

# Человеческий фактор и безопасность движения

При рассмотрении вопросов безопасности необходимо учитывать не только данные о надежности технических компонентов, но и вероятность ошибок со стороны обслуживающего персонала. Поскольку существующие способы оценки не всегда адекватны этому требованию, для анализа взаимодействия человек — машина в железнодорожной системе была разработана новая методика.

Значение человеческого фактора в железнодорожной эксплуатации и безопасности движения до сих пор учитывалось в недостаточной степени, хотя европейские нормы EN 50126-1 требуют принимать это обстоятельство во внимание. Такая постановка вопроса остается достаточно критичной, поскольку причиной многих железнодорожных катастроф являлись как раз ошибки персонала. Несмотря на высокий уровень автоматизации и контроля за действиями человека, персонал, как и прежде, несет большую ответственность за безопасность железнодорожных перевозок. Это особенно важно для работы в экстремальных ситуациях, когда технические средства защиты перестают функционировать и персоналу, который обычно довольно редко выполняет эти функции, приходится брать их на себя. При анализе рисков приходится учитывать данные о надежности человека в определенных обстоятельствах. Однако оценить вероятность ошибочных действий человека достаточно сложно, поскольку эта задача является комплексной и для ее решения, особенно в железнодорожной эксплуатации, еще не выработаны конкретные решения.

## Исходные данные

Исходя из этих соображений институт DLR транспортной системотехники разработал методики

детального анализа и оценки человеческого фактора на железнодорожном транспорте. Эти методики используются для проведения железнодорожных технических экспертиз, в том числе в области эксплуатационной безопасности.

В ходе разработки методик исследовали систему человек — машина применительно к возможностям человека (машиниста, поездного диспетчера), а также оценивали надежность человека в условиях железнодорожной эксплуатации.

На практике нередки случаи, когда человек принимает неоптимальные решения. Автоматизация все в большей мере позволяет разгрузить человека за счет внедрения технических систем, однако она никогда полностью не заменит человека. Кроме того, автоматика создает повышенный риск утраты персоналом профессиональных навыков в области контроля и управления всеми функциями.

Технические системы способны страховать человека от неправильных действий, однако реализация этого принципа требует больших затрат.

Постепенное расширение поля действия служебных предписаний приводит к значительному усложнению рабочих инструкций. Это не способствует снижению количества ошибок персонала, а, наоборот, скорее ведет к увеличению вероятности ошибок.

Для информации о количественном анализе рисков, требуемом стандартом EN 50129, данные о надежности человеческого фактора в определенных ситуациях или областях деятельности представляют особый интерес. Обычно при составлении дерева отказов в работе технических компонентов причины их выхода из строя определяют с достаточно высокой точностью. При этом их сопоставляют с ошибками, допущенными персоналом при ручном управлении. Для оценки таких ошибок существуют следующие основания:

- на практике принята оценка статистической вероятности возникновения ошибок, равная  $10^{-3}$ , хотя еще в 1993 г. специалистами было доказано, что этот показатель пригоден лишь для приблизительных расчетов. К тому же возможности человека варьируются таким образом, что их нельзя оценить каким-то постоянным значением;

- в зависимости от различных стрессовых и конкретных ситуаций возможности человека в свое время разделяли на 18 значений. Однако более презентативными были результаты проведенных еще в 1980-е годы исследований на электростанциях. Система человек — машина с тех пор претерпела значительные изменения, и теперь способы ее анализа требуют пересмотра, особенно в части железнодорожного транспорта. Кроме того, неизвестно, является ли способ, основанный на оценке имеющихся профессиональных навыков, более надежным с точки зрения ошибок персонала, чем метод, базирующийся на общем объеме знаний или строгом соблюдении инструкций;

- анализ человеческого фактора используется и в других отраслях промышленности. Применяемые аналитические методики, как правило, очень сложны и требуют проведения экспертиз на основе научной психологии. Часто высказывается критика по поводу того, что

количественные показатели при этом основываются главным образом на заключениях экспертов, а применяемые способы, несмотря на свою сложность, не учитывают всего многообразия ошибок. Работы по применению в железнодорожной практике методики HEART (анализ человеческих ошибок и техника их уменьшения), выполненные по поручению железных дорог Великобритании, не решили проблему упрощения и не обеспечили связи между идентификацией ошибок персонала и их количественной оценкой.

