

### **III. ПРОБЛЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ И ОРГАНИЗАЦИИ ПЕРЕВОЗОК НА РАЗЛИЧНЫХ ВИДАХ ТРАНСПОРТА**

---

УДК 656.212.2.073.21

#### **ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ НАДЕЖНОСТЬ – ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ПРИНЦИПЫ РАСЧЕТА**

*Е.Н. Тимухина, Н.В. Кащеева*

*ФГБОУ ВПО «Уральский государственный университет путей  
сообщения» (УрГУПС),*

*620034, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова 66,  
кафедра «Управление эксплуатационной работой»,  
[ETimuhina@uer.usurt.ru](mailto:ETimuhina@uer.usurt.ru), [NataKasheeva@mail.ru](mailto:NataKasheeva@mail.ru)*

#### ***Аннотация***

Работа элемента транспортной системы не имеет законченного функционального значения. Поэтому функциональную надежность следует определять по вероятности выполнения технологической операции, элементарного технологического процесса и целостной функции системы. С функциональной точки зрения для транспортных систем, управляемых с помощью АСУ, важно уметь рассчитывать такие параметры, как вероятность отказов и сбоев технических средств, ошибок в алгоритмах, программах и т.п., формулировать и рассчитывать вероятность функционального отказа. На этой основе необходимо определить показатели надежности информационных процессов. В связи с этим, только подробное моделирование поможет определить функциональную значимость элементов, что повысит функциональную надежность транспортных систем.

#### ***Актуальность***

Надежные и эффективные транспортные связи – условие рыночной экономики для обеспечения экономического взаимодействия. Особое внимание при этом уделяется надежности работы железнодорожных станций. Именно здесь обнаруживаются технологические потери от сбоев в работе разного рода.

В настоящее время наиболее развитой в функциональном отношении является имитационная система ИСТРА (Имитационная система транспорта), представляющая собой систему моделирования, которая позволяет рассчитывать технические и технологические параметры систем железнодорожного и других видов транспорта. Используемая имитационная система отображает структуру, технологию и диспетчерское

управление как наиболее важные факторы, влияющие на функциональную надежность. Только структурный анализ позволяет определить пути снижения потерь на технических и технологических стыках.

### ***Проблема и пути ее решения***

Функциональная надежность – это надежность выполнения некоторой функции. Работа элемента транспортной системы не имеет законченного функционального значения. Поэтому функциональную надежность следует определять по вероятности выполнения технологической операции, элементарного технологического процесса и целостной функции системы.

Отказы, сбои, ошибки в транспортных системах. Микропроцессорные системы позволяют проводить сопряжение и обмен данными с системами такого же или верхнего уровня, с системой диспетчерского контроля, диспетчерской централизацией, системами слежения за номерами поездов, информационными пассажирскими системами, системами оповещения работающих на пути, и т.д.

Известны четыре источника нарушений функционирования в транспортной системе, управляемой с помощью АСУ: отказы и сбои технических средств; ошибки в комплексе алгоритмов и программ; ошибки во входной информации; ошибки диспетчеров (операторов).

Безотказность технических средств, в основном, определяется их надёжностью. Сбой – кратковременное самоустраняющееся нарушение правильной работы технического средства или его элемента.

Ошибки в комплексе алгоритмов и программ подразделяются на две группы: собственные и привнесённые. Собственные ошибки условно можно разделить на три типа: системные, алгоритмические, программные. Системные ошибки обусловлены отклонением условий функционирования алгоритмов в реальной системе и характеристик управляющих объектов от предполагавшихся при проектировании. Под системными ошибками можно понимать, прежде всего, ошибки взаимодействия системы алгоритмов с внешними объектами управляющих. Алгоритмические ошибки связаны с неполным формированием необходимых условий решения задач и некорректной их постановкой. Большое влияние на надёжность комплекса алгоритмов и программ оказывают привнесённые ошибки, под которыми подразумеваются сбойные ошибки технических средств и ошибки внешних объектов. Сбойные ошибки искажают результаты выполнения операций, что вызывает ошибки в выполнении функциональных алгоритмов и приводит даже к нарушению вычислительного и информационного процесса в целом. Ошибки внешних объектов, взаимодействующих с системой, обусловлены искажениями или потерями информации в системах передачи данных.

Ошибки операторов обусловлены следующим. Операторы взаимодействуют с техническими средствами чаще всего с помощью видеотерминальных устройств. То есть, наряду с устойчивыми отказами технических средств имеют место ошибки программного обеспечения. Проведенный анализ показывает, что центр тяжести обеспечения надёжности находится в области правильности выполнения функциональных задач, а не в области расчёта и обеспечения безотказности и восстанавливаемости технических средств, как это имеет место в других технических системах.

