(A_{im}, B_{jn}) \rightarrow \min, \quad (3)$$

где $P(A_{im}, B_{jn})$ – план перевозок по сети при наличии следующих условий для ограничений: потребления без остатка цехами-потребителями однократного единовременного объёма производства цехов-поставщиков $P(A_{im}, B) = a_i(t_{im})$; абсолютного удовлетворения однократного единовременного спроса цехов-потребителей $P(A, B_{jn}) = b_j(t_{jn})$; учёта пропускной способности сети $0 \leq P(A_{im}, B_{jn}) \leq d_{ij}(t_{im})$; статиче-

ского баланса объёмов производства и потребления

$$\sum_{i=1}^x \sum_{m=1}^{k_i} a_i(t_{im}) = \sum_{j=1}^y \sum_{n=1}^{l_j} b_j(t_{jn});$$

динамического баланса объёмов производства и потребления для каждого интервала $t_{im} \leq T_0 - t_{ij}$

$$\text{и } t_{jn} \leq T_0 \sum_{i=1}^x \sum_{m=1}^{k_i} a_{im}(t_{im}) \geq \sum_{j=1}^y \sum_{n=1}^{l_j} b_{jn}(t_{jn}).$$

Это означает, что для любого момента времени спроса на груз сумма предыдущих объёмов потребления не должна превышать сумму предыдущих объёмов производства продукции за время $[0; T_0 - t_{ij}]$, т.е. произведённых раньше рассматриваемого момента времени спроса на груз на время

движения от цеха-поставщика до цеха-потребителя t_{ij} .

МЕТОДИКА РАСЧЁТА СТОИМОСТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

Данные по объёму производства и потребления в сутки цехами-поставщиками и цехами-потребителями (в вагонах), моменты времени возникновения «предложения» на груз, спроса на «груз» и их количество, время движения от цехов-производителей к цехам-поставщикам (в минутах) определены для расчёта стоимостных показателей на основе проведённых исследований с использованием статистических материалов и существующего графика организации внутривозовских перевозок на металлургическом комбинате. Следует отметить, что содержательное значение выражения «момент времени возникновения «предложения» на груз» эквивалентно выражению «момент времени спроса на порожние вагоны» цехами-поставщиками, а момент времени спроса на груз аналогично равносителен моменту времени предложения порожних вагонов потребителями поставщикам. То есть очевидно, что производство и транспорт являются единой системой, и взаимовыгодное сотрудничество между ними пойдёт на пользу обеим сторонам.

1. Определение стоимости перевозки порожнего и гружёного вагонов от поставщика до потребителя:

$$S_{ij} = \frac{S_B + S_P + S_G + S}{N_B}, \quad (4)$$

где S_L — затраты на использование локомотивов; S_B — затраты на использование вагонов; S_P — затраты на содержание путей, по которым осуществляется перевозка; S_G — стоимость транспортировки груза, находящегося в вагонах; N_B — количество участвующих в перевозке вагонов.

$$S_L = \sum T_L \cdot e_L, \quad (5)$$

где $\sum T_L$ — количество локомотиво-часов, необходимых для осуществления перевозки; e_L — стоимость 1 локомотиво-часа, по данным мая 2017 года $e_L = 2493,78$ руб.

$$S_B = N_B \cdot e_B \cdot t_{ij}, \quad (6)$$

где e_B — стоимость 1 вагоно-часа, по данным мая 2017 года $e_B = 41,98$ руб.; t_{ij} — продолжительность транспортировки от i -го поставщика к j -му потребителю.

$$S_P = \frac{C_L}{L \cdot T_P} \cdot l_{ik} \cdot t_{ij}, \quad (7)$$

где C_L — общие годовые затраты цеха пути на содержание всей протяжённости верхнего строения; $C_L = L \cdot S_W + n \cdot S_C = 67094821,32$ руб.; L — общая протяжённость железнодорожных путей комбината, $L = 510$ км; T_P — годовой фонд времени, в течение которого производится эксплуатация железнодорожных путей; $T_P = 8760$ часов; l_{ik} — протяжённость железнодорожных путей, по которым на i -й станции выполняются операции по транспортному обслуживанию k -го цеха и по которым происходит транспортировка вагонов от поставщика до потребителя, км; S_W — стоимость содержания 1 км пути в течение года, $S_W = 104382,80$ руб.; S_C — стоимость содержания стрелочного перевода в течение года, $S_C = 9454,02$ руб.; n — количество стрелочных переводов, $n = 1466$ [19].

