

УДК 656.222.3

А. А. ЕРОФЕЕВ, кандидат технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

## ВЛИЯНИЕ СБОЕВ В ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМАХ НА ПЕРЕВОЗОЧНЫЙ ПРОЦЕСС

Установлены основные виды отказов и сбоев, которые могут встречаться в информационно-управляющих системах железнодорожного транспорта. Определены количественные параметры задержек в обработке данных в системе управления перевозочным процессом на Белорусской железной дороге. Предложена методика оценки влияния сбоев в информационно-управляющих системах на перевозочный процесс. Данная методика учитывает виды рисков возникновения сбоев и их вероятностные характеристики. Апробация методики произведена на примере Информационно-аналитической системы поддержки управленческих решений для грузовых перевозок Белорусской железной дороги. По итогам исследования были установлены типы зависимостей коэффициентов величины изменения натуральных показателей от продолжительности сбоев. Разработаны рекомендации по минимизации потенциальных дополнительных затрат железной дороги в случаях сбоев в информационно-управляющих системах.

**В**недрение информационно-управляющих и интеллектуальных систем управления на железнодорожном транспорте позволяет, с одной стороны, снизить затраты на организацию и реализацию перевозок, а с другой – делает перевозочный процесс зависимым от режимов функционирования таких систем. Даже незначительные по продолжительности сбои в функционировании систем могут повлечь за собой существенные изменения в технологии работы подразделений железнодорожного транспорта, а в критических случаях – не позволяют выполнять свои основные функции.

Наиболее уязвимыми в данном аспекте являются технологии работы подразделений железнодорожного транспорта, для которых используется информация из дорожного уровня – как единственного источника данных для принятия решений. В данной статье в качестве примера такой системы рассмотрена Информационно-аналитическая система поддержки управленческих решений для грузовых перевозок (ИАС ПУР ГП), которая действует на Белорусской железной дороге. Она охватывает **полный цикл управления перевозками** [1]:

I Долгосрочное планирование и нормирование перевозок (нормативный график движения, план формирования поездов, планирование потребности в локомотивах, локомотивных бригадах, парке вагонов).

II Среднесрочное планирование и нормирование перевозок (согласование заявок на перевозки, регулировочные задания, корректировки плана формирования, графика движения, техническое нормирование перевозочных средств).

III Оперативное управление перевозками: сменное/суточное планирование (грузовая работа, поездная работа, регулировка порожних вагонопотоков, работа локомотивов и локомотивных бригад); текущее планирование (на 3–6 часов); диспетчерское управление (ликвидация отклонений).

IV Информатизация технологических операций с объектами перевозочного процесса (начальных/конечных, в пути следования).

V Учет и анализ выполненных перевозок.

Исходные данные для функционирования ИАС ПУР ГП поступают из действующих на железной доро-

ге систем линейного уровня: АСУС, АРМ ОСТЦ, САПОД, «Неман» и др.

Логическая взаимосвязь между решаемыми на разных стадиях управления задачами обеспечивает преемственность исходных данных и выходных решений, но делает решение задач невозможным без полноценного функционирования базы данных грузовых перевозок (БД ГП).

Потенциальные отказы и сбои в ИАС ПУР ГП по степени их влияния на систему управления перевозочным процессом можно разделить на несколько крупных групп:

- искажения вычислительного процесса и данных, вызывающие полное прекращение выполнения функций системой управления на длительное или неопределенное время;

- отказ, в значительной степени обесценивающий результаты предыдущего функционирования;

- искажения, кратковременно прерывающие функционирование системы и малоискажающие накопленные данные и выдаваемые результаты;

- частичный отказ или длительный сбой, в некоторой степени обесценивающий предыдущие результаты;

- искажения кратковременные и малоотражающиеся на вычислительном процессе и обрабатываемых данных;

- сбои, практически не обесценивающие результаты функционирования комплекса программ.

При оценке потенциальных затрат, которые может понести железная дорога при сбоях в работе ИАС ПУР ГП важно выявить вероятность возникновения того или иного вида отказов, а также длительность восстановления и глубину последствий от возникающих отказов. При оценке этих параметров использован математический аппарат:

- теории вероятности;

- математической статистики;

- теории надежности;

- теории диагностики.

В результате анализа сбоев в системах дорожного уровня в зависимости от влияния на организацию перевозочного процесса выделены их следующие виды:

1 Задержки, связанные с обработкой запросов СРУ ИАС ПУР ГП.