Показатели правильности выполнения вычислительных процессов.

Вероятность безотказного выполнения задачи  $P_3$  - это вероятность того, что в процессе выполнения задачи не возникнет ни одного функционального отказа. Тогда оценка вероятности безотказного выполнения задачи равна

$$\hat{P}_3 = \frac{\Pi - k}{\Pi} \quad (1)$$

Вероятность безотказного выполнения в течение времени  $t$  процесса  $P_{ВП}(t)$ . Пусть в системе реализуется один процесс в течение времени  $t$ . Показатель вероятности безотказного выполнения в течение времени  $t$  определяется как вероятность того, что:

1. не поступила заявка и задача не выполнялась;
2. поступила только одна заявка и задача выполнена безотказно;
3. поступило ровно две заявки и дважды задача выполнена безотказно;
4. в общем случае поступило ровно  $i$  заявок и по каждой из них задача выполнена безотказно.

Суммируя вероятности указанных событий, получим по формуле полную вероятность:

$$P_{ВП}(t) = P(0, t)(P_3)^0 + P(1, t)(P_3)^1 + P(2, t)(P_3)^2 + \dots + P(i, t)(P_3)^i + \dots = \sum_{i=0}^{\infty} P(i, t)(P_3)^i, \quad (2)$$

где  $P(i, t)$  - вероятность того, что в течение времени  $t$  поступит ровно  $i$  заявок.

Среднее время до функционального отказа относительно процесса  $T_{ВП}$  равно:

$$T_{\text{ВГ}} = \int_{i=0}^{\infty} P_{\text{ВГ}}(t) dt. \quad (3)$$

Среднее время восстановления правильного выполнения процесса  $\hat{T}_{\text{ВВП}}$ . Обозначим длительность устранения  $i$  – го функционального отказа  $\tau_{\text{ВГ}}$ . В результате длительного наблюдения установлено, что при  $n$  выполнениях задачи имели место  $k \leq n$  функциональных отказов. Тогда оценка среднего времени восстановления следующая:

$$\hat{T}_{\text{ВВП}} = \frac{\sum_{i=1}^k \tau_{\text{ВГ}}}{k}. \quad (4)$$

Комплексные показатели функциональной надёжности транспортной системы. Коэффициент функциональной готовности определяет вероятность того, что в произвольный момент времени система готова к выполнению технологических процессов. Определяется следующим образом:

$$K_{\text{ФГ}} = \frac{T_{\text{ВГ}} T_{\text{ИП}}}{(T_{\text{ВГ}} + T_{\text{ВВП}})(T_{\text{ИП}} + T_{\text{ВВП}})}, \quad (5)$$

где  $T_{\text{ИП}}$  - среднее время до функционального отказа ИАС относительно информационных процессов,

$T_{\text{ВГ}}$  - среднее время до функционального отказа относительно технологических процессов,

$T_{\text{ВВП}}$  - среднее время восстановления информационного процесса.

Коэффициент оперативной функциональной готовности определяет вероятность того, что система готова к функционированию в произвольный момент времени и выполнит без функциональных отказов заданную работу в течение времени  $t$ .

$$K_{\text{ФГ}}(\tau) = K_{\text{ФГ}} P_{\text{ВГ}}(\tau) P_{\text{ИП}}(\tau). \quad (6)$$

Расчёт вероятности безотказного выполнения в течение времени  $t$  технологического процесса  $P_{\text{ВГ}}(t)$  основывается на результатах вычисления или оценки показателя  $P_3$  и на конкретной математической модели, описывающей поток заявок на выполнение задачи. Тогда вероятность того, что в течение времени  $t$  поступит ровно  $i$  заявок, задаёт-

ся выражением:  $P(i, t) = \frac{(\eta t)^i}{i!} e^{-\eta t}$ .

Следовательно,

$$P_{\text{ВП}}(t) = P_3^i = e^{-\eta t} \sum_{i=0}^{\infty} \frac{Z^i}{i!} = e^{-\eta t} e^Z, \quad (7)$$

где  $Z = \eta t P_3$  и  $\eta$  - интенсивность потока заявок.