Для оценки человеческого фактора, кроме рассмотренных оснований, могут быть получены данные о человеческой надежности на основе информации о происшествиях и авариях. Дополнительно привлекаются результаты моделирования и изучения поведения человека в различных ситуациях, причем последний метод требует значительных затрат при обработке данных.

Если учитывать уровень техники и научных знаний, потребуется большой объем исследований, чтобы получить данные о надежности человеческого фактора и разработать удобную в применении методику качественной и количественной оценки ошибок персонала. Она должна быть пригодной для использования в железнодорожной практике и способной учитывать психологическую науку при оценке человеческого фактора.

## Примеры надежности действий персонала

Для определения степени вероятности человеческих ошибок по данным о происшедших событиях, как правило, имеется ограниченный объем информации. Можно, однако, привести пример проезда запрещающего сигнала. Если общее число таких случаев принять равным  $n_s$ , можно получить оценку  $f$  вероятности проезда в

результате человеческой ошибки из выражения

$$f = n_s / (P_{halt} P r_{sig}).$$

Для величины  $n_s$  в банке данных Европейского агентства железных дорог (ERA) применительно к Германии определено значение 760. Вероятность того, что при приближении поезда загорится запрещающий сигнал ( $P_{halt}$ ), может быть оценена значением 0,01. Аналогичное значение принято в системе пассажирских сообщений Швейцарии. Суммарный пробег поездов  $P$  в Германии составляет 1050 млн поездо-км. Величина  $r_{sig}$  соответствует расстоянию между сигналами. На сети протяженностью 32 тыс. км установлено 170 тыс. сигналов, т.е.  $r_{sig}$  равно 5 сигналов/км. Поскольку следует разделить предупредительные и маневровые сигналы, то правильной будет величина  $r_{sig} = 2$  сигнала/км. Расчетное оценочное значение  $f$  будет равно  $3,6 \cdot 10^{-5}$ . Соответственно, ожидаемая вероятность ошибки составит одно ошибочное действие из 28 тыс. выполненных операций.

Исследования работы парижского метрополитена и пригородных железных дорог Парижа в 1997 г. показали, что вероятность проезда запрещающего сигнала лежит в диапазоне от  $3 \cdot 10^{-5}$  до  $5 \cdot 10^{-5}$ .

По результатам другого исследования, выполненного RATP, в пригородных сообщениях вероятность ошибки машинистов с высоким

уровнем профессиональной подготовки в условиях нормальной эксплуатации составляет  $3 \cdot 10^{-5}$  при выполнении простых задач и  $2 \cdot 10^{-4}$  при выполнении сложной задачи, которая соответствует 10 простым.

В Нидерландах вероятность проезда запрещающего сигнала находится примерно на том же уровне, а именно  $2,9 \cdot 10^{-5}$  (одна ошибка на 34 тыс. операций). Поскольку все величины имеют одинаковый порядок, то данный метод оценки можно квалифицировать как относительно приемлемый.

Полученный порядок величин вероятности показывает, что применяющаяся на практике оценка  $10^{-3}$  является неприемлемой. Более точные заключения о вероятности отказов, получаемые на базе рассматриваемых методов оценки человеческого фактора, позволяют конструировать более совершенные и компактные технические системы. Это даст возможность получить некоторую экономию средств при разработке железнодорожных устройств.

## Методика оценки «Взаимодействие человека с барьерами»

*Исходная база.* На первом этапе исследования рассматривается новая методика качественного анализа надежности действий человека. Она включает моделирование рабочей системы, научную модель человеческого восприятия и обработки получаемой информации, а также отображение мер безопасности.

На рис. 1 представлен процесс моделирования рабочей системы человек — машина. Под термином «машина» понимают комплекс технических систем, с которыми взаимодействует человек. Человек и машина образуют ядро рабочей системы, на которое оказывают влияние физические, организационные и другие факторы. К этим факторам относятся также концепция самой

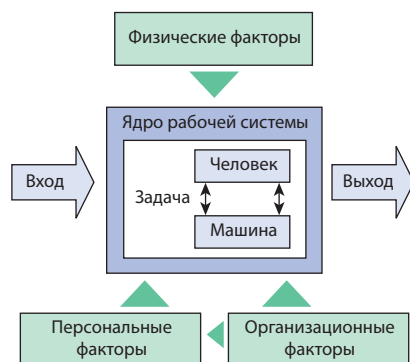


Рис. 1. Моделирование рабочей системы человек — машина

рабочей системы, мотивация, уровень техники безопасности.

