

УДК 656.223

КОЗАЧЕНКО Д.Н., (ДНУЖТ);

ВЕРНИГОРА Р.В., (ДНУЖТ);

ВЕРЛАН А.И., (ООО «Трансинвестсервис»).

## **Оценка эффективности маршрутизации перевозки массовых грузов железнодорожным транспортом в современных условиях**

---

### **Введение**

Современные условия эксплуатации железнодорожного транспорта характеризуются дефицитом грузовых вагонов. В этой связи задача повышения эффективности использования грузовых вагонов в настоящее время является очень актуальной. Особо острой данная задача становится при использовании для перевозок собственных вагонов, стоимость аренды которых в 2,8-3,5 раза превышает стоимость аренды инвентарных вагонов Укрзалізничці.

Одним из эффективных способов снижения расходов в логистических цепях поставки грузов является отправительская маршрутизация. Существующая методика определения эффективности различных способов организации вагонопотоков ориентирована на использование парка инвентарных вагонов и базируется на аналитических методах, а также данных отраслевой статистики [1]. Однако, в настоящее время значительный объем перевозок осуществляется в собственных вагонах. Так, в 2012 году среднесуточный рабочий парк собственных вагонов в Украине составляет более 65% (132 тыс.) от общего парка, в т.ч. вагонов украинских собственников около 50% (100 тыс.) от общего рабочего парка. При этом в логистической цепи перевозочного процесса задействованы разные участники (грузоотправитель, грузополучатель, железная дорога, оператор вагонов), которые имеют свои собственные, часто противоречивые, экономические интересы. Поэтому разработ-

ка общей методики оценки эффективности маршрутизации в современных условиях является затруднительной. В этой связи целесообразным, и наиболее достоверным, способом проверки эффективности маршрутизации вагонопотоков является эксперимент.

---

### **Постановка задачи исследования**

В качестве примера рассмотрена задача повышения эффективности организации порожних вагонопотоков в логистической цепи поставки железорудного сырья из ПАО «Полтавский ГОК» в транспортный узел черноморского морского порта ООО «Трансинвестсервис» (ТИС), где осуществляется его перегрузка на морской транспорт. Существующая организация вагонопотоков предполагает формирование груженых отправительских маршрутов на станции Золотнишино (Южная железная дорога) назначением на промышленную станцию Химическая (транспортный узел ТИС). После выгрузки порожние вагоны следуют в составе передаточных поездов в общем отправляемом вагонопотоке до станции Черноморская (Одесская железная дорога), где после переработки на сортировочной горке из них формируются сквозные поезда на станцию Золотнишино. Целью эксперимента, проведенного на ТИС в период с 19.06.2012 по 12.07.2012, было определение эффективности формирования отправительских маршрутов из порожних вагонов непосредственно на промышленной станции Химическая. Для сравнения ис-

пользовались данные по продвижению вагонов за периоды с 5.06.2012 по 18.06.2012 и с 13.07.2012 по 27.07.2012, когда порожние вагоны направлялись на станцию Черноморская в составах передаточных поездов.

**Анализ результатов исследования**

По результатам реализации эксперимента были получены две выборки значений времени нахождения вагонов в системе «станция Химическая – станция Черноморская»:  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_{n_x}\}$ , соответствующая отправлению порожних вагонов маршрутами (новая технология) и  $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_{n_y}\}$ , соответствующая отправлению порожних вагонов в передаточных поездах (существующая технология).

Для определения параметров этих выборок выполнена их статистическая обработка, по результатам которой построены гистограммы соответствующих распределений (рис. 1).