Окончательно получаем:

$$P_{\text{ВП}}(t) = e^{-\eta t} e^Z = e^{-\eta(1-P_3)t} = \exp[-\eta(1-P_3)t]. \quad (8)$$

Среднее время до функционального отказа относительно технологических процессов равно:

$$T_{\text{ВП}} = \int_{i=0}^{\infty} P_{\text{ВП}}(t) dt = \int_{i=0}^{\infty} \exp[-\eta t(1-P_3)] dt = \frac{1}{\eta(1-P_3)}. \quad (9)$$

Таким образом, среднее время до функционального отказа относительно технологических процессов обратно пропорционально вероятности отказа в выполнении задачи и интенсивности потока заявок на выполнения задач.

Функциональная надежность в элементарных и системных процессах. Надежность выполнения основной функции транспортной системы зависит от уровня адаптации в системе, ибо гибкое управление порождает динамические резервы. В транспортной системе функционально можно выделить следующие уровни (рис.1): элементарная функция элемента; технологическая операция; процесс; функция системы.

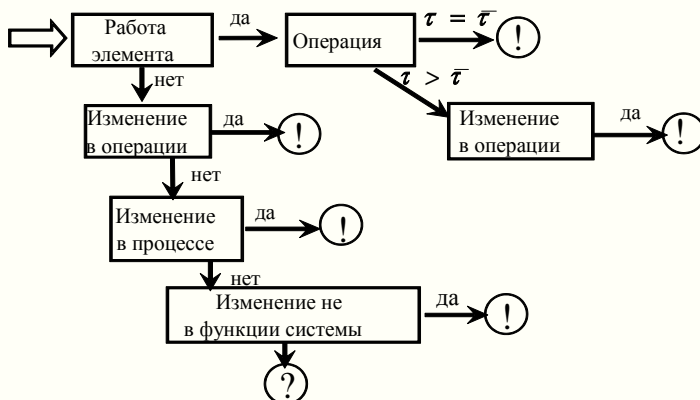


Рис.1. Повышение функциональной надежности за счет адаптации

Элементарная операция – стрелка обеспечивает движение по двум направлениям. Технологическая операция – перестановка состава с пути на путь, заезд локомотива, роспуск состава. Процесс – обслуживание грузового фронта, законченный цикл операций по расформированию составов. Функция системы – переработка потоков на сортировочной станции. Выход из строя элемента не означает однозначно невозможность выполнения операции. Она может иметь обходные варианты выполнения: изменение варианта, изменение очередности вариантов, прерывание с восстановлением.

Невозможность выполнения операции может оставлять возможность выполнения процесса (рис.2). Даже невозможность выполнения процесса может затруднить, но не прекратить функцию системы. Система может ускорить выполнение других процессов, чтобы потом ускоренно завершить временно остановленный (рис.3).

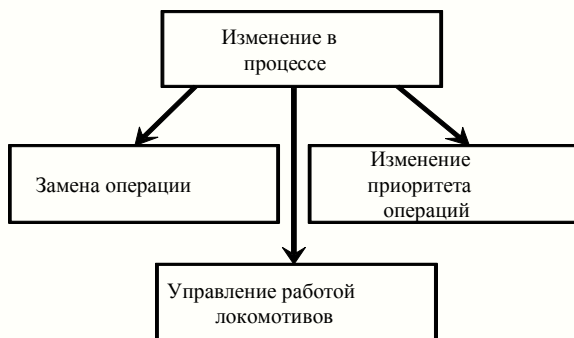


Рис.2. Адаптация в процессе при трудностях выполнения операции

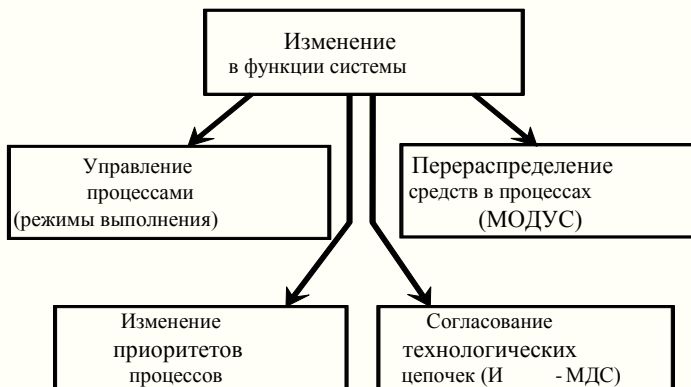


Рис.3. Адаптация на уровне функции системы

Таким образом, при правильной организации технологии и развитой адаптации вероятность невыполнения функции снижается с увеличением структурного технологического уровня и, соответственно, увеличивается функциональная надежность.

Функциональные потери при технологическом сбое. Технологический ущерб от выхода из строя того или иного устройства может быть разным, в зависимости от его расположения в структуре системы, числа и характера структурных связей, особенностей использования его в технологическом процессе.

