

УДК 656.212

*Мойсеенко В.И., к. т. н. (УкрГАЖТ)*  
*Сосунов А.А., к. т. н. (УкрГАЖТ)*

### **ВЛИЯНИЕ НАРУШЕНИЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ТЕХНИЧЕСКУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СРЕДСТВ ТРАНСПОРТА**

*Актуальность темы.* Функционирование железнодорожного транспорта в значительной степени зависит от качественных характеристик его технических средств, которые непосредственно обеспечивают перевозочный процесс. Естественные процессы физического старения, износа все чаще становятся причиной возникновения транспортных событий, задержек в движении поездов и связанных с ними неизбежных потерь. По данным официальной отчетности [1] на сегодняшний день износ основных средств железнодорожного транспорта в среднем составляет более 70 %. Значительная часть технических средств практически полностью выработала свой ресурс, что неизбежно приводит к резкому росту числа фиксируемых отказов. Для рационального использования материальных и финансовых ресурсов, имеющих в распоряжении железнодорожного транспорта, необходимо в первую очередь оценить влияние интенсивности отказов технических систем (нарушений безопасности) на эффективность эксплуатации средств транспорта.

*Анализ известных публикаций.* Большинство исследований, оценивающих качество эксплуатации технических средств транспорта, привлекают традиционные системы оценки, основанные на теории надежности или безопасности [2]. Результатом такой оценки, как правило,

являются показатели вероятности нахождения технических средств в безопасном  $P_6(t)$  или опасном состоянии  $Q_0(t)$ . Попытка оценки влияния возникающих отказов на эксплуатационные показатели системы интервального регулирования движения поездов была предпринята Разгоновым А.П. Однако данное исследование имело скорее постановочный характер и дальнейшее развитие не получило.

**Цель работы.** Учитывая актуальность темы, целью данной статьи является разработка универсальной модели для оценки качества использования технических средств железнодорожного транспорта, включая процессы эксплуатации, технического обслуживания и восстановления после отказов.

**Изложение основного материала.** Комплекс технических средств, обеспечивающих перевозку грузов и пассажиров, а так же процесс технического обслуживания и ремонта, будем считать системой массового обслуживания, на вход которой поступают заявки (требования). Для модели эксплуатации транспортных средств под заявками понимаются поезда, находящиеся на подходе. Аналогично для модели технического обслуживания заявками могут считаться работы, связанные с техническим обслуживанием и восстановлением после отказов. Предположим также, что поступающий поток заявок простейший с интенсивностью  $\lambda$ .

Остановимся подробнее на модели технического обслуживания (ТО). В процессе ТО возникают отказы подсистем. В этом случае работы по обслуживанию заявок (регламентные работы) прекращаются и начинаются работы по устранению отказов. Поток отказов простейший с интенсивностью  $\lambda_0$ , интенсивность работ по обслуживанию заявок –  $\mu$ , интенсивность работ по устранению отказов –  $\mu_0$ . Продолжительности работ, как по обслуживанию заявок, так и по устранению отказов имеют показательное распределение [2,3].

Максимальное количество отказов не превышает некоторого числа, они могут устраняться параллельно, то есть разными специалистами. Система массового обслуживания (СМО) содержит  $k$  каналов обслуживания (число бригад по проведению регламентных работ) и  $n - k$  ( $n \geq k$ ) мест ожидания в очереди, то есть всего в системе может находиться  $n$  заявок.

Определим состояние системы  $S_{ij}$ , где  $i$  – количество заявок в системе,  $j$  – количество отказов в системе. Согласно принятым допущениям система оказывается Марковской с дискретным

пространством состояний. Граф переходов СМО представлен на рисунке 1 (для  $k = 2$ ).

