

О моделировании взаимодействия железнодорожного и автомобильного транспорта при завозе-вывозе грузов

УДК 656.225:65.012.2

Д.В.Ломотько (ассистент ХарГАЖТ)

Одним из важнейших направлений повышения конкурентоспособности железных дорог является комплексное транспортное обслуживание клиентуры, то есть предоставление сервисных услуг при отправлении и доставке грузов “от двери до двери”.

Чтобы в районе тяготения выполнять комплекс услуг по завозу-вывозу грузов, агентский пункт комплексного транспортного обслуживания (АПКТО) должен иметь в собственности или арендовать автотранспорт, соответствующий наиболее удовлетворению потребностей клиентуры.

В дальнейших рассуждениях будем ориентироваться на решение проблемы завоза-вывоза грузов, перевозимых в контейнерах. Это связано с тем, что для контейнерных отправок в условиях рынка транспортных услуг завоз-вывоз груза приобрел особую важность. Причины этого в возрастающей конкуренции с автотранспортом, в значительном уменьшении объемов перевозок мелкими отправлениями и преимущественном обслуживании повагонных отправок на подъездных путях. Поэтому для этих видов отправок вопросы завоза-вывоза грузов не являются остро актуальными.

В целях определения эффективности оказания АПКТО услуги по завозу-вывозу грузов предложено осуществить имитационное моделирование процесса взаимодействия железнодорожного и автомобильного транспорта на основе математического аппарата дискретных сетей Петри /1/.

Моделирование при помощи сетей Петри обусловлено применимостью их к рассматриваемым технологическим процессам из-за простого проектирования, быстрого моделирования и несложного формального описания. Замена в сетях временных связей причинно-следственными дает возможность более наглядно описать структурные особенности функционирования системы взаимодействия автомобильного и железнодорожного транспорта.

Укрупненная схема для построения модели взаимодействия железнодорожного и автомобильного транспорта при завозе-вывозе грузов в контейнерах приведена на рисунке 1.

Задача моделирования взаимодействия автомобильного и железнодорожного транспорта - максимизация разности затрат клиента $F_{КЛ}$ при самозавозе-самовывозе и $F_{АПКТО}$ агентского пункта при оказании им услуги по завозу-вывозу грузов. При этом для АПКТО должна обеспечиваться прибыль $ПР_{АПКТО}$ для различных начальных условий. Это укрупненно можно представить как

$$\begin{cases} Z = [F_{KL}(Z_{ABT}, Z_{KONT}, Z_{IP}, Z_{PB}) - F_{АПКТО}(Z_{ABT}, Z_{KONT}, Z_{IP}, Z_{PB})] \rightarrow \max, \\ IP_{АПКТО} > 0 \end{cases}, \quad (1)$$

где Z_{ABT} - затраты, необходимые на приобретение или аренду автотранспорта, грн./год;

Z_{KONT} - затраты клиента или АПКТО на обработку контейнеров, грн./год;

Z_{IP} - экономические потери, связанные с ожиданием автомобилей погрузки, выгрузки и пр., грн./год;

Z_{PB} - затраты клиента или АПКТО, связанные с выполнением погрузочно-выгрузочных работ, грн./год.