$$S_G = \frac{q_B \cdot N_B \cdot S_H}{8760} \cdot t_{ij}, \quad (8)$$

где q_B — однократный объём перевозки (q_B принимаем равной грузоподъёмности вагона, т); S_H — средняя цена 1 т груза; 8760 — количество часов в году.

Следует отметить, что в условиях металлургического предприятия себестоимость перевозок 1 тонны груза незначительно зависит от дальности транспортировки [19].

2. Определение стоимости хранения порожнего и гружёного вагонов.

Из-за более раннего, чем требует основное производство, прибытия сырья или подвижного состава потребитель несёт затраты, связанные со складированием.

При расчёте стоимости хранения одного порожнего/гружёного вагона в единицу времени (время хранения примем равным 1 часу) используем такое понятие, как «стоимость груза на колёсах». Отличие только в том, что расчёт стоимости ведётся не на годовой объём перевозок, а на объём груза одного вагона.

Стоимость грузов «на колёсах» S_Y определяется по формуле [20]:

$$S_Y = \frac{Q_P \cdot S_H \cdot T_H}{8760}, \quad (9)$$

где Q_P — годовой объём перевозок, т; S_H — средняя цена 1 т груза, тыс. руб.; T_H — сред-



Таблица 1

Внутризаводские перевозки по обслуживанию доменного цеха

Наименование груза	Станция отправления	Станция назначения	Род вагона	Грузоподъемность вагона, т
Колошниковая пыль	В	Б	полувагон	64
Колошниковая пыль	Г	Б	полувагон	64
Аспирационная пыль	В	Б	полувагон	64
Аспирационная пыль	В	Б	полувагон	64
Коксовые отходы	В	Б	полувагон	61
Отсев агломерата, окатышей	В	А	хоппер	63

Таблица 2

Коэффициент расхода сырья и материалов, выхода готовой продукции и отходов производства на 1 т агломерата и кокса [22]

Потребность		Выход	
Сырьё и материалы	Коэффициент расхода на 1 т продукции k_x	Продукция и отходы производства	Коэффициент на 1 т продукции k_y
I. Аглофабрика			
Руда железная	0,8–1,00	Агломерат	1,00
Руда марганцевая	0,01–0,1		
Известняк, доломит	0,49		
Колошниковая пыль	0,02–0,04		
Коксик, коксовая мелочь	0,072–0,156		
Окалина	0,00–0,03		
II. Коксохимический цех			
Уголь коксующийся	1,27–1,3	Кокс	1,00
Прочие	0,002–0,004	В том числе:	
		коксик	0,020
		химпродукты	0,053

нее время доставки груза, ч; 8760 – количество часов в году.

В предлагаемой методике стоимость хранения гружёного вагона S_G^X на путях станции складывается из стоимости груза в вагоне, стоимости использования вагона (затрат на использование вагона) и затрат на содержание железнодорожных путей, на которых осуществляется хранение грузов в вагонах, а стоимость хранения порожнего вагона S_P^X – из стоимости использования подвижного состава и затрат на содержание путей.

$$S_G^X = \left(\frac{q_B \cdot S_H}{8760} + e_B \right) \cdot \left((T_H - t_{ij}) + (t_{jn} - t_{im} - t_{ij}) \right) + \left(\frac{C_L}{L \cdot T_P} \cdot l_P^G \cdot (t_{jn} - t_{im} - t_{ij}) \right), \quad (10)$$

$$S_P^X = e_B \cdot \left((T_Q - t_{ij}) + (t_{jn} - t_{im} - t_{ij}) \right) + \left(\frac{C_L}{L \cdot T_P} \cdot l_P^P \cdot (t_{jn} - t_{im} - t_{ij}) \right), \quad (11)$$