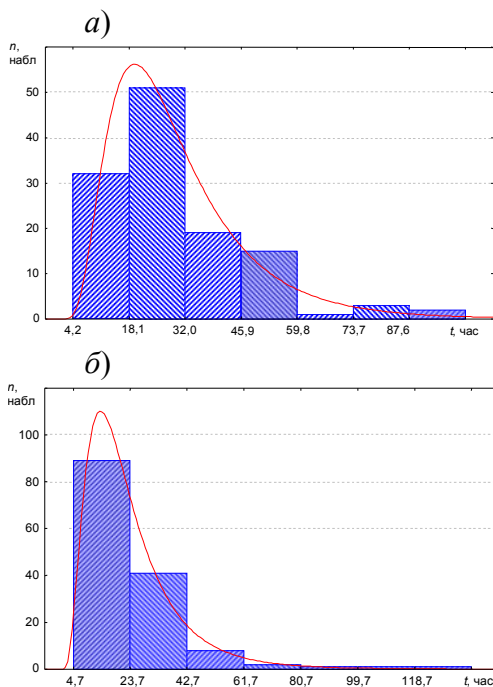


Рис. 1. Гистограммы распределения случайной величины времени нахождения вагона в системе «станция Химическая –

- станция Черноморская»:
- а) новая технология перевозок,
  - б) существующая технология

На основании данных выборок определены статистические оценки математических ожиданий  $\bar{x}$  и  $\bar{y}$ , а также средних квадратических отклонений  $s_x$  и  $s_y$ . При этом, среднее время нахождения порожних вагонов в системе «станция Химическая – станция Черноморская» в условиях маршрутизации порожних вагонопотоков составило  $\bar{x} = 23,7$  ч., а при существующей технологии –  $\bar{y} = 30,0$  ч; среднее квадратическое отклонение составило, соответственно, 17,7 и 17,3 часа.

Для оценки эффективности отправления порожних вагонов маршрутами была выполнена проверка гипотезы о существенном отличии полученных выборок  $X$  и  $Y$ . При этом была выдвинута гипотеза  $H_0$  о том, что эти выборки принадлежат разным генеральным совокупностям, которые имеют разные функции распределения ( $F_X \neq F_Y$ ); конкурирующая гипотеза  $H_1: F_X = F_Y$ .

Для проверки гипотезы о различии двух выборок  $X$  и  $Y$  использован  $U$ -критерий Уилкоксона [2]. Значения критерия Уилкоксона определяются при помощи выражений:

$$u_x = R_x - \frac{n_x(n_x + 1)}{2}$$

$$u_y = R_y - \frac{n_y(n_y + 1)}{2},$$

где  $R_x, R_y$  – сумма рангов, которые соответствуют элементам выборок  $x_i$  ( $i = 1, \dots, n_x$ ) и  $y_j$  ( $j = 1, \dots, n_y$ ).

При проверке гипотезы  $H_0: F_X \neq F_Y$  против конкурирующей гипотезы  $H_1: F_X = F_Y$  принимается двусторонняя критическая область; при этом гипотеза  $H_0$  принимается, если  $\min(u_x, u_y) < U_{n_x, n_y, \alpha}$ . При больших значениях  $n = n_x + n_y$  приближенное значения критического значения  $U_{n_x, n_y, \alpha}$  можно определить как:

$$U_{n_x, n_y, \alpha} \approx \frac{1}{2} n_x n_y - \lambda_q \sqrt{\frac{1}{12} n_x n_y (n_x + n_y + 1)},$$

где  $\lambda_q$  – квантиль порядка  $q$  нормального распределения  $N(0,1)$ .

Квантиль  $q$  определяется по принятому уровню значимости:

$$q = 1 - \frac{\alpha}{2},$$

где  $\alpha$  - уровень значимости (принято  $\alpha = 0,05$ ).

Для рассмотренных выборок  $x_i$  ( $n_x = 143$ ) и  $y_j$  ( $n_y = 123$ ) установлено  $\min(u_x, u_y) = 6296$ , а  $U_{n_x, n_y, \alpha} = 7567,86$ . Таким образом, основная гипотеза  $H_0$  о принадлежности выборок  $X$  и  $Y$  к разным генеральным совокупностям не противоречит экспериментальным данным и может быть принята. Следовательно, можно заключить, что в случае внедрения маршрутизации при перевозке порожних вагонов из-под окатышей их время нахождения в системе «станция Химическая – станция Черноморская» значительно отличается от времени нахождения этих вагонов при существующей технологии. Кроме того, поскольку сумма рангов выборки  $Y$  ( $R_Y = 18919$ ) превышает сумму рангов выборки  $X$  ( $R_X = 16592$ ), то из этого следует, что время нахождения порожних вагонов в системе «станция Химическая – станция Черноморская» при существующей технологии в целом превышает их простой при внедрении маршрутизации.

