

УДК 681.3.01

**А.П. Кравченко, профессор, д-р техн. наук,****К.К. Панайотов, ассистент***Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля**кв. Молодежный, 20а, г. Луганск, Украина, 91034**zzkot@yandex.ru***ЗАДАЧА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО ПАРКА С УЧЕТОМ ВЕРОЯТНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕВОЗОЧНОГО ПРОЦЕССА**

*Приведена постановка задачи определения оптимального парка для технологических маршрутов обогатительных фабрик угледобывающей отрасли с учетом случайного характера временных параметров транспортного процесса обслуживания маршрутов.*

**Ключевые слова:** *детерминированные временные параметры, многоканальная система массового обслуживания, интенсивность потока требований.*

**Постановка проблемы.** Для минимизации транспортных затрат при обслуживании погрузочных бункеров предлагается использовать детерминированную модель, основными параметрами которой являются временные величины транспортного процесса. Данная модель не учитывает случайного характера времени погрузки, времени разгрузки, времени пробега с грузом и без груза. Поэтому необходимо определить временные параметры модели с учетом случайной составляющей.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Подобными задачами управления грузовыми автомобильными перевозками занимались ряд отечественных и зарубежных авторов [1, 2]. Однако в них не уделено внимания грузовым автоперевозкам в транспортных системах угольных объединений и недостаточно учитывается случайная составляющая изменения временных параметров.

**Постановка задачи.** В условиях транспортной системы угольного предприятия разработать модели определения оптимального парка автомобилей с учетом случайного характера параметров перевозочного процесса.

**Материалы исследования.** Для условий технологического маршрута углеобогатительной фабрики определена модель обслуживания погрузочных бункеров:

$$\begin{cases} \sum_{k=1}^{n^*} (t_0^k(m) + t_z + t_v + t_1 + t_2) + t_0 \leq \frac{T}{s}, \\ n^* g \geq \frac{Q}{s}. \end{cases} \quad (1)$$

Введение в построенную модель вместо детерминированных времен случайные величины сопряжено с математическими трудностями. Простейшим способом преодоления возникающих трудностей является рассмотрение средних значений этих времен. Однако среднее время ожидания в очереди не может быть определено только по средним величинам времени  $t_z, t_v, t_1$  и  $t_2$ , а может зависеть от более тонких вероятностных характеристик указанных величин. Для определения среднего времени ожидания в очереди рассмотрим изучаемую систему как систему массового обслуживания [3]. Входящий поток требований в такой системе – это требование на загрузку очередного подъехавшего к пункту загрузки автомобиля. Обслуживающей системой является бункер загрузки. В зависимости от количества загрузочных бункеров такая система будет либо одноканальной, либо многоканальной.

Согласно полученным экспериментальным данным, время обслуживания одного требования, т.е. время загрузки одного автомобиля имеет экспоненциальное распределение. Определим вероятностные характеристики входящего потока требований.

В ходе эксперимента получены хронометрические данные процесса перевозки породы на отвалы. Хронометраж осуществлялся по следующим величинам:  $t_{нул.пр}$  – время нулевого пробега (от АТП до погрузочного бункера);  $t_{погр.}$  – время погрузки;  $t_{езд.г}$  – время ездки с грузом;  $t_{разг.}$  – время разгрузки;  $t_{езд.б.г}$  – время ездки без груза.

Результаты обработки статистических данных сведены в таблице 1. Значения в первых шести строках таблицы получены по 532 ходам автомобилей. Значения в остальных двух строках получены по 27 сменам работы автомобилей; в последней строке приведено суммарное время простоя в течение одной смены.

В результате проведенного эксперимента выяснилось, что количество ходов каждого автомобиля в течение смены не является постоянной величиной. Согласно полученным данным, среднее время одного оборота для каждого автомобиля составляет 19,31 мин. Поэтому за восьмичасовую рабочую смену с

учетом перерыва, времени простоя по техническим причинам и времени ожидания в очереди, получаем среднее количество ходок, равное 19,38 мин., что хорошо согласуется с полученным средним значением этого количества.

