

## *Надежность, живучесть, безопасность*

УДК 656.25

**А. В. Горелик, д-р техн. наук**  
**П. А. Неваров, канд. техн. наук**  
**И. А. Журавлев, канд. техн. наук**  
**А. С. Веселова**

Кафедра «Железнодорожная автоматика, телемеханика и связь»,  
Московский государственный университет путей сообщения

### **МОДЕЛИ ОЦЕНКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ**

В статье рассмотрены модели оценки технологической эффективности систем железнодорожной автоматики и телемеханики. Для анализа эффективности функционирования систем применяется модель на основе теории массового обслуживания, где система железнодорожной автоматики и телемеханики представлена в виде обслуживающего прибора с приоритетами. Для решения задачи определения суммарных издержек от отказов за расчетный интервал времени предлагаются две модели: модель потока случайных импульсов совпадения и модель зависимости средней частоты случайных импульсов совпадения от их длительности и формирования суммарных экономических издержек.

УРРАН; системы железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ); надежность; экономическая эффективность; безопасность; коэффициент готовности; теория массового обслуживания; теория случайных импульсных потоков; отказы; плотность распределения; математическое ожидание

#### **Введение**

В настоящее время перед Центральной дирекцией инфраструктуры – филиалом ОАО «Российские железные дороги», как и другими подразделениями холдинга, поставлена задача повышения экономической эффективности и результативности работы. В связи с этим на сети железных дорог в различных хозяйствах внедряется методология управления ресурсами, рисками и анализа надежности (УРРАН). Целью данной методологии является, прежде всего, разработка комплексных методов анализа и оценки надежности технических си-

стем железнодорожного транспорта на различных этапах их жизненного цикла. Эти методы позволяют минимизировать стоимость жизненного цикла систем с учетом конкретных условий эксплуатации [1].

Решение данной задачи основывается на следующих основных принципах:

- применять экономически обоснованные по показателям надежности системы и устройства, т. е. избегать использования дорогостоящих устройств с завышенными параметрами надежности, если по экономическим критериям можно применять более дешевые, но менее надежные технические системы;

- необходимо обеспечивать эффективную организацию технического обслуживания, ремонта и замены устройств с учетом оптимизации эксплуатационного штата и периода полезной работы устройств по экономическому критерию.

Применение методологии УРРАН основано на расчете и анализе допустимого  $K_{\Gamma}^{\Delta}$ , проектного  $K_{\Gamma}^{\Pi}$  и фактического  $K_{\Gamma}^{\Phi}$  значений коэффициента готовности устройства или технической системы. На основе анализа экономической эффективности эксплуатации различных технических систем определяется допустимое значение коэффициента готовности  $K_{\Gamma}^{\Delta}$  устройства или технической системы. При расчете данного показателя учитываются экономические затраты, которые с заданной вероятностью готова понести компания вследствие возможного ущерба, связанного с отказами данных устройств или технических систем. С учетом конкретных условий эксплуатации, путем попарного сравнения трех значений вышеуказанных показателей принимаются решения, позволяющие минимизировать стоимость жизненного цикла систем и объектов транспортной инфраструктуры.

В настоящее время разработаны и внедрены в хозяйство автоматики и телемеханики ОАО «РЖД» методики расчета показателей надежности систем железнодорожной автоматики и телемеханики [2]. При разработке данных методик были предложены следующие модели и методы:

- метод и алгоритм определения значения среднего времени до восстановления после отказа объектов и устройств железнодорожной автоматики, основанные на имитационном моделировании аварийно-восстановительных работ в различных эксплуатационных условиях [3];

- метод оценки значений интенсивности потока отказов систем и средств железнодорожной автоматики и телемеханики с использованием системы эталонных объектов и поправочных коэффициентов [1, 3];

- модели, основанные на теории случайных импульсных потоков, которые позволяют описать взаимосвязь разнородных случайных процессов, непосредственно влияющих на надежность и эффективность функционирования систем и объектов транспортной инфраструктуры;

- модели оценки остаточного ресурса на основе методов математической статистики и теории случайных функций в части их аппроксимации.

Рассмотрим некоторые из указанных выше моделей.