Для исследования процессов обработки поступающей информации человеком применяются современные системы моделирования, которые основываются на психологии познания (рис. 2). В этой системе восприятие в период, предшествующий выполнению каких-то действий, находится в одной познавательной цепочке с планом, имеющимся опытом и возможной схемой действий. В отличие от простой классической последовательности (восприятие – принятие решения – действие) эта модель позволяет учитывать многократные восприятия и получать отображение процессов, которые начинаются не с одиночного восприятия. Процесс может начаться при наличии первоначального плана и целей, но может быть запущен на базе повторного восприятия лишь после прохождения первой познавательной цепочки.

В системе железнодорожного транспорта для предотвращения крушений и снижения ущерба от таковых уже существует большое число систем безопасности. Они должны в рамках представленной здесь методики моделироваться в виде защитных барьеров: физических или нефизических средств, которые предназначены для предотвращения, контроля или устранения нежелательных событий или аварийных ситуаций. Это понятие известно в железнодорожной практике и сформулировано в проекте ROSA, посвященном барьерам и защитным мерам на железнодорожном транспорте. Барьерная функция отображает специальные виды мероприятий и способы, с помощью которых осуществляется запрещающее действие. Одна или несколько барьерных систем образуют организационную или физическую структуру, без которой невозможно реализовать запрещающую функцию.

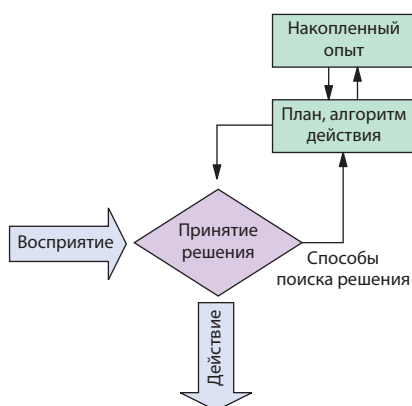


Рис. 2. Познавательно-логическая цепочка обработки информации человеком

Кроме того, имеется следующая классификация:

- физические барьеры существуют реально, и благодаря их наличию могут быть предотвращены нежелательные события или сокращен объем ущерба. Это, например, стенки, ограды, тупиковые брусья. В дальнейшем они не будут рассматриваться, поскольку их функция безопасности не связана с действиями человека;

- функциональные барьеры представляют собой технические системы, создающие временные или логические препятствия, без наличия которых могут произойти какие-то нежелательные события. Примером могут служить установка электромеханического блок-замка, введение пароля и др.;

- символичные барьеры могут быть представлены в виде визуальных, звуковых или блокирующих сигналов человеку, обслуживающему устройство. Эти барьеры действуют опосредованно в соответствии со своим назначением. Интерпретация действий и способ их выполнения являются обязательными компонентами барьерной функции. Примеры символических барьеров: сигнальные табло, световые указатели, предупредительные сигналы;

- нематериальные барьеры физически не существуют, но функционируют. Речь идет о правилах и инструкциях, которые человек должен

знать и пользоваться ими в чрезвычайных ситуациях.

*Способ действия.* Методика, использующая представленные ранее принципы взаимодействия человека и машины в рабочих системах, а также моделирование мер безопасности как барьеров определенного рода становятся инструментами моделирования системы «Взаимодействие человека с барьерами». В центре внимания оказываются следующие вопросы:

- вид взаимодействия человека и машины, при котором будет осуществляться функция безопасности установленного барьера;

- степень надежности барьера, при котором человек может повлиять на функцию безопасности.

Прежде чем анализировать специфические ограничения при взаимодействии человека с машиной, необходимо идентифицировать эти ограничения. Предлагается способ, состоящий из двух частей. Сначала идентификация должна осуществляться на основе функций безопасности, применяемых в методиках анализа рисков. Для этого пригодны или методы сканирования ошибок и дерева событий, или структурированные методы. Только таким способом благодаря идентификации можно получить четкую перспективу действий человека, ориентированную на возможные ошибки и ситуации.