Такой разброс количества ходок определяется достаточно большим разбросом времен в пути с грузом и без него, и большим разбросом времени простоя по техническим причинам за смену.

Таблица 1 – Основные статистические характеристики параметров задачи

|                             | Среднее | Дисперсия | Стандартная ошибка | Минимальное значение | Максимальное значение |
|-----------------------------|---------|-----------|--------------------|----------------------|-----------------------|
| $t_1$                       | 8,024   | 4,14      | 0,09               | 2,27                 | 13,2                  |
| $t_2$                       | 8,29    | 9,19      | 0,13               | 3,04                 | 35,2                  |
| $t_z$                       | 2,19    | 1,51      | 0,05               | 0,31                 | 9,26                  |
| $t_v$                       | 0,81    | 0,39      | 0,03               | 0,21                 | 4,56                  |
| Время ожидания в очереди    | 1,41    | 1,74      | 0,37               | 0                    | 6,73                  |
| Время простоя за одну ходку | 1,87    | 29,32     | 0,89               | 0                    | 45,23                 |
| Количество ходок            | 19,7    | 9,68      | 0,6                | 15                   | 26                    |
| Время простоя за смену      | 36,5    | 502,9     | 4,32               | 8,29                 | 80,24                 |

Статистические данные хронометража можно представить в общем виде (таблица 2). Обозначим через  $T' = t_z + t_v + t_1 + t_2 + t_0$  полное время одной ходки каждого автомобиля. Здесь  $t_0$  – время простоя по техническим причинам в течение одной ходки автомобиля.

Таблица 2 – Время полной ходки автомобиля

|                | 1-я ходка |          | 2-я ходка |          | ... | k-я ходка |          |
|----------------|-----------|----------|-----------|----------|-----|-----------|----------|
|                | $T'$      | $\tau_i$ | $T'$      | $\tau_i$ |     | $T'$      | $\tau_i$ |
| 1-й автомобиль | $T_1^1$   |          | $T_2^1$   |          |     | $T_k^1$   |          |
| 2-й автомобиль | $T_1^2$   |          | $T_2^2$   |          |     | $T_k^2$   |          |
| ...            | ...       |          | ...       |          |     | ...       |          |
| 5-й автомобиль | $T_1^5$   |          | $T_2^5$   |          |     | $T_k^5$   |          |

Упорядочим полученные значения  $T_k^j$ ,  $j = 1, 2, \dots, 6$  в порядке возрастания, получив, таким образом, возрастающую последовательность  $T_i$ . Положим  $\tau_i = T_{i+1} - T_i$ . С помощью критерия  $\chi^2$  проверяем гипотезу о принадлежности последовательности  $\tau_i$  экспоненциальному распределению. На уровне значимости 0,95 получаем для полученных данных, что случайная величина  $\tau$  – время между двумя последовательными моментами прибытия очередного автомобиля к пункту загрузки имеет экспоненциальный закон распределения с параметром  $\lambda = 0,31$ . Следовательно, можно считать, что входящий поток требований на обслуживание представляет собой Пуассоновский процесс

$$P_l(t) = \frac{(\lambda t)^l}{l!} e^{-\lambda t}, \quad (2)$$

где  $P_l(t)$  – вероятность того, что за  $t$  время в систему поступит  $l$  требований на обслуживание [4].

Обозначим через  $\mu$  параметр экспоненциального распределения времени обслуживания и положим, что  $\rho = \lambda / \mu$ . Согласно известным формулам теории массового обслуживания [4], среднее число требований, т.е. среднее число автомобилей в очереди на обслуживание определяется как

$$L = \frac{\rho^2}{1 - \rho}, \quad (3)$$

а среднее время ожидания в очереди определяется выражением

$$\frac{L}{\lambda} = \frac{\rho^2}{\lambda(1-\rho)} = \frac{\rho}{\mu(1-\rho)}. \quad (4)$$

Согласно данным (см. таблицу 1),  $L/\lambda = 1,41$ . Отсюда получаем уравнение  $\rho^2 + 1,41\rho - 1,41 = 0$ , имеющее два корня, один из которых отрицателен. Положительный корень  $\rho = 0,68$ . Значит,  $\lambda = \rho\mu = 0,68 \cdot 0,49 = 0,333$ , что хорошо согласуется с экспериментально полученным значением этой величины  $\lambda = 0,31$ .