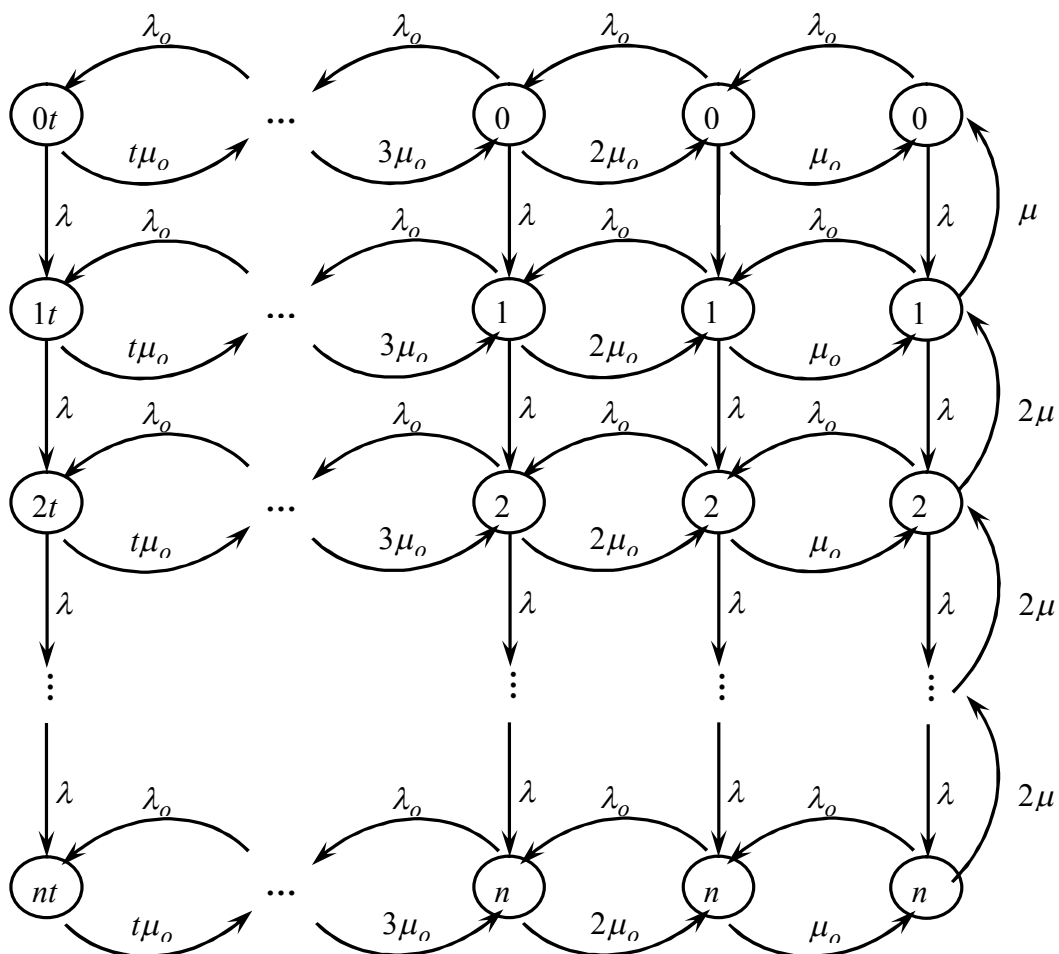


Рисунок 1 – Граф переходов Марковской модели

С помощью представленного графа составляется система дифференциальных уравнений для вероятностей состояний:

$$\begin{aligned}
 \dot{P}_{00} &= -P_{00}(\lambda + \lambda_0) + P_{01}\mu_0 + P_{10}\mu; \\
 \dot{P}_{10} &= -P_{10}(\lambda + \lambda_0 + \mu) + P_{11}\mu_0 + P_{20}2\mu; \\
 \dot{P}_{20} &= -P_{20}(\lambda + \lambda_0 + 2\mu) + P_{21}\mu_0 + P_{30}2\mu; \\
 &\dots \\
 \dot{P}_{nt} &= -P_{nt}t\mu_0 + P_{n,t-1}\lambda_0 + P_{n-1,t}\lambda.
 \end{aligned} \tag{1}$$

Для нахождения финальных вероятностей необходимо приравнять нулю производные. Ранг полученной системы будет на единицу меньше количества линейных уравнений относительно финальных вероятностей состояний. Дополнительное уравнение – уравнение нормировки:

$$\sum_{i,j} P_{ij} = 1. \quad (2)$$

Показатель качества (эффективности) представляет собой некоторую функцию финальных вероятностей. Для модели технического обслуживания в качестве показателя качества целесообразно принять среднее время ожидания обслуживания  $\bar{t}_{ож}$  (среднее время задержки выполнения регламентных работ). Для нахождения аналитического выражения указанного показателя проведем некоторые математические выкладки согласно [3].

Среднее число заявок в системе  $\bar{n}$  находится следующим образом:

$$\bar{n} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0}^t i \cdot P_{ij} = \bar{n}_{ож} + \bar{n}_{обсл}, \quad (3)$$

где  $\bar{n}_{ож}$  – среднее число заявок в системе, ожидающих обслуживания;

$\bar{n}_{обсл}$  – среднее число заявок в системе, находящихся на обслуживании.