Идентификация может быть проведена с помощью иерархического анализа поступающих заданий, позволяющего разделить стоящие перед работником задачи на определенные части. Действия, связанные с безопасностью, как правило, дают указания на функции запрета, адресованные человеку и отображаемые в виде символов и невещественных барьеров. Действия, влекущие за собой выполнение определенных функций (например, нажатие на рукоятку бдительности), могут в случае ошибки активизировать запрещающие команды

в технической части (экстренное торможение). В данном случае речь идет о функциональном барьере.

Второй шаг идентификации — это анализ взаимодействия человека и барьеров, которое можно разделить на три составляющие:

- инициирование барьера;
- восприятие его требований;
- исполнение требований барьера.

В случае функциональных барьеров их реализация относится к машине (технической системе). Ответственность за выполнение требований символьных и нематериальных барьеров несет человек (обслуживающий персонал). Как правило, к этому его побуждает система символов или нематериальных запретов (сигнальное табло, пункт инструкции).

Информация, полученная при инициировании барьера, запускает у человека процесс восприятия, который может потребовать одного или нескольких прохождений по логической цепочке обработки полученных данных. По завершении этого процесса формируется решение о необходимости принятия соответствующих мер.

Надежность взаимодействия человека и машины в большой мере зависит от сложности процесса инициирования. С увеличением числа иницирующих систем, запрещающих одно и то же действие, в процессе восприятия увеличивается число прохождений по логической цепочке обработки полученных данных, что влечет за собой увеличение вероятности принятия ошибочного решения. Она может увеличиться в такой мере, как если бы система запретов вообще не была иницирована.

Приведенные соображения могут быть проиллюстрированы на ряде примеров (рис. 3).

**Пример 1.** Сигнальный знак перед железнодорожным переездом, представляющий собой барьер, требует подачи звукового сигнала для предупреждения пешеходов и водителей.

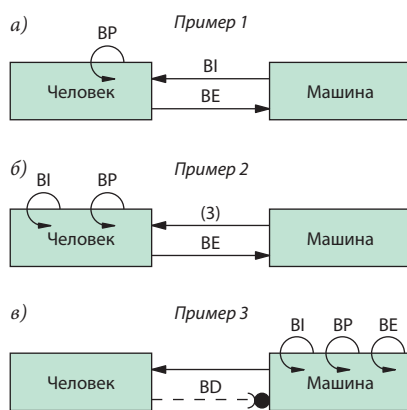


Рис. 3. Диаграммы взаимодействия человека с барьерами:  
 а — шит перед железнодорожным переездом, требующий подачи сигнала свистком;  
 б — поддержание заданной технической скорости на участке; в — контроль кривой торможения с помощью точечной АЛС типа PZB

Он является элементом, иницирующим запрет (VI на рис. 3, а) и воздействующим на машиниста. Последний воспринимает и обрабатывает полученную информацию (VP, слева на рис. 3, а) и в результате распознает «проблему». После этого он совершает определенное действие (BE), включая нажатием кнопки звуковой сигнал. Поскольку речь идет об одиночном символьном барьере, базовую вероятность ошибки можно считать незначительной.

**Пример 2.** Для поддержания заданной технической скорости на участке машинист должен получить информацию из электронного графика движения и со скоростемера, а также визуально зафиксировать цифры на проходимом пикете. Речь, таким образом, идет о трех постоянно существующих барьерах, из которых, однако, ни один не обладает иницирующими функциями. На рис. 3, б это представлено стрелкой с символом (3). То, что инициирование задачи должен выполнить сам человек, видно из рис. 3, б, где символы VI и VP в левой части этого рисунка стоят вместе. Машинист может принять нужное решение после многократного пропуска через логические цепочки данных,

получаемых в результате последовательного восприятия трех указанных барьеров. Приняв нужное решение относительно необходимости в торможении (VP), машинист выполняет нужное действие (BE). В данном случае можно говорить, как минимум, об усредненной вероятности ошибки, поскольку здесь участвуют несколько неиницирующих символьных барьеров.