Для того, чтобы средним временем ожидания, можно было воспользоваться при определении оптимального парка автомобилей, необходимо знать величину  $\lambda$  – интенсивность потока требований.

Известными данными при определении оптимального парка автомобилей можно считать характеристики времен  $t_z, t_v, t_1, t_2$  и  $t_0$ , которые являются независимыми случайными величинами, но никак не зависящую от них случайную величину времени ожидания в очереди. Причиной возникновения очереди перед пунктом загрузки является разброс значений времен, при  $t_0 = 0$  (рисунок 1).

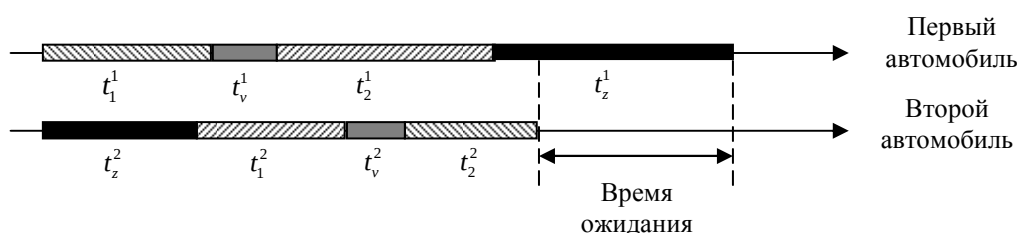


Рисунок 1 – Схема распределения временных параметров

Второй автомобиль начал обслуживаться, как только первый автомобиль выехал к пункту разгрузки, а возвратился он к пункту загрузки еще до того, как первый автомобиль закончил загрузаться. Время дозагрузки первого автомобиля и есть время ожидания для второго автомобиля. Значит, время ожидания может определено как разность  $(t_1^1 + t_1^1 + t_1^1 + t_2^1) - (t_2^2 + t_1^2 + t_1^2 + t_2^2)$ , если эта величина положительна, и равно нулю в противном случае. Поэтому в качестве оценки среднего времени ожидания можно принять величину среднеквадратического отклонения случайной величины  $T' = t_z + t_v + t_1 + t_2 + t_0$ .

Учитывая независимость случайных величин  $t_z, t_v, t_1, t_2$  и  $t_0$ , имеем для дисперсии соотношение

$$D(t_z + t_v + t_1 + t_2 + t_0) = D(t_z) + D(t_v) + D(t_1) + D(t_2) + D(t_0). \quad (5)$$

Поэтому в качестве оценки среднего времени ожидания  $\hat{t}_e$  можно принять величину

$$\hat{t}_e = \sqrt{D(t_z) + D(t_v) + D(t_1) + D(t_2) + D(t_0)} \quad (6)$$

для одноканальной системы обслуживания и

$$\hat{t}_e = \frac{1}{m} \sqrt{D(t_z) + D(t_v) + D(t_1) + D(t_2) + D(t_0)} \quad (7)$$

для системы обслуживания с  $m$  параллельными каналами обслуживания.

Для данных таблицы 1 получаем

$$\sqrt{D(t_z) + D(t_v) + D(t_1) + D(t_2) + D(t_0)} = \sqrt{4,14 + 9,19 + 1,51 + 0,39 + 29,32} = \sqrt{44,55} \approx 6,67.$$

Поскольку экспериментальные данные таблицы 1 получены в системе с четырьмя пунктами загрузки, то  $\hat{t}_e = 6,67/4 \approx 1,67$ , что неплохо согласуется с данными эксперимента, в котором среднее время ожидания равно 1,41.