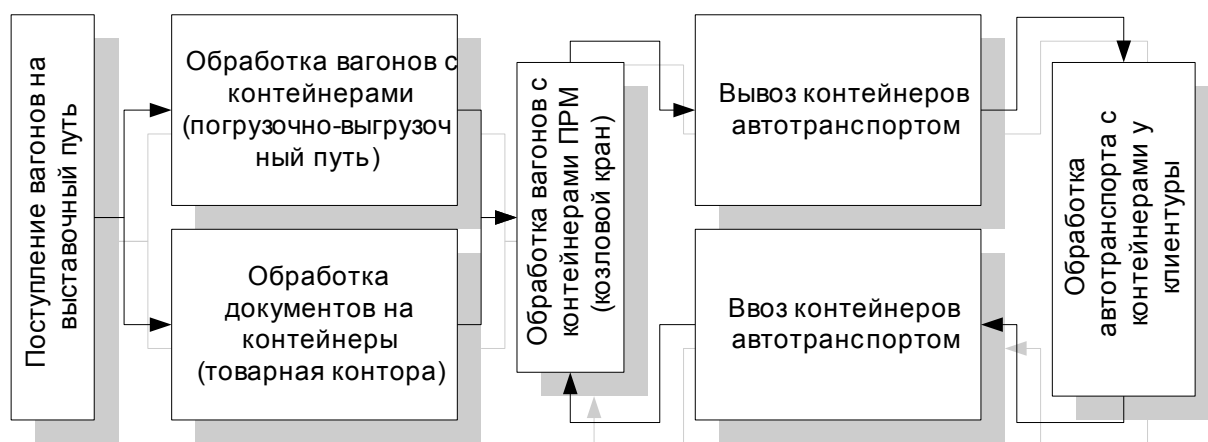


Рисунок 1 - Укрупненная схема модели взаимодействия автомобильного и железнодорожного транспорта при завозе-вывозе грузов

При этом

$$Z_{ABT} = 365m_{авт} C_{ач} T_p, \quad (2)$$

где $m_{авт}$ - количество автомобилей, осуществляющих ввоз-вывоз контейнеров;

$C_{ач}$ - стоимость часа работы автомобиля, грн.;

T_p - расчетная занятость автомобиля в течение суток, ч (в случае собственного автотранспорта $T_p=24$ ч; при арендованном автотранспорте T_p устанавливается моделированием).

$$Z_{KONT} = 365(T_{апкто} m_k + \sum_{i=1}^{N_{кл}} T_{кл i} m_{гт i}) C_{кч}, \quad (3)$$

где $T_{апкто}$ - продолжительность нахождения контейнера на АПКТО, ч;

m_k - наличие контейнеров к вывозу на АПКТО;

$N_{\text{кл}}$ - количество обслуживаемых клиентов;

$T_{\text{кл } i}$ - продолжительность нахождения контейнеров у i -го клиента, ч;

$m_{\text{ГТ } i}$ - наличие контейнеров у i -го клиента;

$C_{\text{кч}}$ - ставка контейнерочаса, грн.

$$Z_{\text{пр}} = 365 T_{\text{ож}} C_{\text{ач}}, \quad (4)$$

где $T_{\text{ож}}$ - продолжительность ожидания автомобилями грузовых операций у клиента или на станции в период занятости фронта погрузки-выгрузки, технологических перерывов, неготовности контейнеров и т.д., ч.

$$Z_{\text{пв}} = 365 n_{\text{оп}} m_{\text{к}} C_{\text{пв}}, \quad (5)$$

где $n_{\text{оп}}$ - количество грузовых операций с каждым контейнером, $n_{\text{оп}} = 2$;

$C_{\text{пв}}$ - ставка сбора за погрузку или выгрузку контейнера, грн.

$$\text{ПР}_{\text{АПКТО}} = 365 \sum_{j=1}^{N_3} Z_j (k_p - 1), \quad (6)$$

где N_3 - количество категорий затрат, которые несет АПКТО при осуществлении завоза-вывоза;

Z_j - j -й вид затрат АПКТО, грн. (см. выше);

k_p - коэффициент рентабельности тарифа на услугу.

С учетом схемы, приведенной на рисунке 1, рассмотрим модель взаимодействия железнодорожного и автомобильного видов транспорта при завозе-вывозе грузов. При этом принимаем ряд допущений:

- каждый вагон, поданный на контейнерный пункт станции, загружен 10 контейнерами;

- контейнер может считаться готовым к погрузке в автотранспорт только в том случае, если он подан на контейнерный пункт и документы на контейнер обработаны;

- все клиенты разделены (сегментированы) на три категории (сегмента) в зависимости от расстояния до контейнерного пункта, то есть находящиеся на расстоянии до 5 км; от 5 до 10 км; свыше 10 км;

- в каждом сегменте клиентуры контейнеры к отправлению готовятся через интервал времени, определяемый при моделировании.

Структура модели на сети Петри задается совокупностью множеств

$$C = \{P, T, I, O, F, M_0\}, \quad (7)$$

где P - конечное множество позиций;

T - конечное множество переходов;

I - множество входных дуг (входная функция);

O - множество выходных дуг (выходная функция);

F - множество интервалов задержки срабатывания перехода;

M₀ - начальная маркировка позиций сети.