# 1 Применение методов теории массового обслуживания для анализа эффективности функционирования систем железнодорожной автоматики и телемеханики

Эффективность процесса движения поездов обеспечивается бесперебойным функционированием систем железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ). Повышение эффективности функционирования систем ЖАТ является актуальной научной проблемой. Для анализа эффективности систем ЖАТ предлагается воспользоваться методами теории массового обслуживания [8] и смоделировать систему ЖАТ в виде обслуживающего прибора с приоритетами (рис. 1) [5, 6]. На вход прибора поступают два независимых потока заявок на обслуживание:

– входящий поток передвижений  $P_1$ , как случайный поток заявок на обслуживание, относящийся к первому классу заявок, который включает в себя заявки на реализацию поездных и маневровых маршрутов на станции, либо поток передвижений на участке железной дороги;

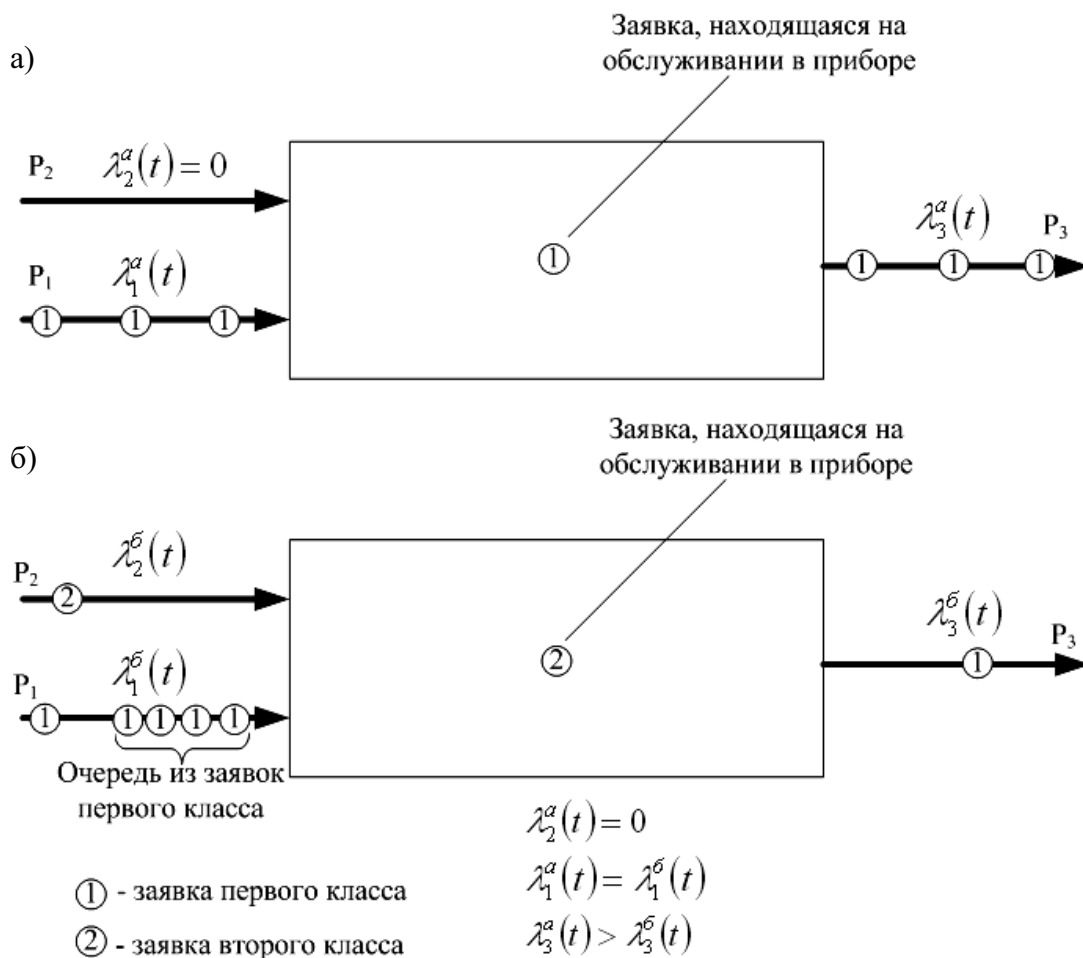


Рис. 1. Принципы обслуживания заявок прибором:  
 а – при отсутствии отказов средств ЖАТ; б – при наличии отказов средств ЖАТ

– случайный поток отказов устройств ЖАТ  $P_2$ , относящийся ко второму классу заявок, которые имеют более высокий приоритет обслуживания по сравнению с заявками первого класса.