2 Сбои, связанные с неработоспособностью программного комплекса в течение продолжительного времени.

3 Сбои, связанные с неработоспособностью технических средств, в том числе устройств энергоснабжения.

Считаем, что вычислительных ресурсов системы достаточно в том случае, если отсутствуют задержки, связанные с ожиданием CPU, или их значения минимальны.

Время задержки – это время, в течение которого адресные пространства определённого сервис-класса не получали процессорного времени. Алгоритм косвенной оценки времени состоит в том, что для перевода из процентного выражения во временное (в часы) достаточно умножить процент задержек на время, в течение которого осуществлялось измерение, и на коэффициент активности  $W$  (частное от числа интервалов, когда адресные пространства сервис-класса были активными, к общему числу интервалов).

По итогам фактических исследований установлено, что для ряда подсистем ИАС ПУР ГП максимальное зафиксированное значение задержек, связанных с ожиданием CPU, составляет 100 %, а среднее превышает 30 %.

За исследуемые сутки суммарное время ожидания CPU ИАС ПУР ГП по всем подсистемам составляет 34 ч. Среднее время ожидания CPU ИАС ПУР ГП в целом за 24 ч на один сервис-класс – 2,83 ч, а максимальное – 8,7 ч. В результате анализа статистических данных установлено:

1) простои ИАС ПУР ГП, связанные с неработоспособностью программного комплекса, изменяются в диапазоне от 5 до 72 мин и носят случайный характер. При увеличении объема статистической выборки можно предположить, что предельное значение величины простоя может достигать нескольких часов. В связи с этим предлагается оценивать ущерб от простоя ИАС ПУР ГП продолжительностью до 12 ч (возможно, с теоретической точки зрения, увеличение периода до 24 ч);

2) в процессе функционирования ИАС ПУР ГП регулярно возникают задержки в обработке запросов пользователей различных уровней. Предельное время ожидания ответа при этом может достигать нескольких минут (а суммарное за сутки – до 8,7 ч по одному классу задач). Для таких случаев необходимо рассматривать возможный ущерб, который возникает в системе управления перевозочным процессом за счет повышения энтропии информации.

При оценке влияния сбоев в ИАС ПУР ГП на организацию перевозочного процесса важно знать не только вероятность сбоя в той или иной системе, но и величину риска влияния этого сбоя на перевозочный процесс. Для этой цели выполнена классификация рисков по различным признакам.

По степени влияния на перевозочный процесс риски подразделяются [2]:

1) на частичные, когда запланированные показатели, операции, результаты выполнены частично, но без потерь (например, задержки в оформлении поездных документов, не приводящие к задержкам отправления поездов с технических станций);

2) допустимые, когда запланированные показатели, операции, результаты не выполнены, но потерь нет (например, отсутствие возможности оформления перевозочных документов не привело к потерям доходов,

так как документы будут оформлены в более поздний период);

3) критические, когда запланированные показатели не выполнены, есть определенные потери (например, в связи с невозможностью формирования сортировочного листка возникли дополнительные простои в подсистеме прибытия станции);

4) катастрофические, когда невыполнение запланированного результата влечет за собой разрушение субъекта или невозможность реализации технологического процесса (такие ситуации в данном случае не рассматриваются, так как присутствует возможность перехода на ручное оформление документации, хотя и со значительными потерями).

При оценке рисков и связанных с ними возможных дополнительных затрат следует учитывать, что в определенных случаях существует возможность уменьшить негативные последствия путем диверсификации.

В зависимости от возможности уменьшения степени риска путем диверсификации риски подразделяются следующим образом:

1) диверсифицируемые, которые могут быть устранены или сглажены за счет диверсификации используемых технологий (навыки ручного ведения поездным диспетчером графика исполненного движения при выходе из строя ГИД, сбор информации для сменно-суточного планирования по телефонным каналам связи и т.п.);

2) недиверсифицируемые, которые нельзя уменьшить путем внедрения «ручных» технологий. Для железной дороги в чистом виде такие риски отсутствуют.