При этом множество переходов и позиций не пересекаются, то есть

$$P \cap T = \emptyset. \quad (8)$$

В то же время

$$P = \begin{pmatrix} P_1 & T_1 & k_{11} \\ \dots & \dots & \dots \\ P_i & T_j & k_{ij} \\ \dots & \dots & \dots \\ P_n & T_m & k_{nm} \end{pmatrix}; T = \begin{pmatrix} T_1 & P_1 & k_{11} \\ \dots & \dots & \dots \\ T_i & P_j & k_{ij} \\ \dots & \dots & \dots \\ T_m & P_n & k_{mn} \end{pmatrix}; I = \begin{pmatrix} s_1 & g_1 & e_1 \\ \dots & \dots & \dots \\ s_i & g_i & e_i \\ \dots & \dots & \dots \\ s_m & g_m & e_m \end{pmatrix};$$

$$O = \begin{pmatrix} s_1 \\ \dots \\ s_i \\ \dots \\ s_m \end{pmatrix}; F = \begin{pmatrix} \tau_1 \\ \dots \\ \tau_i \\ \dots \\ \tau_m \end{pmatrix}; M_0 = \begin{pmatrix} \mu_1 \\ \dots \\ \mu_i \\ \dots \\ \mu_n \end{pmatrix}, \quad (9)$$

где k - кратность соответствующих дуг;

n, m - соответственно количество позиций и переходов;

s_i - количество синтезирующих дуг, входящих в i-й переход (для множества I) или выходящих из i-го перехода (для множества O);

g_i - количество ингибиторных дуг, входящих в i-й переход;

e_i - количество тестовых дуг, входящих в i-й переход;

μ_i - маркировка i-й позиции.

Переход T_i считаем разрешенным в момент t_{ср} для всех позиций P_j, если для всех синтезирующих и тестовых дуг в момент t_z, входящих в него выполняется условие

$$\mu(P_j) \geq \#(P_j, I(T_i)), \quad (10)$$

а для ингибиторных дуг -

$$\mu(P_j) = 0, \quad (11)$$

Общий вид модели взаимодействия железнодорожного и автомобильного транспорта при завозе-вывозе контейнеров представлен на рисунке 2.

Для исключения неоднозначности в функционировании модели и её зацикливания предложено использовать ингибиторные дуги и переключатель /2/, приведенный на рисунке 3.