Учитывая форму гистограмм (рис. 1), при выполнении исследования были выдвинуты гипотезы  $H_x$  и  $H_y$  о том, что случайные величины  $X$  и  $Y$  имеют логарифмически-нормальное распределение.

Для проверки гипотез  $H_x$  и  $H_y$  использован критерий согласия Пирсона  $\chi^2$ :

$$\chi^2 = n \sum_{i=1}^r \frac{(p_i^* - p_i)^2}{p_i},$$

где  $p_i$ ,  $p_i^*$  – соответственно, теоретическая и статистическая вероятности попадания случайной величины в  $i$ -й разряд, вычисленные при принятой гипотезе о законе распределения;  $n$  – общее количество наблюдений.

При выбранном уровне значимости ( $\alpha = 0,05$ ) и числе степеней свободы ( $\nu = 4$ ) сравнение расчетных значений критерия Пирсона  $\chi^2$  для выборок  $X$  и  $Y$  с их критическими значениями ( $\chi^2_{\max} = 7,80$ ) показало, что полученные результаты натурных наблюдений не противоречат выдвинутой гипотезам  $H_x$  и  $H_y$ :  $\chi^2(X) = 3,94 < 7,80$  и  $\chi^2(Y) = 1,21 < 7,80$ . Таким образом, можно сделать вывод, что случайные величины времени нахождения вагонов в системе «станция Химическая – станция Черноморская» при реализации их отправления маршрутами (величина  $X$ ) и при отправления группами (величина  $Y$ ) подчинены логарифмически-нормальному закону распределения и имеют функцию плотности распределения вида

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln(x)-\mu)^2}{2\sigma^2}},$$

где  $\mu$  – масштабный параметр;  $\sigma$  – параметр формы.

Значения  $\mu$  и  $\sigma$  для выборок, характеризующих нахождение вагонов в системе «станция Химическая – станция Черноморская» представлены в табл. 1

Таблица 1

Параметры логнормального распределения случайной величины времени нахождения вагона в системе «станция Химическая – станция Черноморская»

| Параметр | Выборка X<br>(эксперимент) | Выборка Y<br>(существующая технология) |
|----------|----------------------------|--|
| $\mu$    | 2,977                      | 3,2559                                 |
| $\sigma$ | 0,5998                     | 0,5405                                 |

Простой вагонов на подъездном пути ТИС и станции Черноморская подвержен влиянию значительного числа случайных факторов, в том числе и достаточно редких. Такими факторами являются простой из-за повреждения вагонов, про-

стои из-за выполнения ремонтных работ на железной дороге и т.п.

В этой связи была выполнена процедура исключения грубых погрешностей. При этом для дальнейшего анализа использованы значения, которые не превышают верхней границы установленной с надежностью 0,99. Соответствующие максимальные значения и параметры откорректированных выборок приведены в табл. 2.

Таблица 2

Уточненные параметры случайных величин  $X$  и  $Y$  после выполнения процедуры исключения грубых погрешностей

| Параметр                               | Выборка $X$<br>(эксперимент) | Выборка $Y$<br>(существующая технология) |
|--|------------------------------|--|
| Верхняя граница, час                   | 79,23                        | 91,22                                    |
| Объем выборки                          | 140                          | 121                                      |
| Математическое ожидание, час           | 21,92                        | 28,86                                    |
| Среднее квадратическое отклонение, час | 12,30                        | 15,08                                    |

Продолжительность сокращения нахождения вагона в системе «станция Химическая – станция Черноморская» представляет собой случайную величину  $\Delta$ . Математическое ожидание указанной величины может быть определено как

$$\bar{\Delta} = \bar{y} - \bar{x},$$

а среднее квадратическое отклонение может быть определено как

$$s_{\Delta} = \sqrt{s_x^2 + s_y^2}.$$

На основании данных табл. 2 установлены параметры случайной величины  $\Delta$

$$\bar{\Delta} = 28,86 - 21,92 = 6,94 \text{ часа,}$$

$$s_{\Delta} = \sqrt{12,30^2 + 15,08^2} = 19,46 \text{ часа.}$$

Для определения типа распределения случайной величины  $\Delta$ , было смоделировано 300 ее значений как разность значений случайных величин  $y$  и  $x$ . Гистограмма случайной величины  $\Delta$  приведена на рис. 2.