На рис. 4 показаны некоторые логические следствия выхода из строя привода, например, стрелочного перевода.

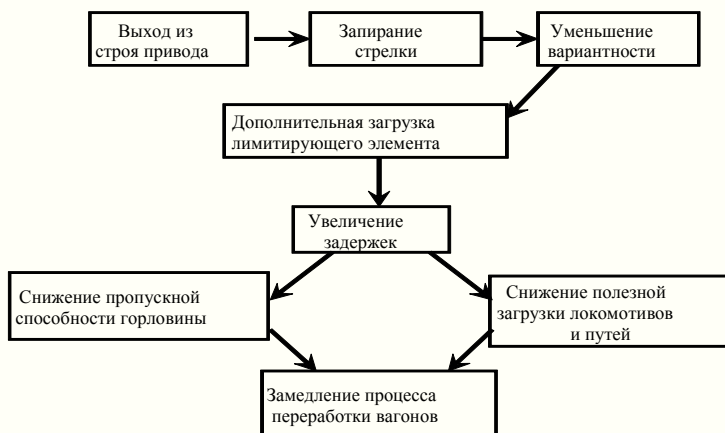


Рис.4. Функциональные последствия выхода из строя электропривода (горловина)

Технологическая значимость элементов системы отражает величину функциональных потерь при функциональной остановке элемента транспортной системы из-за выхода связанного с ним устройства автоматики. Во многих случаях необходимо знать элементы с наиболее высокой функциональной значимостью. Считается, что «узким местом» структуры является наиболее загруженный элемент. Многочисленные эксперименты на имитационных моделях показали, что это далеко не так. Зависимость между загрузкой элемента и задержками из-за него является более сложной и неоднозначной. Все зависит от того, насколько велик случайный разброс в интенсивности передвижений с его использованием.

Предсказать уровень задержек по уровню занятости нельзя даже для локомотивов. Поэтому при выборе элементов, вызывающих

наибольшую функциональную уязвимость необходимо отталкиваться от «узких мест» структуры или «узких мест» технологии (рис.5).

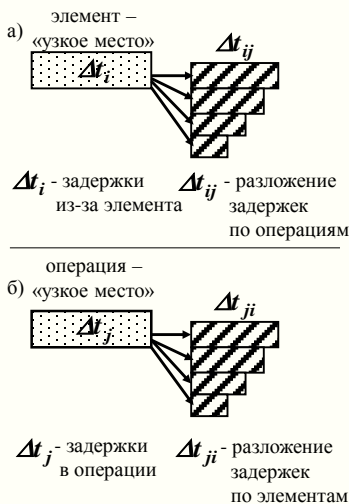


Рис.5. Два способа выбора элементов с наибольшими функциональными потерями

Различные устройства в зависимости от места в структуре и характера технологического использования могут оказывать разное влияние на уменьшение числа вариантов выполнения операции при функциональной остановке.

На рисунках 6, 7 и 8 показаны различные маршруты движения в горловине станции Лужская – сорт. Здесь видно, что стрелки 377, 371, 321 используются во всех трех вариантах, стрелки 369, 325, 341 – в двух, а стрелки 385, 345, 347 – только в одном из вариантов.

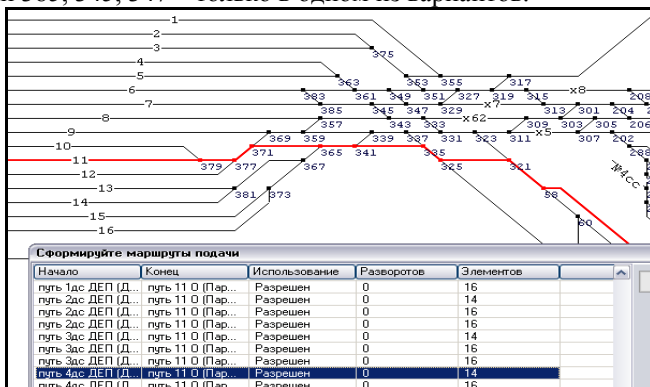


Рис.6. Маршрут 1 в горловине ст. Лужская – сорт.