Интенсивность выходного потока  $I_{вых}$  находится следующим образом:

$$I_{вых} = \sum_{i=1}^k i \cdot P_{i0} + \sum_{i=k+1}^n k \cdot P_{i0} = \mu \bar{n}_{обсл} = I_{пробыв} \bar{n}, \quad (4)$$

где  $I_{пробыв} = 1/\bar{t}_{пробыв}$  – интенсивность пребывания заявки в системе;

$\bar{t}_{пробыв} = \bar{t}_{ож} + \bar{t}_{обсл} = \bar{t}_{ож} + 1/\mu$  – среднее время пребывания заявки в системе;

$\bar{t}_{ож}$  – среднее время ожидания (задержки) обслуживания заявки в системе.

Среднее время  $\bar{t}_{ож}$  находится следующим образом:

$$\bar{t}_{\text{ож}} = \bar{t}_{\text{пробыв}} - \bar{t}_{\text{обсл}} = \frac{\bar{n}}{I_{\text{вых}}} - \frac{1}{\mu} = \frac{\bar{n}_{\text{ож}} + \bar{n}_{\text{обсл}}}{\mu \bar{n}_{\text{обсл}}} - \frac{1}{\mu} = \frac{\bar{n}_{\text{ож}}}{\mu \bar{n}_{\text{обсл}}}. \quad (5)$$

Интенсивности потока заявок и регламентных работ определяем исходя из нормативных документов, регламентирующих организацию технического обслуживания устройств железнодорожной автоматики.

Перейдем теперь к модели эксплуатации транспортных средств. В качестве объекта исследования выбираем станции различной классности. Исходя из объемов эксплуатационной работы, принимаем следующие значения интенсивности потока заявок (количество поездов в единицу времени): внеклассная станция – 3 ч<sup>-1</sup>; станция 1-го класса – 2,1 ч<sup>-1</sup>; станция 2-го класса – 1,25 ч<sup>-1</sup>; станция 3-го класса – 0,63 ч<sup>-1</sup>; станция 4-го класса – 0,42 ч<sup>-1</sup>. Принимая во внимание тот факт, что одновременно на станциях 2 класса и выше может обрабатываться 2-3 поезда, а на остальных до одного, можно принять количество каналов обслуживания  $k = 2$ .

Максимальное количество нарушений безопасности не превышает некоторого максимального значения  $t$ . Нарушения безопасности устраняются параллельно.

Предположим, что поездная ситуация на участке в момент времени  $t_i$  определяется интервалом попутного следования, входной поток  $\lambda_0$  является регулярным и задается графиком движения поездов. Выходной поток с интенсивностью  $\mu_0$  определяется задержками поездов на станции. Закон распределения интервалов попутного следования подчинен закону Эрланга второго порядка, при этом возникающие вследствие отказов задержки не влияют на работу соседних станций. Смена исправного и неисправного состояний системы управления движением поездов представляет собой стационарный процесс без последствия с конечным временем восстановления и интенсивностью  $\mu$ . Время нахождения систем обеспечения безопасности в исправном состоянии распределено по экспоненциальному закону [2].

В таком случае модель эксплуатации транспортных средств также является Марковской и ее граф переходов аналогичен графу, изображенному на рисунке 1.

В качестве показателя качества для модели эксплуатации транспортных средств целесообразно принять среднее время ожидания обслуживания заявки (среднее время задержки поездов)  $\bar{t}_{\text{ож}}$ .

Результаты моделирования представлены в виде графиков (рисунок 2) зависимостей времени ожидания заявок от интенсивности отказов (отказов технических систем для модели ТО и нарушений безопасности для модели эксплуатации транспортных средств).