**Пример 3.** Контроль кривой торможения с помощью точечной АЛС типа PZB. В режиме отслеживания кривой торможения, например, в случае показания предупредительного сигнала, предписывающего остановку у основного сигнала, техническая система (машина) выполняет функцию безопасности. Как видно в правой части рис. 3, в, здесь реализуются все три функции барьера (VI, VP и BE). У человека есть лишь возможность отключить барьерные функции (BD), если он нажатием кнопки PZB frei выйдет из режима контроля торможения. Этот случай предусмотрен для ситуации, когда поезд приближается к основному сигналу с разрешающим показанием. При таком виде функциональных барьеров должна быть оценена вероятность того, что машинист в какой-то ситуации деактивирует барьер, в то время как с системной точки зрения он должен функционировать. Иными словами, здесь речь идет об ошибочной оценке. На рис. 3, в нижняя стрелка показана штриховой линией, поскольку речь идет лишь о возможности деактивации барьера. Жирная точка, на которую указывает штриховая стрелка, обозначает, что отключение барьера не повлечет за собой деактивации защитных функций.

Диаграммы взаимодействия человека и барьеров являются важной составной частью анализа человеческого фактора. Число и характер элементов системы барьеров, а также число прохождений через логическую цепочку обработки получаемой в процессе восприятия

информации определяют степень сложности взаимодействия человека с барьерами и вероятность нарушения функций безопасности. В дополнение к сказанному следует отметить важную роль, которую играют такие факторы, как имеющееся в распоряжении время для принятия решения, частота появления и распознаваемость барьеров при базовой вероятности ошибки. Последняя в сочетании с другими влияющими факторами может быть уточнена путем моделирования рабочей системы и соотнесения результатов с факторами, действующими в других рабочих ситуациях.

Полученные значения позволяют делать достоверные заключения о надежности действий персонала при выполнении определенных, важных с точки зрения безопасности действий, а также об эффективности предпринимаемых мер безопасности.

### Перспективы

Дальнейшие исследования надежности человека в системе человек — машина должны, с одной стороны, дифференцировать и подтвердить данные, полученные на основе результатов поэтапного психологического моделирования, интервьюирования, а также анализа произошедших событий, а с другой — сделать выводы на основе уже имеющихся заключений и перейти к количественным показателям.

Качественное описание результатов будет соответствовать требованиям стандарта EN 50126-1. Для работы с количественными показателями с использованием методов анализа рисков по стандарту EN 50129 потребуются данные, характеризующие вероятность ошибки человека.

Результаты исследований войдут в проект, осуществляемый под

эгидой Ассоциации содействия исследованиям в Германии, и получат дальнейшее развитие. В этом проекте, получившем название «Моделирование системы человек — безопасность», принимают участие Институт транспортной системотехники Немецкого центра авиации и космонавтики (DLR), Институт железнодорожного транспорта и транспортной безопасности Технического университета в Брауншвейге и Институт научной организации труда в Касселе. Цель проекта — создание простой и надежной системы для научной оценки ситуации на железнодорожном транспорте с учетом поведения персонала.

*По материалам Института транспортной системотехники Немецкого центра авиации и космонавтики (DLR) (www.dlr.de); Eisenbahntechnische Rundschau, 2010, № 11, S. 762–766.*

## Будущее приближается

В современном мире железнодорожная отрасль не может устойчиво развиваться без международных контактов, обмена опытом и знаниями, привлечения передовых технологий и технических решений со всего мира. На наших глазах происходят фундаментальные изменения на Российских железных дорогах — мы видим современные поезда, продолжаются структурные реформы, в железнодорожную промышленность приходят новые технологии, крупнейшие компании — изготовители железнодорожной техники уже осуществляют локализацию производства в России.

Обязательным условием для успешной модернизации отечественной железнодорожной отрасли является доступ к информации о новых проектах в России и за рубежом, событиях на рынках железнодорожной техники, научных исследованиях, о новых технологиях и опыте их внедрения на железных дорогах мира.

Именно такую цель — сделать эту информацию более доступной для отечественных специалистов — ставит перед собой журнал «Железные дороги мира».

**Подписной индекс** ежемесячного журнала «Железные дороги мира» — 70306 (для подписки на весь год — индекс 87096).

Информацию о подписке (в том числе в странах дальнего зарубежья) можно получить по телефону +7 (499) 317-55-65 или на сайте [www.zdmira.ru](http://www.zdmira.ru).



**ЖЕЛЕЗНЫЕ  
ДОРОГИ  
МИРА**