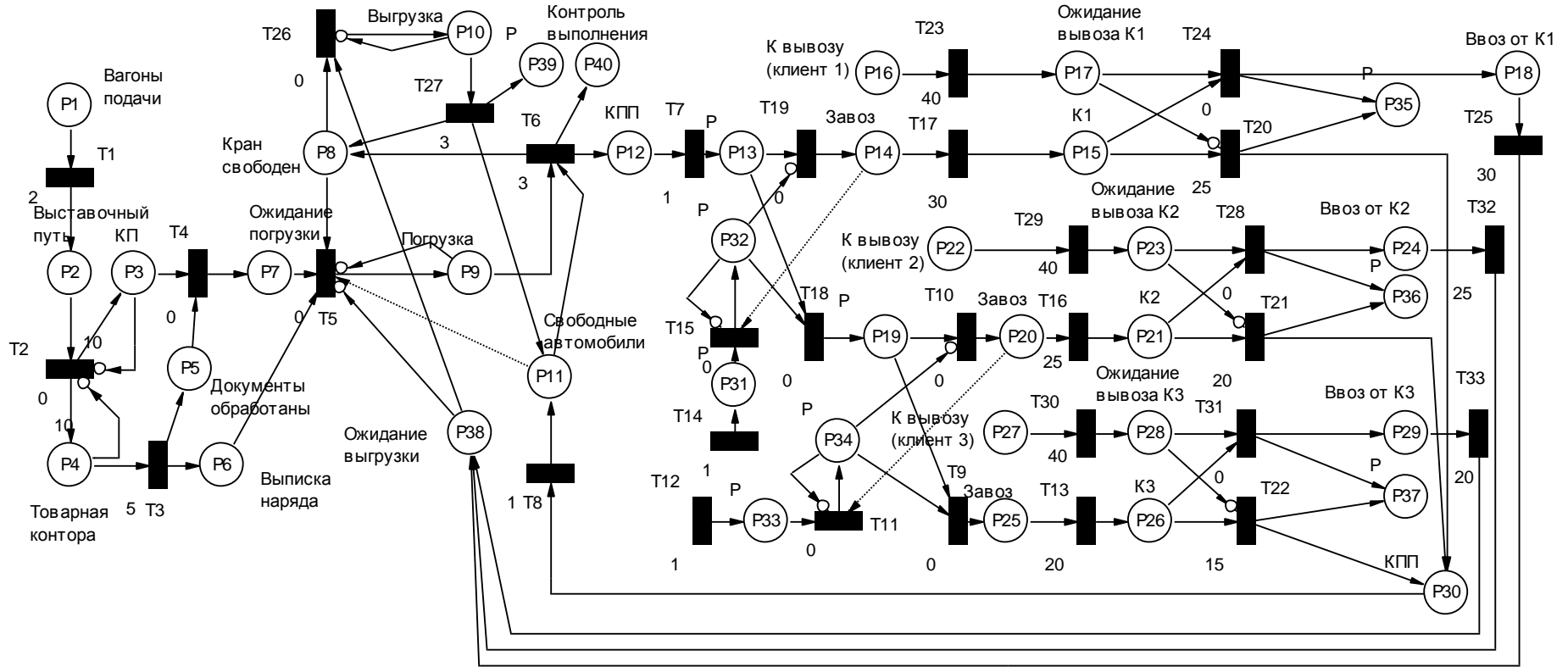


Рисунок 2 - Общий вид модели взаимодействия железнодорожного и автомобильного транспорта при заводе-вывозе контейнеров

Такой переключатель разрешает неоднозначность в функционировании позиции P1 при наличии в ней маркера. Переход T1 будет разрешен только в случае, если в позиции P2 маркер отсутствует. При наличии маркера в позиции P2 будет разрешен переход T2.

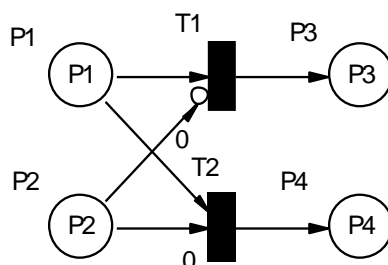


Рисунок 3 - Переключатель на сети Петри

В качестве полигона исследований модели взаимодействия железнодорожного и автомобильного транспорта при завозе-вывозе грузов была выбрана опорная грузовая станция Б харьковского железнодорожного узла.

Для построения модели использован ряд технологических параметров, приведенных в /3/, и собраны выборочные данные о работе станции. Эти данные сведены в таблицу 1.

Таблица 1 - Характеристика технологических параметров, являющихся исходными данными для моделирования

Параметр	Позиция или переход	Наименование	Рекомендуемая величина
$m_{\text{под}}$	P1	Количество вагонов в подаче	1, 2, 4
$m_{\text{авт}}$	P11	Количество автомобилей, участвующих в работе	1, 2, 3
$m_{\text{ГТ1}}$	P16	Наличие груженых контейнеров у 1 сегмента клиентов	1, 2, 9
$m_{\text{ГТ2}}$	P22	То же у 2 сегмента клиентов	1, 2, 9
$m_{\text{ГТ3}}$	P27	То же у 3 сегмента клиентов	1, 2, 9
$t_{\text{под}}$	T1	Продолжительность подачи вагонов, мин.	15
$t_{\text{тк}}$	T3	Технологическое время на обработку документов на контейнер, мин.	3
$t_{\text{па}}$	T6	Продолжительность погрузки контейнера в автомобиль, мин.	3
$t_{\text{кпв}}$	T7	Продолжительность обработки автомобиля на контрольно-пропускном пункте станции (КПП) по вывозу, мин.	3
$t_{\text{кпвв}}$	T8	Продолжительность обработки автомобиля на КПП по ввозу, мин.	3
t_{33}	T13	Продолжительность движения автомобиля при завозе контейнеров в 3 сегмент клиентов, мин.	20
t_{32}	T16	То же во 2 сегмент, мин.	25