где t_{im} – момент времени m -й выдачи груза i -м цехом-производителем; t_{jn} – мо-

мент времени n -го возникновения спроса j -го цеха-потребителя на груз; q_B – однократный объём перевозок (q_B принимаем как эквивалент грузоподъёмности вагона, т); S_H – средняя цена 1 т груза; T_H – среднее время доставки груза; T_Q – среднее время доставки порожнего вагона; 8760 – количество часов в году; l_P^G и l_P^P – протяжённость железнодорожных путей, на которых на i -й станции происходит хранение гружёного/порожнего вагона, км.

Среднее время доставки груза включает в себя затраты на транспортировку груза, подачу/уборку вагонов на грузовые фронты, выгрузку/погрузку составов, межоперационные простои [20].

3. Определение стоимости нахождения локомотива вместе с гружёными вагонами S_{LB}^G и вместе с порожними вагонами S_{LB}^P во время подачи/уборки вагонов на фронты погрузки/выгрузки, в моменты выгрузки/погрузки вагонов, во время межоперационных простоев и хранения груза на станции $((T_{H/Q} - t_{ij}) + (t_{jn} - t_{im} - t_{ij}))$.

Таблица 3

Коэффициент расхода сырья и материалов, выхода готовой продукции и отходов производства на 1 т чугуна [23]

Груз	Откуда (куда)	Коэффициент расхода (выхода) груза т/т чугуна с полезным объёмом печи		
		менее 5000	5000	5500
Прибытие				
Кокс	КХЦ	0,56	0,375	0,37
Агломерат	АФ	1,547	1,00	0,837
Руда железная	РЖД	0,10	0,055	0,055
Окатыши	РЖД	0,15	0,68	0,81
Известняк	РЖД	0,055	0,063	0,063
Известь для опрыскивания шлаковозов	ЦИО	0,0004	0,0004	0,0004
Песок для заправки желобов на печах	РЖД	0,0045	0,001	0,001
Огнеупорные массы:				
а) лёточная и футлярная – кокс	КХЦ	0,0007	0,0007	0,0007
– глина	РЖД	0,0003	0,0003	0,0003
– шамотный порошок	РЖД	0,0004	0,0004	0,0004
– углеродистая добавка	РЖД	0,0003	0,0003	0,0003
– масса каменноугольная	РЖД	0,0003	0,0003	0,0003
б) для заправки желобов на печах – карборундовый порошок	РЖД	0,001	0,0005	0,0005
– коксик	КХЦ	0,0005	0,0003	0,0003
– пек каменноугольный	РЖД	0,0002	0,0001	0,0001
– глина огнеупорная	РЖД	0,0003	0,0001	0,0001
Отправление				
Чугун	ЭСПЦ, ККЦ, РЖД, РМ, ЦИ	1,00	1,00	1,00
Шлак	УГГ, УШП, УЛФЩ, УФСЦК	0,55	0,325	0,325
Колошниковая пыль уловленная (60 % от общего выноса)	АФ	0,046	0,015	0,015
Отсев мелочи из кокса (6,5 % от веса скипового кокса)	АФ, Б	0,036	0,0244	0,0244
Отсев мелочи из агломерата (5 % от веса)	АФ	0,077	0,05	0,042
Отсев мелочи из окатышей (2 % от веса)	АФ	0,003	0,014	0,016
Потери чугуна в скрап у печи	СРБ	0,0105	0,0095	0,0095
Мусор	О	0,0086	0,0041	0,004

Принятые обозначения: АФ – агломерационная фабрика, Б – блюминг, ККЦ – кислородно-конвертерный цех, КХЦ – коксохимический цех, О – отвал, РМ – разливочная машина, СРБ – скрапоразделочная база, УГГ – установки гидрожелобной грануляции, УЛФЩ – установки по производству литого фракционированного шебня, УФСЦК – установки по производству литого фракционированного шебня из ковшевых остатков, УШП – установки по производству шлаковой пемзы, ЦИ – цех изложниц, ЦИО – цех известковообжиговый, ЭСПЦ – электросталеплавильный цех.