Выходным потоком обслуживающего прибора будет являться соответствующий исходящий поток реализованных передвижений  $P_3$  [6].

При моделировании рассматриваются только отказы, которые потенциально могут приводить к задержкам поездов, для этого исходная статистика соответствующим образом анализируется. Учитывая, что моделирование перегонных устройств ЖАТ можно рассматривать как частный случай модели функционирования станционных систем ЖАТ, рассмотрим предложенную модель применительно к процессу регулирования движения поездов на станции.

В зависимости от интенсивности отказов устройств ЖАТ  $\lambda_2(t)$  будет изменяться соотношение между интенсивностью входящего потока передвижений  $\lambda_1(t)$  и интенсивностью исходящего потока передвижений  $\lambda_3(t)$ . Можно допустить, что при отсутствии отказов значение интенсивности исходящего потока передвижений  $\lambda_3(t)$  будет равно значению интенсивности входящего потока передвижений  $\lambda_1(t)$  без учета времени выполнения технологических операций, связанных с реализацией маршрутных передвижений, так как оно, как правило, мало по сравнению со временем восстановления средств ЖАТ после отказов. При возникновении отказов параметры потоков меняются. В зависимости от того, какой элемент напольного оборудования или постовой аппаратуры отказал, реализация маршрутов замедляется, что может привести к снижению пропускной способности станции. В результате возникают задержки поездов, растет очередь заявок входящего потока передвижений  $P_1$ , вследствие чего снижается интенсивность исходящего потока передвижений  $\lambda_3(t)$ .

Характеристики потоков  $P_1, P_2, P_3$  существенно зависят от топологии путевого развития станции или участка и функциональной значимости того элемента, отказ которого произошел. Живучесть систем ЖАТ обуславливает структурную, а следовательно, и функциональную значимость элементов системы ЖАТ [7]. Поэтому при анализе необходимо учитывать не только параметры потоков передвижений, но и эксплуатационную значимость отказавших элементов.

Рассмотрим процесс обслуживания заявок обоих классов, поступающих на вход обслуживающего прибора. При отсутствии отказов средств ЖАТ (рис. 1, а), т. е. при отсутствии заявок второго класса, имеющих более высокий приоритет обслуживания по отношению к заявкам первого класса, осуществляется обработка заявок первого класса в зависимости от удельной нагрузки обслуживания данного класса заявок  $\rho_i(t)$  (процесс движения поездов происходит в штатном режиме):

$$\rho_i(t) = \frac{\lambda_i(t)}{\mu_i(t)}.$$

Рассмотрим, как протекает процесс обслуживания заявки второго класса. Пусть в обслуживающий прибор поступает некоторая заявка первого или второго класса (рис. 1, б). В общем случае возможно не менее двух дисциплин обработки приоритетных заявок – с абсолютным и с относительным приоритетом. В первом случае, при поступлении заявки с более высоким приоритетом, обслуживающий прибор прерывает обслуживание заявки более низкого приоритета. Во втором случае, независимо от приоритета поступающей на вход заявки, текущая заявка обязательно будет полностью обслужена. При выполнении дисциплины с абсолютным приоритетом недообслуженная заявка с более низким приоритетом может либо отбрасываться, либо возвращаться в голову очереди своего класса приоритета в ожидании дообслуживания, причем дообслуживание требования с более низким приоритетом осуществляется с фазы, на которой обслуживание было прервано.

За время устранения отказа устройства ЖАТ, требующие обслуживания заявки первого класса, будут скапливаться на входе обслуживающего прибора в ожидании обслуживания. Таким образом, в общем случае устройство ЖАТ может рассматриваться как обслуживающий прибор с абсолютным приоритетом обслуживания заявок с дообслуживанием.