Теперь можно сформулировать задачу определения оптимального парка автомобилей, с учетом вероятностных характеристик параметров. Входными данными задачи являются средние времена  $\bar{t}_z, \bar{t}_v, \bar{t}_1, \bar{t}_2$ , и дисперсии всех перечисленных времен  $D(t_z), D(t_v), D(t_1), D(t_2)$ . Если допустимые значения разброса времени заданы в виде  $t \pm \Delta t$ , тогда дисперсия случайной величины  $t$  принимается равной  $(\Delta t)^2$ . Если в зависимости от времени года дорожные условия меняются настолько сильно, что приходится задавать различные средние значения времен  $\bar{t}_1$  и  $\bar{t}_2$ , то, в качестве входных данных следует выбирать наибольшие значения этих параметров (т.е. рассматривать наихудший случай).

Согласно выражению (7) определяется оценка среднего времени ожидания в очереди  $\hat{t}_e$ . Поскольку в рассматриваемом случае количество ходок за одну смену заранее определить нельзя, то необходимо определить величину среднего количества ходок каждого автомобиля за смену как такое наибольшее целое число  $\bar{k}_s$ , для которого выполняется неравенство

$$\left( \frac{\bar{t}_z}{m} + \bar{t}_v + \bar{t}_1 + \bar{t}_2 + \hat{t}_e \right) \bar{k}_s + \bar{t}_0 \leq T_s. \quad (8)$$

Запишем условия для средних времен

$$\bar{t}_z - \bar{t}_v < \bar{t}_1 + \bar{t}_2, \quad (9)$$

и задачу определения оптимального парка автомобилей:

$$\bar{k}_s r m g \geq \frac{Q}{s}, \quad r = \left[ \frac{n}{m} + 1 \right]. \quad (10)$$

Тогда, если выполнено (9), необходимо найти  $O_p + O_x \rightarrow \min$  при условиях (10). Если условие (9) не выполняется, необходимо найти  $O_p + O_x \rightarrow \min$  при условии

$$\begin{cases} \sum_{k=1}^{n^*} \left( t_0^k(m) + \bar{t}_z + \bar{t}_v + \bar{t}_1 + \bar{t}_2 + \hat{t}_e \right) + \bar{t}_0 \leq \frac{T}{s}, \\ n^* g \geq \frac{Q}{s}. \end{cases} \quad (11)$$

**Выводы.** Задача определения парка автомобилей при обслуживании технологических маршрутов обогатительных фабрик позволит автопредприятию максимизировать прибыль, связанную с уменьшением времени простоя транспорта под погрузочными бункерами. Тем самым увеличивается общий объем перевозимого груза по автопредприятию и максимизируется прибыль.

#### Бibliографический список использованной литературы

1. Перебийніс О.В. Управління транспортно-логістичними системами підприємств АПК: дис. канд. екон. наук: 08.06.01 / Харківський національний аграрний ун-т ім. В.В. Докучаєва. – Х., 2005. – 132 с.
2. Зырянов И.В. Показатели работы технологического автотранспорта на карьерах АК «Алросса» / И.В. Зырянов, А.Н. Цымбалова // Горный журнал. – 1999. – №5. – С. 73 – 75.
3. Саати Т.Л. Элементы теории массового обслуживания и ее приложения / Т.Л. Саати – С.-Пб.: Либроком, 2010. – 520 с.
4. Гнеденко Б.В. Введение в теорию массового обслуживания // Б.В. Гнеденко, И.Н. Коваленко. – С.-Пб.: ЛКИ, 2011. – 402 с.

Поступила в редакцию 18.06.2012 г.

**Кравченко А.П., Панайотов К.К. Задача визначення оптимального парку з урахуванням імовірнісних характеристик параметрів перевізного процесу**

Наведена постановка задачі визначення оптимального парку для технологічних маршрутів збагачувальних фабрик вугледобувної галузі з урахуванням випадкового характеру тимчасових параметрів транспортного процесу обслуговування маршрутів.

**Ключові слова:** детерміновані часові параметри, багатоканальна система масового обслуговування, інтенсивність потоку вимог.

**Kravchenko A., Panayotov K. The solution of the optimal fleet, taking into account the parameters of the probability characteristics of the transport process**

Formulation of the problem of determining the optimal routes for the technological park of coal industry, taking into account the random nature of time-eters of the transport process of service routes.

**Keywords:** deterministic timing, multi-channel queuing system, flow rate requirements.