$S_{LB}^G = e_L \cdot ((T_H - t_{ij}) + (t_{jn} - t_{im} - t_{ij})), \quad (12)$

$S_{LB}^P = e_L \cdot ((T_Q - t_{ij}) + (t_{jn} - t_{im} - t_{ij})), \quad (13)$

где T_H – среднее время доставки груза; T_Q – среднее время доставки порожнего вагона; t_{ij} – продолжительность транспортировки от i -го поставщика к j -му потребителю.

В тех случаях, когда локомотив находится с вагонами в течение времени $((T_{H/Q} - t_{ij}) + (t_{jn} - t_{im} - t_{ij}))$, составляющие (12) или (13) добавляются в стоимость хранения порожнего/гружёного вагона в единицу времени.

4. Определение упущенной выгоды поставщиков и потребителей вследствие несвоевременной подачи порожних или гружёных вагонов.

Необходимо рассчитать потенциальные убытки, возможные потери потребителя из-за опоздания груза, поставщика – из-за отсутствия порожних вагонов под погрузку. Из-за опоздания одной единицы груза на единицу времени потребитель несёт ущерб S^o .

При разработке методики авторы рассмотрели два варианта расчёта потенциальных убытков.



Таблица 4

Расчёт стоимости транспортировки одного гружёного S_{ij}^G и порожнего S_{ij}^P вагонов

Наименование груза	ΣT_L , ч	S_L , руб.	N_B , ваг.	t_{ij} , ч	S_B , руб.	L_A , км	S_P , руб.	S_G , руб.	S_{ij}^G , руб.	S_{ij}^P , руб.
Колошниковая пыль	0,5	1246,89	1÷3	0,5	41,98	9,72	72,99	8,77	685,32	680,93
Колошниковая пыль	1,0	2493,78	1÷3	1,0	83,96	11,22	168,50	17,53	1381,89	1373,12
Аспирационная пыль	0,5	1246,89	2÷6	0,5	83,96	9,72	72,99	17,53	355,34	350,96
Аспирационная пыль	0,5	1246,89	2÷6	0,5	83,96	9,72	72,99	17,53	355,34	350,96
Коксовые отходы	0,5	1246,89	8÷23	0,5	335,84	9,72	72,99	140,38	112,26	103,48
Отсев агломерата, окатышей	0,5	1246,89	9÷15	0,5	251,88	9,23	69,31	117,80	140,49	130,67

Таблица 5

Расчёт стоимости хранения порожнего S_P^X и гружёного S_G^X вагонов в единицу времени
($t_m - t_{im} - t_{ij} = 1$ ч)

Наименование груза	q_B , т	S_B , руб.	T_H , ч	L_P^G , км	S_G^X , руб.	T_Q , ч	L_P^P , км	S_P^X , руб.
Колошниковая пыль	64	1200	27,5	0,36	1426,33	20,5	0,25	885,33
Колошниковая пыль	64	1200	27,0	0,36	1375,58	21,0	0,25	906,33
Аспирационная пыль	64	1200	15,5	0,36	817,36	8,5	0,25	381,57
Аспирационная пыль	64	1200	15,5	0,36	817,36	8,5	0,18	380,52
Коксовые отходы	61	2520	15,5	0,37	958,00	8,5	0,18	380,52
Отсев агломерата, окатышей	63	2730	5,67–14,17 (принято 10,5)	0,20	680,75	5,0	0,18	233,59

Таблица 6

Определение стоимости нахождения локомотива вместе с гружёными/порожними вагонами