По времени возникновения можно выделить риски:

1) возникающие на подготовительной стадии. Это, например, отсутствие технологий работы объекта (станции, депо и т.п.) при неработоспособности систем дорожного уровня; ошибки на стадии разработки проектной документации на дорожные системы, которые приводят к снижению надежности функционирования ниже заданного уровня и т.п.);

2) связанные с созданием объекта. К ним относятся ошибки в разработанном программном обеспечении, закупка оборудования ненадлежащего качества либо закупка оборудования в неполном объеме, несвоевременная подготовка ИТР и рабочих к функционированию систем;

3) в связи с функционированием объекта. На этой стадии могут проявиться риски:

а) эксплуатационные – несанкционированные доступ к системе; заражение системы вирусами; дефектные программы и данные, нарушающие работу программного обеспечения;

б) социальные – трудности с набором квалифицированной рабочей силы, угроза забастовок, недостаточный для удержания персонала уровень оплаты труда, недостаточная квалификация кадров;

в) технические – высокий износ оборудования, несвоевременное обновление технических средств.

Частота возникновения непроизводительных затрат является важной характеристикой величины риска. Она может измеряться количественно (с помощью вероятностей или статистических частот) или качественно, т.е. путем экспертного выделения следующих классов:

– *редкие риски*, для которых характерна малая частота

та реализации риска, т.е. малая вероятность наступления ущерба;

– *риски средней частоты*, для которых характерна средняя частота реализации риска, т.е. средняя вероятность наступления ущерба;

– *частые риски*, для которых характерна высокая частота реализации риска, т.е. высокая вероятность наступления ущерба.

При оценке рисков и связанных с ними дополнительных затрат принимается, что ИАС ПУР ГП находится в неработоспособном состоянии в течение от 1 до 24 часов. Большой период нахождения системы в неработоспособном состоянии представляется маловероятным (за исключением случаев природных и техногенных катастроф). В таких случаях возникают затраты непосредственно от самих катастроф, а затраты от неработоспособности ИСУПП будут опосредованными).

В разработанной методике рассматриваются только *допустимые* и *критические* риски. *Частичные* риски не рассматриваются, так как в случаях их наступления дополнительные затраты отсутствуют либо проявляются опосредованно через другие виды рисков. *Катастрофические* риски из рассмотрения также исключены, так как неработоспособность систем дорожного уровня не приводит к разрушению объекта, а реализация функций управления перевозочным процессом остается возможной, хотя и при значительно больших затратах.

Все риски дополнительных затрат железной дороги, возникающие при аварийном простое ИАС ПУР ГП, будем считать диверсифицируемыми, так как всегда можно разработать такую технологию, которая позволит реализовать функции организации перевозочного процесса без использования системы, но с большими затратами. То есть при оценке затрат необходимо рассматривать не общие затраты, связанные с невозможностью реализации той или иной функции, а только их определенную долю, связанную с увеличением затрат при использовании «ручных» технологий. При увеличении периода неработоспособности ИАС ПУР ГП доля таких затрат будет увеличиваться.

Анализ эксплуатационной работы железной дороги и технологии выполнения отдельных операций перевозочного процесса позволил установить укрупненные функции управления, на которые непосредственно влияет работоспособность ИАС ПУР ГП [2]:

1) оперативное управление работой:

- поездной;
- станционной;
- грузовой;

2) оперативное планирование работы:

- поездной;
- грузовой;
- станционной;

3) оперативное регулирование.

Расчет общей величины затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Y = Y_1 + Y_2 + Y_3, \quad (1)$$

где  $Y_1, Y_2, Y_3$  – затраты, возникающие соответственно в системах оперативного управления, планирования и регулирования.

В общем виде величина затрат, возникающих в результате сбоев в системе информационного обеспечения перевозочного процесса,

$$Y = \sum_{j=1}^t \sum_{i=1}^n e_i \Delta I_i k_1 k_2, \quad (2)$$

где  $e_i$  – расходная ставка на измеритель эксплуатационной работы;  $\Delta I_i$  – величина изменения  $i$ -го измерителя эксплуатационной работы в результате сбоев в системе информационного обеспечения перевозочного процесса в  $j$ -й час сбоя;  $k_1$  – коэффициент, учитывающий величину изменения натуральных показателей эксплуатационной деятельности дороги при возникновении сбоев;  $k_2$  – коэффициент, учитывающий величину риска изменения натуральных показателей эксплуатационной деятельности дороги при возникновении сбоев;  $n$  – количество видов ущерба в рассматриваемой подсистеме;  $t$  – продолжительность сбоя, ч.

При выполнении расчетов произведена оценка изменения каждого показателя в отдельности в соответствии параметрами перевозочного процесса. Для этих целей установлено свыше 30 параметров, по каждому из которых установлены аналитические зависимости их изменения от продолжительности сбоя в информационных системах, а также определены значения величины и частоты риска их изменения.