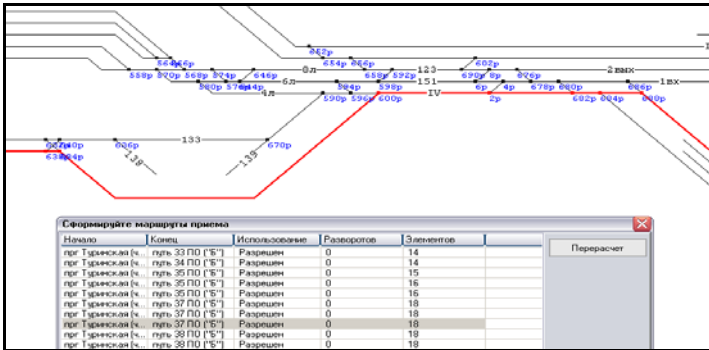


Рис.10. Маршрут приема 2 (часть I) (ст. Карымская)

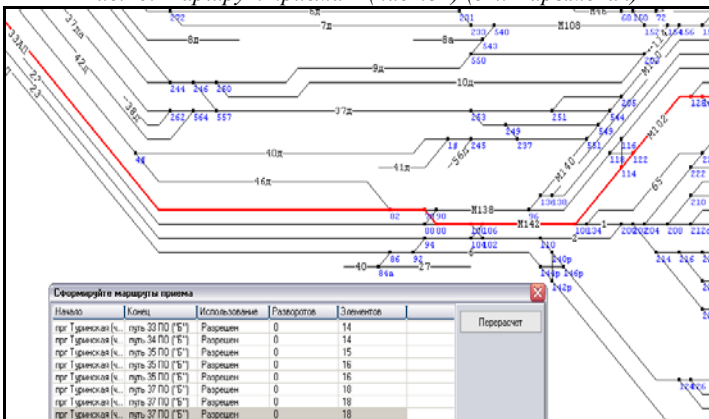


Рис.11. Маршрут приема 2 (часть II) (ст. Карымская)

Поэтому невозможность функционального использования той или иной стрелки приводит к разному уменьшению варианты. На рис.9 показан маршрут приема на ст. Карымской в один парк, а на рис.10 и 11 – второй маршрут во второй парк (маршруты рассматриваются как варианты одной и той же операции). Из перечня вариантов видно, что число участвующих элементов может быть 5, 14, 15, 16 и 18. Естественно, это отразится на времени выполнения операции

Таким образом, анализ вариантов выполнения той или иной операции позволит построить соответствующие таблицы. Третий фактор функциональных потерь – увеличение задержек – требует проведения имитационных экспериментов.

### Закключение

Расчет функционального ущерба от выхода из строя устройства автоматики с помощью теории массового обслуживания вызывает сомнения в достоверности результата. Описывать вероятность занятости

технологического элемента станции простейшим потоком нельзя, ибо это определяется структурой системы, технологией и управлением. Так что процесс будет далеко не случайный.

Из-за сильной структурной и технологической связности функциональную надежность транспортных систем нельзя рассчитать по элементарным формулам. Только подробное моделирование поможет определить функциональную значимость элементов, которая определяется величиной технологических потерь при выходе их из строя. Величина потерь при технологических сбоях характеризует функциональную уязвимость системы.

### **Библиографический список**

1. Козлов П.А., Александров А.Э. Автоматизированный программный комплекс расчета, регистрации и отображения работы сортировочной станции // Железнодорожный транспорт, 2003. № 9. С. 65-67.
2. Козлов П.А., Владимирская И.П. Методы оптимизации взаимодействия железнодорожного и морского транспорта // Транспорт РФ, 2009. №1 (20). С. 53-55.
3. Козлов П.А., Владимирская И.П. Закономерности преобразования потока в транспортных структурах // Транспорт Урала, 2009. №1. С.37-39.

УДК 656.073

## **ПРОБЛЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ КОНТЕЙНЕРНЫХ ПЕРЕВОЗОК ПО МЕЖДУНАРОДНЫМ ТРАНСПОРТНЫМ КОРИДОРАМ**

***С.Н. Корнилов, В.М. Самуйлов<sup>1</sup>, О.В. Фридрихсон***

*ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» (МГТУ),  
Россия, Челябинская обл., г. Магнитогорск, пр. Ленина, д.38,  
кафедра «Промышленный транспорт»,  
[kornilov\\_sn@mail.ru](mailto:kornilov_sn@mail.ru), [fridrikhsonov@yandex.ru](mailto:fridrikhsonov@yandex.ru)*

<sup>1</sup>*ФГБОУ ВПО «Уральский государственный университет путей сообщения» (УрГУПС),  
Россия, Свердловская обл., г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, д.66,  
кафедра «Мировая экономика и логистика»*

### **Аннотация**

Приводится анализ контейнерных перевозок по международным транспортным коридорам, расположенным на территории России. Выявлены факторы сдерживающие увеличение объемов контейнерных перевозок в транзитном сообщении. Приведены основные направления мероприятий по развитию международных транспортных коридоров.