Наименование груза	T_H , ч	T_Q , ч	t_{ij} , ч	S_{LB}^G , руб.	S_{LB}^P , руб.
Колошниковая пыль	27,5	20,5	0,5	67332,06	49875,60
Колошниковая пыль	27,0	21,0	1,0	64838,28	49875,60
Аспирационная пыль	15,5	8,5	0,5	37406,70	19950,24
Аспирационная пыль	15,5	8,5	0,5	37406,70	19950,24
Коксовые отходы	15,5	8,5	0,5	37406,70	19950,24
Отсев агломерата, окатышей	5,67–14,17 (принято 10,5)	5,0	0,5	29925,36	11222,01

1-й вариант. Расчёт стоимости потерь продукции от недопоставки одного порожнего/гружёного вагона с использованием коэффициентов $k_{X/Y}$:

$$S^O = \frac{q_B}{k_{X/Y}} \cdot S_t, \quad (14)$$

где q_B – грузоподъёмность вагона; $k_{X/Y}$ – коэффициенты расхода сырья и материалов k_X и выхода готовой продукции и отходов производства k_Y на 1 т продукции соответственно; S_t – стоимость 1 т продукции.

2-й вариант. Расчёт стоимости потерь с учётом часового выхода готовой продукции, т.е. сколько продукции было бы произведено в час, если бы поставку осуществили вовремя:

$$S^O = q_{CH} \cdot S_P, \quad (15)$$

где q_{CH} – часовой выход продукции, $q_{CH}^A = 1783$ т/ч агломерата, $q_{CH}^{CH} = 394$ т/ч чугуна.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На примере группы перевозок, необходимых для транспортного обслуживания доменного цеха (таблица 1), рассчитаем стоимость транспортировки S_{ij} , стоимость хранения S^X , стоимость опоздания S^O порожнего/гружёного вагона в единицу времени; стоимость нахождения локомотива вместе с гружёными или порожними вагонами – S_{LB}^G и S_{LB}^P соответственно.

Для осуществления расчёта примем, что стоимость колошниковой и аспирационной пыли составляет 5–8 % от себестоимости чугуна, а коксовой мелочи – 8–10 % себестоимости кокса [21]. Стоимость отсева агломерата, окатышей будем считать равной средней себестоимости агломерата.

Средние цены отечественных производителей на металлы и сырье без учёта НДС, акцизов, транспортных издержек состав-

Расчёт стоимости потерь продукции от недопоставки одного порожнего S_G^o / гружёного S_P^o вагонов с использованием k_{xy} (первый вариант)

Наименование груза	Колошниковая пыль	Аспирационная пыль	Коксовые отходы	Отсев агломерата, окатышей
S_G^o , тыс. руб.	27826,09	41290,32	1460,79	15750,00
S_P^o , тыс. руб.	27826,09	41290,32	33888,89	15750,00

ляют: агломерат железорудный – 2730 руб.¹ за 1 т; чугун переделный – 20 000 руб.² за 1 т; кокс – 28 000 руб.¹ за 1 т.

Значения коэффициентов расхода сырья k_x и коэффициентов выхода отходов производства k_y на 1 т продукции указаны в таблицах 2 и 3.

Результаты расчётов представлены в таблицах 4, 5, 6 и 7.

При расчёте S_{LB}^G и S_{LB}^P слагаемое $(t_{jn} - t_{im} - t_{ij})$ принято равным нулю. Это означает, что в случае вынужденного хранения грузов на путях железнодорожной станции локомотив вместе с вагонами в ожидании не участвует.

Представленный расчёт ведётся на доменную печь с полезным объёмом менее 5000 м³.

1-й вариант. Результаты расчёта по первому варианту сведены в таблицу 7, ниже по тексту приведены несколько примеров с объяснением расчёта. Приведён пример расчёта стоимости потерь продукции в связи с опозданием одного порожнего вагона под погрузку колошниковой пыли или несвоевременной уборкой одного гружёного ею с железнодорожных путей.

Коэффициент выхода колошниковой пыли с 1 т чугуна составляет $k_{ykp} = 0,046$ (таблица 3). Грузоподъёмность $q_B = 64$ т. Стоимость 1 т чугуна $S_{tch} = 20000$ руб. =>

$$S_{KP}^o = \frac{64}{0,046} \cdot 20000 = 27826086,96 \text{ руб.}$$

Приведён пример расчёта стоимости потерь продукции в связи с опозданием одного порожнего вагона под погрузку коксовых отходов.