При установлении показателей использовались следующие инструменты исследования:

– фактические показатели работы подразделений Белорусской железной дороги и их сопоставление со статистикой сбоев, связанных с неработоспособностью программного комплекса;

– статистические данные по эксплуатационной надежности станций;

– программный комплекс имитационного моделирования технологического процесса переработки транзитного вагонопотока на железнодорожной сортировочной станции «ПК ИМ ТП ПТВ ЖДС» (свидетельство о регистрации № С20110009; заявл. 26.01.2011; зарегистрир. 10.02.2011 // Национальный центр интеллектуальной собственности Республики Беларусь. – 2011);

– экспертные данные, полученные в результате обсуждения с оперативными работниками и руководством различных уровней.

По итогам исследования были установлены типы зависимостей коэффициентов величины изменения натуральных показателей от продолжительности сбоев.

В период с 0 до 4 ч из семи оцениваемых групп величин ущерба наибольший ущерб оказался в системе оперативного управления поездной работой, далее за ним – ущерб в системе оперативного управления станционной работой, затем – в системе оперативного управления грузовой работой (рисунок 1).

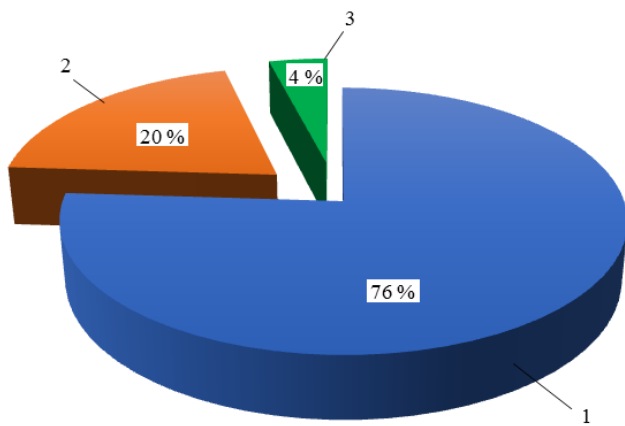


Рисунок 1 – Структура распределения величины ущерба в системе эксплуатационной работы Белорусской железной дороги при величине простоя ИАС ПУР ГП от 0 до 4 ч:

- 1 – оперативное управление поездной работой;
- 2 – оперативное управление станционной работой;
- 3 – оперативное управление грузовой работой

С 4 до 12 ч появляется дополнительный ущерб в связи с неэффективным планированием поездной и станционной работы.

После 12 ч сбоя на второе место по значимости выходит ущерб в системе оперативного планирования грузовой работы и в системе оперативного управления станционной работой (рисунок 2).

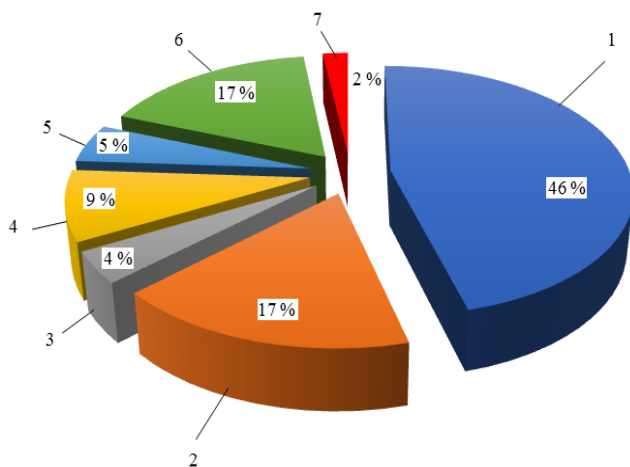


Рисунок 2 – Структура распределения величины ущерба в системе эксплуатационной работы Белорусской железной дороги при величине простоя ИАС ПУР ГП от 12 до 24 ч: оперативное управление работой:

- 1 – поездной; 2 – станционной; 3 – грузовой;
- 4 – планирование поездной;
- 5 – планирование станционной;
- 6 – планирование грузовой;
- 7 – регулирование

Зависимость суммарной величины ущерба для Белорусской железной дороги от продолжительности сбоев в ИАС ПУР ГП приведена на рисунке 3. Данная зависимость является полиномиальной второй степени.

Расчеты, выполненные на основании данных о среднесуточном грузопотоке за 2016 г., показывают, что при простое ИАС ПУР ГП в течение 24 ч дополнительные затраты дорога на организацию перевозочного процесса составят свыше 420 тыс. долларов США.