В случае поступления заявок второго класса, т. е. при наличии отказов средств ЖАТ, сначала обрабатывается поток заявок второго класса с удельной нагрузкой  $\rho_2(t)$ ; в течение этого времени обслуживание заявок первого класса либо приостанавливается, либо производится с уменьшенной интенсивностью. Необходимо отметить, что рассматриваются только отказы, которые потенциально могут привести к задержкам поездов.

Характеристики обслуживания потока отказов (заявок второго класса) зависят от среднего времени  $T_{\text{в}}$  поиска и устранения отказов устройств ЖАТ на данном участке. Характеристики обслуживания входящего потока поездов определяются, в первую очередь, средним значением времени осуществления операций по пропуску поездов.

Исходя из интенсивности отказов устройств ЖАТ определенного типа, на основании данных о количестве и типах устройств, входящих в каждую подсистему ЖАТ, можно определить параметры суммарного потока отказов для отдельной подсистемы ЖАТ.

В наиболее общем случае длина очереди заявок первого класса на входе прибора будет определяться интенсивностью движения поездов на участке и средним временем устранения отказа. Определив значение среднего времени нахождения заявки в очереди  $T_1$ , можно оценить ущерб вследствие простоя поездов из-за отказов средств ЖАТ.

При моделировании функционирования системы ЖАТ необходимо принимать во внимание неравномерность нагрузки на отдельные элементы системы, что не учитывает обобщенная модель обслуживающего прибора. Неравномерность эксплуатационной нагрузки на отдельные элементы системы ЖАТ будет

по-разному влиять на исходящий поток передвижений в случае отказа того или иного устройства ЖАТ. Обобщенная модель позволяет ориентировочно оценить уровень надежности и эффективности систем ЖАТ. В связи с этим необходимо детализировать моделирование для получения более точного результата и представить рассматриваемую систему ЖАТ в виде сети массового обслуживания, т. е. в виде совокупности взаимоувязанных обслуживающих приборов [8].

Таким образом, определив параметры обслуживающего прибора при моделировании процесса функционирования системы ЖАТ, можно оценить уровень эксплуатационной надежности и эффективности соответствующих средств ЖАТ по параметрам движения поездов.

## **2 Модель оценки надежности и эффективности функционирования объектов транспортной инфраструктуры на основе теории случайных импульсных потоков**

В настоящее время оценка экономических ресурсов и рисков, связанных с внезапными отказами объектов транспортной инфраструктуры, дается преимущественно детерминированно, без учета в полном объеме характеристик изучаемых систем, условий и режимов их функционирования, обслуживания и ремонта.

Методы теории случайных импульсных потоков для оценки надежности и эффективности объектов транспортной инфраструктуры ранее не применялись. Известен основанный на теории случайных импульсных потоков подход к оценке рисков, связанных с безопасностью, он использовался применительно к системам железнодорожной автоматики и телемеханики на железнодорожных переездах [9–11]. Согласно этому подходу, оценка функционирования объектов инфраструктуры дается во взаимосвязи с вероятностью возникновения опасных ситуаций. Моделирование возможных результатов функционирования объектов транспортной инфраструктуры в части возможных экономических издержек вследствие различных внезапных отказов – направление новое и практически значимое. В отличие от известного, ранее применявшегося подхода для оценки экономических издержек и планируемых ресурсов, основанного на использовании теории массового обслуживания в части марковских процессов [12], предлагаемый подход, основанный на применении теории случайных импульсных потоков, позволяет:

- моделировать функционирование объекта транспортной инфраструктуры при входных случайных потоках, распределенных в соответствии с различными вероятностными законами;
- описывать события, связанные с функционированием объекта транспортной инфраструктуры не точно, а в виде случайных импульсов ненулевой случайной длительности и амплитуды;

– при расчете экономических затрат учитывать различные вероятности появления случайных импульсов различной длительности в результирующем потоке событий, т. е. оценить риски возникновения издержек;

– учитывать различия величин удельных издержек, связанных с устранением различных видов внезапных отказов, для поездов различных категорий путем задания различной амплитуды случайных импульсов.