Коэффициент выхода коксовых отходов с 1 т чугуна составляет $k_{yko} = 0,036$ (таблица 3). Грузоподъёмность $q_B = 61$ т. Стои-

мость 1 т чугуна $S_{tch} = 20000$ руб. =>

$$S_{KO}^o = \frac{61}{0,036} \cdot 20000 = 33888889 \text{ руб.}$$

Приведён пример расчёта стоимости потерь продукции в связи с опозданием одного гружёного вагона под выгрузку коксовой мелочи на агломерационную фабрику.

Коэффициент расхода коксовой мелочи на 1 т агломерата составляет $k_{xkm} = 0,114$ (таблица 2). Грузоподъёмность $q_B = 61$ т. Стоимость 1 т агломерата $S_{ta} = 2730$ руб. =>

$$S_{KM}^o = \frac{61}{0,114} \cdot 2730 = 1460789,47 \text{ руб.}$$

2-й вариант. Расчёт стоимости потерь относительно однократного выпуска продукции.

Опоздание одного порожнего вагона под погрузку колошниковой пыли/аспирационной пыли/отсева агломерата, окатышей/коксовых отходов или несвоевременная уборка одного гружёного ими вагона с железнодорожных путей.

Стоимость 1 т чугуна $S_{tch} = 20000$ руб. => $S^o = 394 \cdot 20000 = 7880000$ руб.

Опоздание одного гружёного вагона под выгрузку коксовой мелочи на агломерационную фабрику.

Стоимость 1 т агломерата $S_{ta} = 2730$ руб. => $S_{GKM}^o = 1783 \cdot 2730 = 4867590$ руб.

Из двух приведённых вариантов расчёта стоимости потерь продукции в связи с несвоевременной подачей порожнего/гружёного вагона первый вариант с точки зрения авторов понятнее и нагляднее.

Выводы

Предложенная методика расчёта стоимостных параметров при применении в комплексе с динамической транспортной задачей с задержками в сетевой постановке позволит не только составить оптимальный план перевозок по критерию минимума транспортно-про-

¹ Крупнейшая база данных по рынку металлов в открытом доступе. [Электронный ресурс]: <http://infogeo.ru>. Доступ 17.05.2017;

² Интернет-магазин по продаже чугуна и чугунных изделий. [Электронный ресурс]: <http://chugun.ru>. Доступ 17.05.2017.



изводственных расходов, но и оценить в денежном эквиваленте последствия вынужденного нахождения порожних/гружёных вагонов на путях железнодорожных станций в ожидании грузовых операций, несвоевременного прибытия порожних/гружёных вагонов на фронты погрузки/выгрузки.

Совместное использование математического аппарата ДТЗЗ и разработанной методики делает возможным учитывать полученные стоимостные коэффициенты не только в статическом состоянии, но и в динамике расчётного периода вычислительного эксперимента. Это помогает учитывать и оценивать влияние возникающих в процессе транспортировки нестандартных ситуаций различного рода, срочных, сверхсрочных и аварийных ситуаций, скачкообразных повышений и уменьшений объёмов производства цехов предприятия. Аналогично тот же принцип распространяется и на величину стоимости хранения гружёного/порожнего вагона, и на величину стоимости возникающих потерь и ущербов цехов-потребителей и цехов-поставщиков.

Методика является универсальной для любого рода промышленных предприятий независимо от характера их деятельности. Следует при этом помнить, что размеры упущенной выгоды нелинейно зависят от размерности решаемой задачи, количества цехов-поставщиков и цехов-потребителей, и чем крупнее рассматриваемая система, тем шире возможности управления и значим результат расчёта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Попов А. Т., Воронина О. В. Проблемы существующей организации внутризаводских перевозок в условиях металлургического комбината // Современные проблемы транспортного комплекса России. — 2014. — № 5. — С. 29–37.
2. Попов А. Т., Воронина О. В. Исследование влияния неритмичности производственных процессов на количество вагонов в обороте // Транспорт Урала. — 2016. — № 3. — С. 54–59.
3. Перепелюк А. В., Хоружий А. С. Экономика промышленного транспорта металлургии. — М.: Металлургия, 1982. — 190 с.