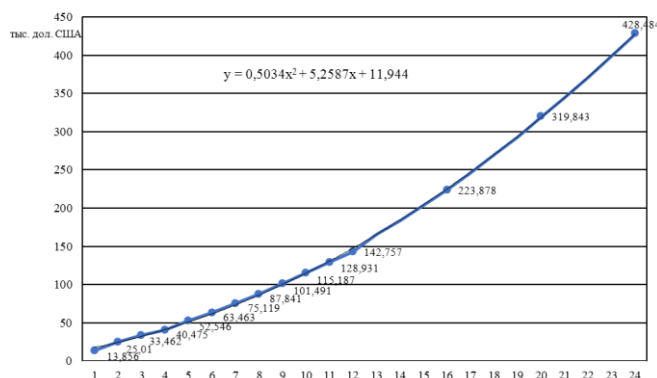


Рисунок 3 – График зависимости величины общей ущерба Белорусской железной дороги от продолжительности сбоев в ИАС ПУР ГП

С целью снижения величины рисков и ущерба в системе организации перевозочного процесса на железной дороге при возникновении сбоев в информационных системах дорожного уровня необходимо предусматривать предупредительные меры и профилактические мероприятия.

Можно рекомендовать следующие меры и мероприятия:

1 Создание полноценных резервов программно-аппаратных комплексов ИАС ПУР ГП, в том числе «горячего» и «холодного». В настоящее время все оборудование находится в непрерывной эксплуатации, и такие резервы отсутствуют.

2 Внедрение мероприятий по уменьшению времени восстановления программно-технических комплексов. К таким мероприятиям можно отнести разработку и внедрение эффективных программных тестов и контрольной аппаратуры, построение устройств на типовых унифицированных блоках с созданием их резерва; повышение квалификации обслуживающего персонала, в том числе путем проведения специализированных курсов повышения квалификации и тематических учений.

3 Резервирование каналов связи между вычислительным центром и основными пользователями, в первую очередь ЦУП.

4 Разработка технологий работы линейных предприятий в условиях отсутствия связи с ИРЦ дороги. К ним можно отнести безмашинное формирование поездной документации и станционной отчетности, ведение графиков исполненного движения, формирование сортировочных листков, натуральных листов на поезд и т.п.

В перспективе с развитием ИАС ПУР ГП, ростом уровня информатизации процессов управления величины рисков и потенциальных ущербов будут возрастать. В связи с этим внедрение каждой информационной технологии должно предусматривать порядок работы в условиях сбоев.

Количественная оценка величины рисков и возможного возникновения дополнительных затрат при сбоях в системах дорожного уровня позволяет более объективно оценить их влияние на перевозочный процесс.

#### Список литературы

1 **Ерофеев, А. А.** Информационные технологии на железнодорожном транспорте : учеб.-метод. пособие. В 2 ч. Ч. 2. Информационные технологии на железнодорожном транспорте / А. А. Ерофеев, Е. А. Федоров. – Гомель : БелГУТ, 2015. – 256 с.

2 **Чернова, Г. В.** Управление рисками : учеб. пособие / Г. В. Чернова, А. А. Кудрявцев. – М. : ТК Велби, Изд-во «Проспект», 2003. – 160 с.

3 **Ерофеев, А. А.** Влияние сбоев в информационных системах дорожного уровня на организацию перевозочного процесса / А. А. Ерофеев // Транспортный комплекс в регионах: опыт и перспективы организации движения : материалы Междунар. науч.-практ. конф. / под ред. А. А. Платонова. – Воронеж : Руна, 2015. – № 1. – С. 11–15.

Получено 10.05.2017

**A. A. Erofeev.** The impact of failures in information management systems on the transportation process.

The main types of failures and malfunctions that can occur in information and control systems of railway transport are established. The quantitative parameters of delays in data processing in the control system of the transportation process at the Belarusian Railway are determined. The technique of an estimation of influence of failures in information-controlling systems on a transportation process is offered. This technique takes into account types of risks of occurrence of failures and their probabilistic characteristics. Approbation of the methodology was carried out on the example of the Information and Analytical System for Support of Management Decisions for Freight Transportation of the Belarusian Railways. Based on the results of the study, the types of dependence of the coefficients of the magnitude of the change in the natural indices against the duration of failures were established. Recommendations are developed to minimize the potential additional costs of the railway in cases of failures in information management systems.