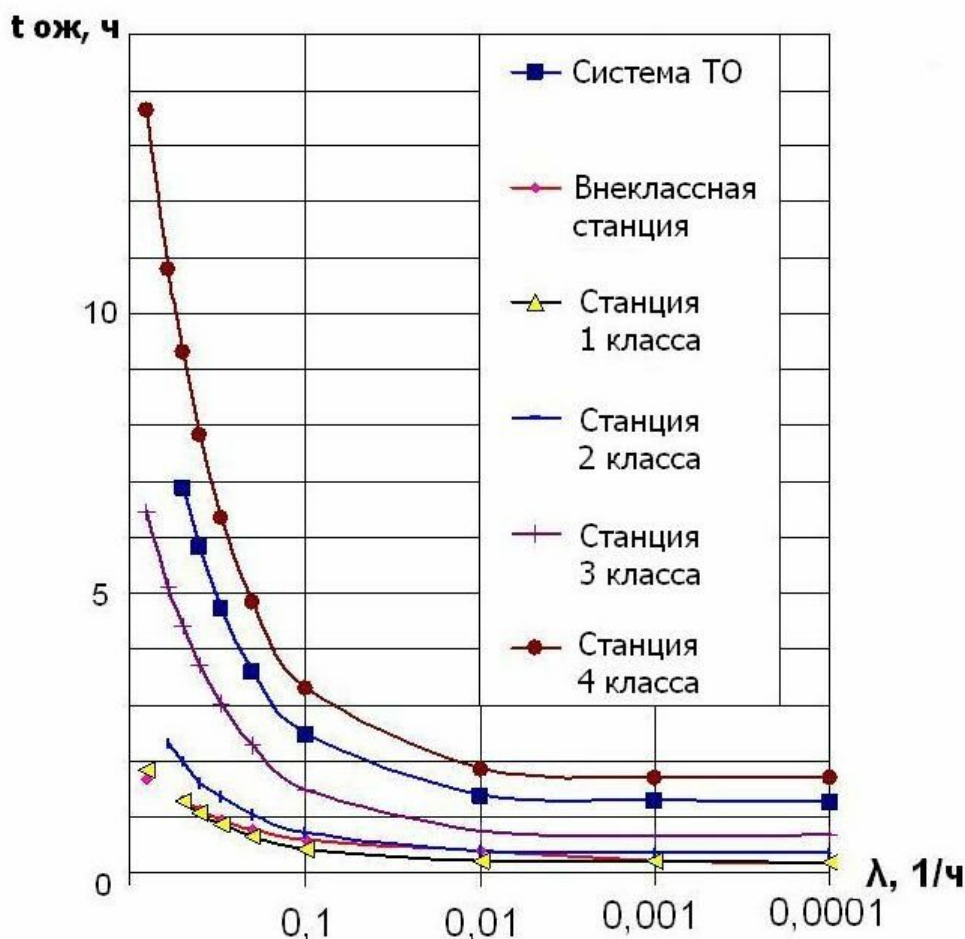


Рисунок 2 – Графики результатов моделирования

Характер поведения кривых достаточно определенно указывает на величину критических значений интенсивностей фиксируемых отказов (нарушений). Если в качестве оценочного критерия использовать характер изменения  $\bar{t}_{ож}$  ( $\bar{t}_{ож} < \bar{t}_{ож\ max}$ ), то можно сделать следующие заключения. Для системы ТО средств транспорта и, в частности, для устройств автоматики и телемеханики критичной является интенсивность отказов на уровне  $0,001\ ч^{-1}$ .

Применительно ко второй задаче имеем критические значения интенсивности нарушений безопасности для эксплуатационной работы станции порядка  $0,01 \text{ ч}^{-1} t_{\text{ож max}}$ .

**Выводы.** В результате моделирования процесса эксплуатации средств железнодорожного транспорта получены граничные значения интенсивностей фиксируемых нарушений для различных станций и для системы ТО. Численные значения этого показателя находятся в диапазоне  $0,01 - 0,001 \text{ ч}^{-1}$ . В качестве оценочного показателя была использована величина среднего времени ожидания заявок  $\bar{t}_{\text{ож}}$  на входе системы. Дальнейшим развитием работ в этом направлении может быть расширение функциональных возможностей и области применения данных моделей для задач технической эффективности использования основных средств транспорта.

### *Список литературы*

1. Аналіз стану безпеки руху на залізницях України. – Київ, 2008. – с.3-8.
2. Кустод В. Ф. Основи теорії надійності та функційної безпечності системи залізничної автоматики: Навчальний посібник. – Харків: УкрДАЗТ, 2008. – 218с.
3. Дэвид Дж. Смит, Кеннет Дж. Л. Симпсон Функциональная безопасность / Пер. с англ. – М.: Изд. Дом «Технологии». – 2004. – 204с.
4. Л. Клейнрок Теория массового обслуживания. Пер. с англ., ред. В. И. Нейман. – М.: Машиностроение, 1979. – 432с.