Продолжение таблицы 1

$t_{з1}$	T17	То же в 1 сегмент, мин.	30
$t_{пор1}$	T20	Продолжительность порожнего рейса автомобиля от 1 сегмента клиентов, мин.	25
$t_{пор2}$	T21	То же от 2 сегмента, мин.	20
$t_{пор3}$	T22	То же от 3 сегмента, мин..	15
$t_{гр1}$	T25	Продолжительность груженого рейса автомобиля от 1 сегмента клиентов, мин.	30
$t_{ва}$	T27	Продолжительность выгрузки контейнера из автомобиля, мин.	3
$t_{гр2}$	T32	Продолжительность груженого рейса автомобиля от 2 сегмента клиентов, мин.	25
$t_{гр3}$	T33	То же от 3 сегмента клиентов, мин.	20

В результате моделирования установлено максимальное количество контейнеров, ожидающих вывоза, и время окончания процесса завоза-вывоза от момента начала моделирования. На основании этого сделан вывод о допустимости того или иного варианта завоза-вывоза при одно- и двухсменном режиме работы, что приведено в таблице 2. Также определена занятость автомобилей в течение суток в зависимости от предполагаемого объема завоза-вывоза, конт./сут. (минимальный объем, средний объем, максимальный объем) и количества обслуживающих автомобилей, что приведено на рисунке 4.

Таблица 2 - Установление допустимости вариантов завоза-вывоза

Количество автомобилей	Количество контейнеров к вывозу								
	10			20			40		
	макс кол-во ожидающих контейнеров	Время окончания, мин.	вывод о допустимости варианта	макс кол-во ожидающих контейнеров	время окончания, мин.	вывод о допустимости варианта	макс кол-во ожидающих контейнеров	время окончания, мин.	вывод о допустимости варианта
1	9	530	I	18	1081	II	37	>1440	не доп.
2	8	277	I	16	535	I	33	1123	II
3	7	153	I	14	336	I	30	758	I
Примечание. I - допускается при работе в одну смену; II - допускается при двухсменной работе; не доп. - не допускается.									

Загрузка погрузочно-выгрузочных машин в зависимости от объема завоза-вывоза и количества автомашин составила от 5,1% до 23,4%, что позволяет сделать вывод о достаточности принятого их количества (один козловой кран типа КК-6) и наличии резерва на случай увеличения объема переработки.

Сравнение себестоимости завоза-вывоза контейнера показало, что она во всех случаях при самовывозе выше, чем при обслуживании через АПКТО. Это позволяет сделать вывод о ценовой привлекательности для клиентуры варианта завоза-вывоза грузов через АПКТО, с

одной стороны, и возможности получения прибыли АПКТО, - с другой. Сравнение себестоимости приведено на рисунке 5.