4. Экономика и организация промышленного транспорта: Учебник / Под ред. Н. П. Журавлёва, И. С. Беседина. — М.: Желдориздат, 2001. — 440 с.
5. Козлов П. А., Четвериков В. А. Автоматизация расчёта контактного графика транспортного обслуживания производства // Промышленный транспорт XXI век. — 2010. — № 3. — С. 32–34.
6. Новиков А. С. Оптимизация рабочего парка вагонов промышленных предприятий на основе системы приоритетов управления перевозочным процессом / Дис... канд. техн. наук. — Магнитогорск, 2008. — 155 с.
7. Кудряшова М. С. Совершенствование организации технологических перевозок в транспортных системах металлургических комбинатов / Дис... канд. техн. наук. — М., 1985. — 226 с.
8. Козлов П. А., Козлова В. П. Оптимизация функциональной структуры транспортного узла // Наука и техника транспорта. — 2005. — № 1. — С. 17–31.
9. Миловидов С. П., Козлов П. А. Динамическая транспортная задача с задержками в сетевой постановке // Известия АН СССР. Техническая кибернетика. — 1982. — № 1. — С. 211–212.
10. Попов А. Т. Оптимизация взаимодействия технологического железнодорожного транспорта и производства (на примере металлургического комбината) / Дис... канд. техн. наук. — М., 1984. — 237 с.
11. Форд Л., Фалкерсон Д. Потоки в сетях: Пер. с англ. — М.: Мир, 1966. — 276 с.
12. Ford L. R., Fulkerson D. R. Constructing Maximal Dynamic Flows from Static Flows // Operations Research, Vol. 6, Iss. 3, 1958, pp. 419–433.
13. Филлипс Д., Гарсиа-Диас А. Методы анализа сетей: Пер. с англ. — М.: Мир, 1984. — 496 с.
14. Месарович М., Мако Д., Такахара И. Теория иерархических многоуровневых систем: Пер. с англ. — М.: Мир, 1973. — 342 с.
15. Интрилигатор М. Математические методы оптимизации и экономическая теория: Пер. с англ. — М.: Айрис-пресс, 2002. — 576 с.
16. Казовский И. Г. Рационализация перевозок грузов на железных дорогах. — М.: Транспорт, 1977. — 280 с.
17. Осьминин А. Т. Рациональная организация вагонопотоков на основе методов многокритериальной оптимизации / Автореф. дис... док. техн. наук. — Самара, 2000. — 48 с.
18. Промышленный транспорт / Под общ. редакцией А. Т. Дерибаса. — М.: Транспорт, 1974. — 560 с.
19. Сулова О. А. Оптимизация технологического процесса промышленного железнодорожного транспорта металлургического комбината / Дис... канд. техн. наук. — Липецк, 2006. — 210 с.
20. Тихонов К. К. Техничко-экономические расчёты в эксплуатации железных дорог. — М.: Изд-во МПС, 1962. — 252 с.
21. Банний Н. П., Банний Д. Н. Техничко-экономические расчёты в чёрной металлургии. — М.: Металлургия, 1979. — 393 с.
22. Баландюк Г. С., Куртуков Я. М. Технология работы железнодорожного транспорта металлургических заводов. — М.: Металлургия, 1985. — 256 с.
23. Попов А. Т., Сулова О. А., Либерман Б. А. Методические указания к курсовому и дипломному проектированию «Генеральные планы и транспорт промышленных предприятий». — Липецк: ЛГТУ, 2004. — 27 с. ●

Координаты авторов: **Попов А. Т.** — popov@stu.lipetsk.ru, **Воронина О. В.** — lelechka7@bk.ru.

Статья поступила в редакцию 02.10.2017, принята к публикации 17.01.2018.