Для оценки надежности и эффективности функционирования объектов транспортной инфраструктуры предлагаются следующие модели и методы:

1. Объединить в рамках одной модели два разных по природе процесса: процесс применения объекта транспортной инфраструктуры по назначению, представляющий, по сути, чередующиеся случайные интервалы занятости и свободности объекта, и процесс случайных переходов объекта из работоспособных состояний в неработоспособные (отказов) и обратно (восстановлений), с целью выделения результирующего процесса, позволяющего определить частоту и длительность событий, заключающихся в одновременном нахождении объекта в состоянии отказа и необходимости использования его по назначению.

2. На основе зависимости экономических потерь, связанных с невыполнением технологического процесса из-за отказов технических средств (например, остановки и простоя поездов) в единицу времени, и распределения длительности и частоты отказов технических средств можно определить суммарные издержки за расчетный интервал времени.

Для решения каждой из задач предлагаются две модели:

– модель потока случайных импульсов совпадения;  
– модель зависимости средней частоты случайных импульсов совпадения от их длительности и формирования суммарных экономических издержек.

Модель случайного потока импульсов совпадения представлена на рис. 2.

Предлагаемая модель состоит из следующих элементов.

1. Случайный поток импульсов, связанный с использованием транспортной инфраструктуры для передвижения подвижной единицы  $X_A(t)$ . Наличие импульса соответствует использованию объекта транспортной инфраструктуры по назначению (например, интервал времени замкнутого состояния поездного маршрута на станции), а отсутствию – свободное состояние (например, период предварительно замкнутого, незамкнутого и незанятого состояния поездного маршрута на станции).

2. Случайный поток импульсов, связанных с отказами и восстановлениями объекта транспортной инфраструктуры  $X_O(t)$ . Импульсу в потоке соответствует неработоспособное состояние (состояние отказа), а интервалу – работоспособное состояние.

3. Результирующий случайный поток импульсов совпадения  $X_{AO}(t)$ , импульсы которого представляют собой события, заключающиеся в одновременном нахождении объекта транспортной инфраструктуры в состоянии отказа и необходимости его использования по назначению. Длительность каждого

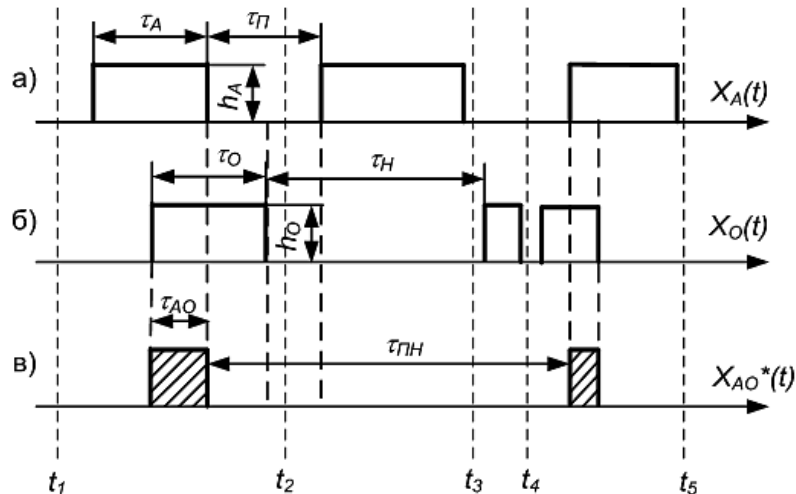


Рис. 2. Модель случайного потока импульсов совпадения

импульса совпадения представляет собой реализацию длительности задержки подвижной единицы в результате единичного отказа и следующего за ним восстановления. Характеристики этого потока определяют издержки, обусловленные незапланированными остановками и простоем подвижных единиц.

Каждому исходному потоку случайных импульсов соответствуют свои характеристики, определяемые статистически, а именно:

- математические ожидания:  $\bar{\tau}_A$  – длительности занятия объекта транспортной инфраструктуры подвижным составом;  $\bar{\tau}_П$  – длительности свободного (не занятого) состояния объекта транспортной инфраструктуры;  $\bar{\tau}_O$  – длительности отказа объекта транспортной инфраструктуры на участке;  $\bar{\tau}_H$  – длительности работоспособного состояния объекта транспортной инфраструктуры на участке;
- плотности распределений:  $\alpha_A(\tau)$  – длительности занятого состояния объекта транспортной инфраструктуры;  $\beta_П(\tau)$  – длительности свободного состояния объекта транспортной инфраструктуры;  $\alpha_O(\tau)$  – длительности состояния отказа объекта транспортной инфраструктуры;  $\beta_H(\tau)$  – длительности работоспособного состояния объекта транспортной инфраструктуры.