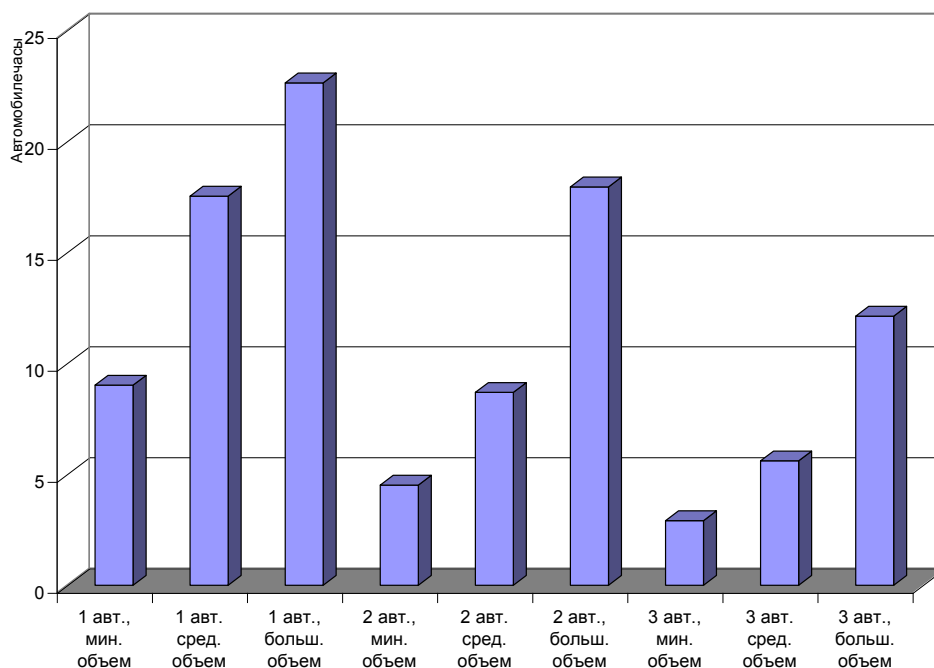


Рисунок 4 - Занятость одного автомобиля в течение суток

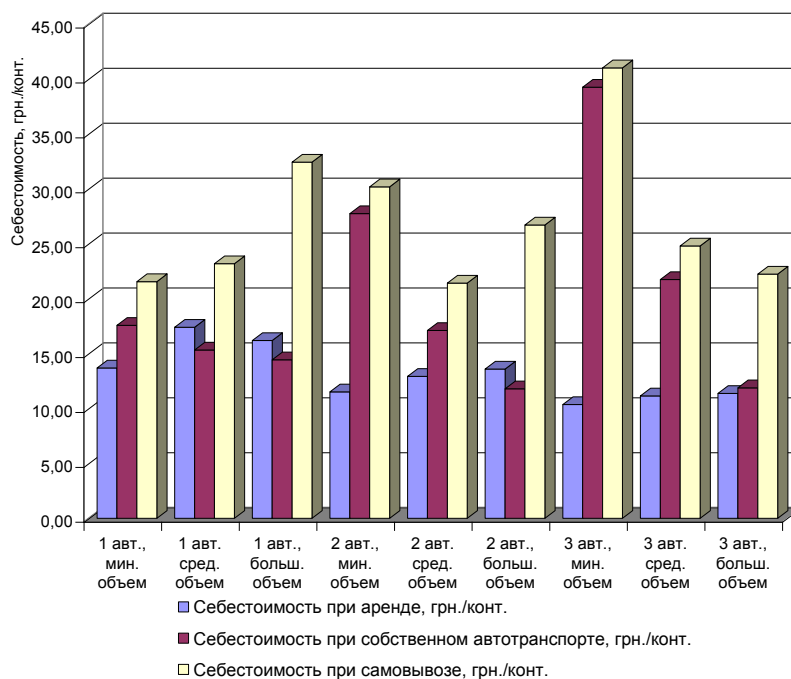


Рисунок 5 - Сравнение себестоимости при различных вариантах обслуживания

На основании анализа результатов моделирования выгода клиента Z (по сравнению с самозавозом-самовывозом) для наиболее вероятного объема работы составит порядка 6,75 грн./конт. Поэтому для АПКТО станции можно рекомендовать односменный режим

работы тремя арендованными автомобилями. В этом случае ожидаемая прибыль АПКТО от завоза-вывоза составит около 37 тыс. грн./год.

В перспективе, с учетом возможного увеличения объемов работы, можно рекомендовать АПКТО двухсменный режим работы двумя собственными автомобилями. В этом случае ожидаемая прибыль АПКТО от завоза-вывоза составит более 100 тыс. грн./год., а клиент получит дополнительную выгоду в размере 7,60 грн./конт.

Таким образом, предложенная модель взаимодействия автомобильного и железнодорожного транспорта на сети Петри основана на рыночно-ориентированном критерии оптимизации процесса завоза-вывоза грузов на станцию. Проведенное моделирование процесса завоза-вывоза контейнеров позволило дать приведенные выше рекомендации по организации завоза-вывоза для АПКТО станции Б. Надеемся, что проведенное исследование процесса завоза-вывоза еще раз подтверждает обоснованность вывода об эффективности работы клиентуры через АПКТО.

Перечень использованных источников

1. Лескин А.А., Мальцев П.А., Спиридонов А.М. Сети Петри в моделировании и управлении Л.: Наука, 1989, 133 с.
2. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем. М.: Мир, 1984.- 246 с.
3. Типовой технологический процесс работы грузовой станции. М.: Транспорт, 1991. - 216 с.