Выполненный статистический анализ показывает, что нет основания отвергать гипотезу о нормальном распределении величины  $\Delta$ .

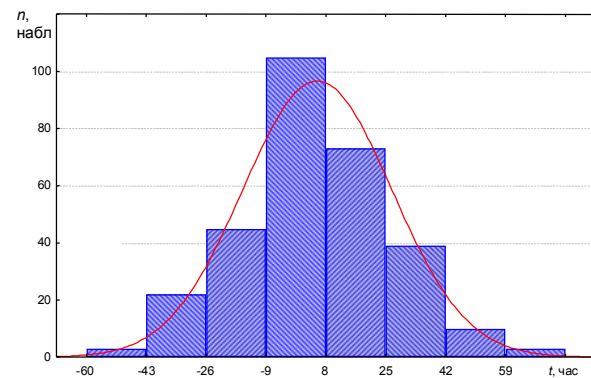


Рис. 2. Гистограмма распределения случайной величины сокращения времени нахождения вагона в системе «станция Химическая – станция Черноморская» при маршрутизации порожних вагонопотоков

На основании рассчитанных параметров случайной величины  $\Delta$  выполнена интервальная оценка среднего которая показала, что с вероятностью 0,95 математическое ожидание случайной величины  $\Delta$  находится в пределах [3,47; 10,41] часа.

Аналитические расчеты показали, что сокращение продолжительности нахождения вагонов в системе «станция Химическая – станция Черноморская», должно составлять 7,91 часа, что согласуется с экспериментально установленным значением 6,94 и находится в пределах [3,47; 10,41].

### **Выводы**

Технико-экономические расчеты показывают, что маршрутизация перевозок в условиях использования вагонов сторон-

них операторов (при величине платы за пользование вагонами 70 USD сутки) обеспечивает годовую экономию в среднем 18,4 млн. грн. в год и, с вероятностью 0,95, не менее 8,2 млн. грн. При развитии на предприятии парка собственных вагонов маршрутизация порожних вагонопотоков обеспечивает экономию капитальных вложений в среднем 51,8 млн. грн. и, с вероятностью 0,95, не менее 23 млн. грн., а также соответствующую экономию амортизационных отчислений 2,59 и 1,15 млн. грн. в год. Кроме того, исключение переработки вагонов на сортировочной горке и перецепки поездных локомотивов на станции Черноморская обеспечивает экономию расходов в размере 3,9 млн. грн. в год.

Таким образом, в настоящее время отправление порожних собственных вагонов с мест выгрузки в составе отправительских маршрутов является весьма эффективным мероприятием, что и было подтверждено в результате эксперимента проведенного на ООО «Трансинвестсервис».

### Список литературы

1. Транспорт і зв'язок України – 2010. Статистичний збірник [Текст] – К.: Державна служба статистики. – 2011. – 267 с.
2. Шторм, Р. Теория вероятностей, математическая статистика, статистический контроль качества [Текст] – М.: Мир. – 1970. – 368 с.

### Аннотации:

В статті представлено результати математичної обробки експерименту з відправницької маршрутизації порожніх вагонопотоків з під'їзної колії ТІС, а також техніко-економічна оцінка цього заходу.

**Ключові слова:** організація вагонопотоків, маршрут

---

В статье представлены результаты математической обработки эксперимента по отправительской маршрутизации порожних вагонопотоков с подъездного пути ТИС, а также технико-экономическая оценка этого мероприятия.

**Ключевые слова:** организация вагонопотоков, маршрут

---

In article results of mathematical processing of experiment of departure of empty cars from TIS in unit trains, and also a technical and economic assessment of this action are presented.

**Keywords:** organization of cars flows, unit train