На основе теории случайных импульсных потоков [13] с использованием представленных исходных данных могут быть вычислены и построены: зависимость средней частоты импульсов потока совпадения от их длительности  $\mu_{AO}(\delta)$ , плотность вероятности распределения длительности импульсов потока совпадения, а из последней определена вероятность импульсов различной длительности  $P_{AO}(\delta)$ . Фактически величина  $\mu_{AO}(\delta)$  для объекта транспортной инфраструктуры соответствует частоте незапланированных остановок транспорта длительностью  $\delta$  в заданных условиях.

В общем случае экономические потери, связанные с отказами, могут быть заданы с помощью случайных величин – высоты импульсов и, как следствие, – площади импульсов потока совпадений. Кроме того, полученные результаты



могут являться исходными данными для построения второй модели – модели зависимости средней частоты случайных импульсов совпадения от их длительности и формирования суммарных экономических издержек. Модель представлена на рис. 3. Она реализуется в трехмерном пространстве.

Сначала в осях  $\mu'_{АО}(\delta)$  и  $\delta$  изображается полученная на основе зависимости средней частоты незапланированных остановок подвижных единиц от времени простоя функция плотности вероятности времени простоя поездов (изображена жирной линией). Площадь фигуры, образуемой кривой и осью абсцисс, равна единице, так как характеризует вероятность достоверного события.

Затем в осях  $C(\delta)$  и  $\delta$  в масштабе откладываются удельные издержки, связанные с незапланированной стоянкой поезда длительностью  $\delta$ . В последнюю очередь по полученным проекциям достраивается объемная фигура.

Для оценки значения суммарных издержек с заданной доверительной вероятностью на основе данной модели необходимо сделать следующее. Определить интервал  $[a, b]$ , которому соответствует такая же площадь фигуры, полученной между осью абсцисс и функцией плотности вероятности, как и площадь,

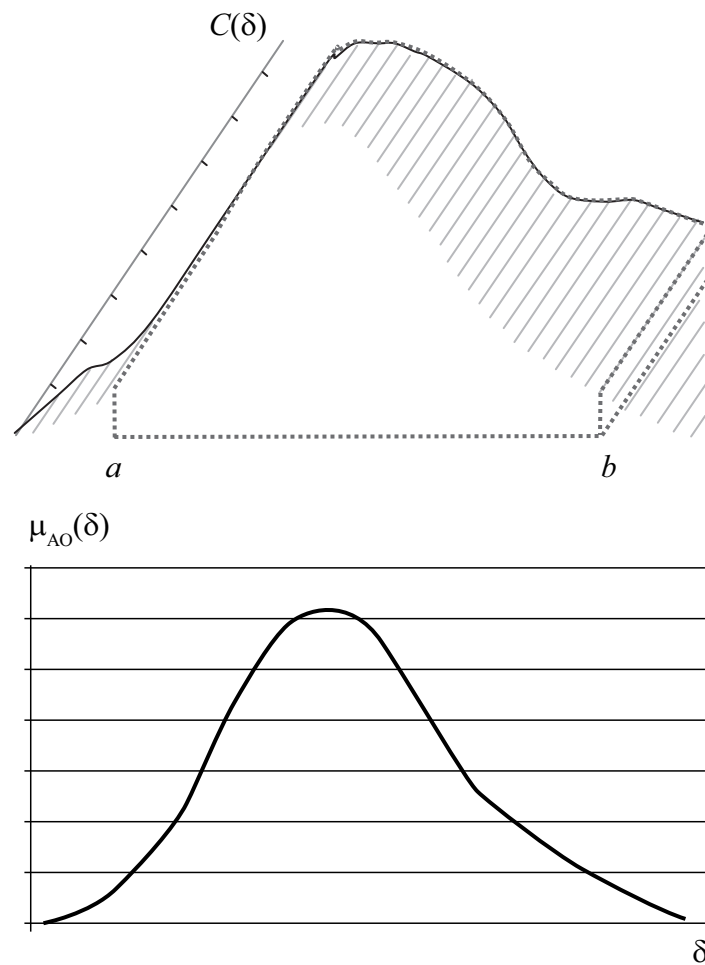


Рис. 3. Зависимость средней частоты импульсов совпадения и возникающих экономических издержек от длительности импульсов совпадения

соответствующая искомому значению доверительной вероятности результата. Из точек  $a$  и  $b$  провести вертикальные и горизонтальные линии, перпендикулярные оси абсцисс, а затем достроить ограничивающие исходную объемную фигуру вертикальные плоскости.

Объем фигуры, полученной в результате усечения исходной объемной фигуры указанными вертикальными плоскостями, умноженный на суммарную частоту импульсов совпадения и длительность расчетного интервала времени, соответствует величине суммарных издержек, обусловленных незапланированными остановками транспорта вследствие внезапных отказов изучаемого объекта транспортной инфраструктуры в конкретных условиях эксплуатации и ремонта.

Предложенные модели позволяют решать следующие задачи:

1. Математически описывать механизм формирования возникающих при различных условиях эксплуатации объектов транспортной инфраструктуры экономических издержек, связанных с возникновением внезапных и постепенных отказов этих объектов, различными распределениями случайной величины времени восстановления.

2. Осуществить количественный и качественный анализ экономических потерь от влияния различных факторов, обусловленных характеристиками надежности и условиями эксплуатации объектов транспортной инфраструктуры.

3. Задавать в качестве исходных данных различные комбинации параметров, включая:

– закон распределения наработки объекта транспортной инфраструктуры на отказ;

– закон распределения времени до восстановления объекта транспортной инфраструктуры после отказа;

– закон распределения времени свободного состояния объекта транспортной инфраструктуры;

– закон распределения длительности использования объекта транспортной инфраструктуры по назначению;

– количественные характеристики случайных величин, характеризующих наработку объекта транспортной инфраструктуры на отказ, время до его восстановления, длительность свободного состояния и состояния использования по назначению, включая первый и второй вероятностные моменты;

– вид закона изменения удельных издержек от времени незапланированного простоя транспорта вследствие внезапного отказа объекта транспортной инфраструктуры;

– величину удельных издержек от незапланированного простоя для грузовых и пассажирских поездов;

– допустимое значение интенсивности отказов объектов транспортной инфраструктуры;

– доверительную вероятность оценки экономических потерь, связанных с эксплуатацией объекта транспортной инфраструктуры в течение расчетного интервала времени.

4. Выполнять комплексный анализ с помощью предложенных моделей и находить различные управленческие решения, в том числе минимизирующие стоимость жизненного цикла объекта транспортной инфраструктуры в конкретных условиях эксплуатации и ремонта.

Предлагаемый подход дает возможность рассматривать технические и экономические показатели функционирования изучаемых объектов в неразрывной связи, с учетом режима работы, условий эксплуатации и характеристик процесса их обслуживания. Предлагаемый подход обобщает представления из нескольких научных направлений исследований и объединяет в себе математический и понятийный аппарат, относящийся к оценке надежности технических систем, математической теории совпадений, оценке экономических рисков применительно к транспортным системам. Методы и модели теории случайных импульсных потоков ранее применялись для оценки безопасности на железнодорожных переездах [2]. Для комплексной оценки безотказности, ремонтпригодности, экономических ресурсов и рисков, связанных с функционированием объектов транспортной инфраструктуры, указанные методы ранее не использовались и не предлагались.

## Заключение

Описанные модели оценки технологической эффективности систем железнодорожной автоматики и телемеханики были апробированы при имитационном анализе надежности и безопасности функционирования технических систем при различных условиях эксплуатации и реализованы при разработке методологии управления ресурсами, рисками и анализа надежности (УРРАН) в хозяйствах инфраструктуры железнодорожного транспорта. Они позволили разработать методику и алгоритм имитационной экспертизы управленческих решений, направленных на минимизацию стоимости жизненного цикла объектов транспортной инфраструктуры за счет сокращения эксплуатационных расходов, обоснования эффективности инвестиций, направленных на модернизацию и обновление различных систем железнодорожной автоматики.

## Библиографический список

1. Гапанович В. А. Внедрение методологии УРРАН в хозяйстве АТ / В. А. Гапанович, Б. Ф. Безродный, А. В. Горелик, Д. В. Шалягин // Автоматика, связь, информатика. – 2012. – № 4. – С. 12–15.
2. Гапанович В. А. Методология анализа работы структурных подразделений / В. А. Гапанович, Б. Ф. Безродный, А. В. Горелик, Д. В. Шалягин // Автоматика, связь, информатика. – 2013. – № 1. – С. 2–5.

3. Журавлев И. А. Принципы имитационного моделирования среднего времени до восстановления устройств железнодорожной автоматики // Наука и техника транспорта. – 2012. – № 3. – С. 86–89.
4. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания / Л. Клейнрок. – М. : Машиностроение, 1979. – 432 с.
5. Неваров П. А. Модель оценки надежности систем железнодорожной автоматики и телемеханики // Современные проблемы совершенствования работы железнодорожного транспорта : межвузовский сборник научных трудов. – М. : МИИТ, 2009. – С. 22–26.
6. Горелик А. В. Методы анализа эксплуатационной надежности и безопасности систем железнодорожной автоматики и телемеханики / А. В. Горелик, П. А. Неваров, Н. А. Тарадин // Надежность и качество : труды Международного симпозиума. – Пенза : Информационно-издательский центр ПензГУ, 2009. – С. 230–234.
7. Савченко П. В. Методы обеспечения и оценки живучести станционных систем железнодорожной автоматики [рукопись] : дис. ... канд. техн. наук. – М. : РГОТУПС, 2007. – 194 с.
8. Неваров П. А. Методы анализа эффективности функционирования систем железнодорожной автоматики и телемеханики [рукопись] : дис. ... канд. техн. наук. – М. : МИИТ, 2010. – 204 с.
9. Горелик А. В. Модель оценки безопасности систем железнодорожной автоматики по параметрам движения поездов / А. В. Горелик, П. А. Неваров, Н. А. Тарадин // Наука и техника транспорта. – 2008. – № 4. – С. 78–81.
10. Тарадин Н. А. Сравнительная оценка безопасности функционирования железнодорожных поездов // Наука и техника транспорта. – 2009. – № 4. – С. 62–64.
11. Горелик А. В. Методы анализа безопасности функционирования систем железнодорожной автоматики и телемеханики / А. В. Горелик, И. А. Журавлев, Н. А. Тарадин // Надежность. – 2011. – № 1. – С. 40–46.
12. Горелик А. В. Методы анализа надежности и эффективности функционирования систем железнодорожной автоматики и телемеханики / А. В. Горелик, П. А. Неваров, И. А. Журавлев, Н. А. Тарадин // Наука и техника транспорта. – 2011. – № 3. – С. 88–93.
13. Седакин Н. М. Элементы теории случайных импульсных потоков / Н. М. Седакин. – М. : Советское радио, 1965.

*A. V. Gorelik, P. A. Nevarov, I. A. Zhuravlev, A. S. Veselova*  
«Railway Automation, Remote Control and Communication» department,  
Moscow State Transport University

### **Evaluation models of technological efficiency of railway automation and remote control systems**

The article describes the evaluation model of technological efficiency of railway automation and remote control systems. To analyze the efficiency of these systems operation the model based on the queuing theory is used, where the railway automation and remote control system is represented as a service unit with priorities. To solve the problem of estimation of the total costs of failure over the specified period of time the article provides two models: a model of the flow of random coincidence pulses, and a model of the function of mean frequency of random coincidence pulses to its duration and the formation of the total economic costs.

URRAN; railway automation and remote control system; reliability; economic efficiency; safety; availability factor; queuing theory; the theory of random pulse flows; failures; distribution density; expected value

*Поступила в редакцию 24.02.2015*

*Статья представлена к публикации членом редколлегии Д. С. Марковым  
Контактная информация: agorelik@yandex.ru*

© Горелик А. В., Неваров П. А., Журавлев И. А., Веселова А. С., 2015