

# Человеческий фактор и эргономика в системе ETCS

*Принятие европейских директив 96/48/EG и 2001/16/EG, а также открытие государственных границ в Европе создали новые возможности для развития международных железнодорожных перевозок. В странах, входящих в Шенгенскую зону, нет необходимости останавливать поезда на государственных границах. Ранее во время пограничного и таможенного контроля происходила смена локомотивов и локомотивных бригад, теперь же ставится задача для экономии времени следовать через границы с тем же локомотивом и той же локомотивной бригадой. Для этого необходимо унифицировать технические системы и правила эксплуатации. Унификация является необходимым условием для обеспечения открытого доступа к инфраструктуре операторам перевозок согласно директивам Европейского союза и реализуется в настоящее время в рамках проекта ERTMS/ETCS. Важную роль в разработке унифицированного пользовательского интерфейса машиниста (DMI) для европейской системы управления движением поездов ETCS играют аспекты эргономики и так называемого человеческого фактора.*

Область знаний «Человеческий фактор и эргономика» исследует факторы влияния в системах человек — машина. Специалисты по человеческому фактору участвуют в разработке интерфейса человек — машина, преследуя цель сократить число ошибок оператора и их последствия, а также повысить производительность труда, безопасность и комфорт в обращении с системой. Для этого используется целый ряд различных методик:

- конструирование рабочих инструментов, таких, как элементы управления и индикации для машиниста локомотива, кресел в кабине;

- проектирование задач, в частности определение того, что должен делать человек в системе и какую роль он при этом должен играть, независимо от инструментов, применяемых для решения той или иной задачи (например, должна ли определенная задача выполняться вручную или автоматизироваться);

- проектирование физической окружающей среды, например освещения, температуры, уровня шума;

- обучение и отбор персонала, что, однако, не может заменить усилий по оптимизации конструкции технических устройств.

Поскольку даже высокоавтоматизированные системы не могут работать в полной мере самостоятельно, человеческий фактор необходимо учитывать везде, где в той или иной форме задействован обслуживающий персонал. В этой области важен ориентированный на пользователя междисциплинарный подход, т. е. в конструировании системы участвуют инженеры, психологи и будущие пользователи (например, машинисты и диспетчеры). Это означает, что в центре внимания разработчиков находятся потребности пользователя, а не, например, простота технической реализации или стремление к снижению стоимости. Система должна быть спроектирована таким образом, чтобы в ней использовались сильные стороны пользователя (например, большая гибкость в обработке информации и принятии решений) и при этом техническими средствами компенсировались его слабые стороны (например, ограниченные способности к запоминанию). Так, пользователю должен быть легко доступен большой объем информации извне (например, в форме контрольных листингов, которые пользователь мог бы обработать). В то же время понятие человеческого фактора выходит далеко за пределы такого подхода. На поведение конкретного пользователя, а значит, и на безопасность системы в целом влияют и взаимодействие в рамках команды (диспетчер, машинист, поездная бригада), и аспекты организации (в частности, культура безопасности). Все это является предметом работы специалистов по человеческому фактору.

## Внедрение системы ETCS и ее влияние на работу машиниста

На пути к единой европейской железнодорожной сети необходимо преодолеть имеющееся историческое наследие — разнообразные правила эксплуатации и системы сигнализации. Для этого создана система управления эксплуатационным процессом ERTMS, в рамках которой предусмотрена, в частности, унификация локомотивной сигнализации. Составной частью ERTMS является система управления движением поездов и обеспечения их безопасности ETCS. Это — новая независимая система локомотивной сигнализации, в которую посредством специализированных модулей передачи

могут быть интегрированы существующие национальные системы АЛС. Поезд с бортовым устройством ETCS обменивается информацией со стационарными устройствами в рамках заданного функционального уровня. Переход между функциональными уровнями осуществляется по установленным правилам. Внедрение ETCS влечет за собой сокращение числа напольных сигналов и отображение сигнальных показаний вместе с другой информацией в кабине машиниста. На железных дорогах Германии с вводом в эксплуатацию системы ETCS уровня 2 предусмотрен полный переход к сигнализации в кабине машиниста. Уже сейчас показания напольных светофоров дополняются и отчасти заменяются визуальной и звуковой информацией в кабине машиниста. В отдельных случаях (например, в немецкой АЛСН LZB или французской TVM) технические системы настолько развиты, что при проследовании поезда с соответствующим оборудованием лампы путевых светофоров отключают, и машинист ориентируется только на показания на пульте управления.

Объем выводимой на дисплеи системы ETCS в кабине машиниста информации, а также выполняемые с их помощью функции намного превосходят применявшиеся прежде средства отображения (например, в отношении диагностики нарушений в работе поездного оборудования). Соответственно, пользовательский интерфейс машиниста DMI должен выполнять по крайней мере не меньшую роль, чем существующие системы сигнализации с напольными светофорами.

В настоящее время большинство машинистов работают в условиях, когда базовая информация предоставляется им аппаратными средствами в кабине управления (состояние датчиков давления, световых сигнализаторов), а кодовая представлена вне кабины на линии (показания сигналов и оповестительных щитов). Дополнительно машинист получает данные о маршруте (например, график движения и сведения о местах, требующих снижения скорости) и правила эксплуатации (например, из инструкции по движению поездов). Машинист должен проанализировать данные из разных источников, оценить степень их важности, сгруппировать и знать, когда он должен обратиться к той или иной информации и как он должен действовать. Для этого машинисты проходят интенсивную подготовку, учатся держать в памяти многочисленные сведения и вовремя их использовать. Соответственно, роль человеческого фактора в работе машиниста очень велика.

С внедрением ETCS уровня 2 на место аппаратных средств индикации и управления приходят элементы, построенные на программных решениях, которые по объему отображаемой информации превосходят систему АЛСН LZB. Подобно LZB в новой

системе почти вся необходимая информация предоставляется машинисту в кабине управления.

Работа машиниста в настоящее время основана на сравнительно жестко регламентированном наборе навыков и правил. Машинист, который не знает определенного маршрута или определенную систему, не имеет права управлять локомотивом и действительно не готов к этому. В будущем машинист не только станет выполнять задачи хорошо подготовленного техника, но и будет обеспечивать сопряжение между локомотивом и остальной частью эксплуатационного процесса. Наряду с безопасным управлением локомотивом машинист должен будет (в том числе на международных маршрутах) иметь дело с расписанием движения поездов, объездами, энергосберегающим ведением поезда, согласованным с другими поездами подходом к станциям пересадок и многим другим. Деятельность машиниста значительно осложнится, а ответственность возрастет. Ему придется работать на малознакомых линиях за рубежом в условиях, когда линейный персонал говорит на другом языке. И в будущем машинисту придется выполнять все эти задачи одному, поскольку кабина рассчитана на управление локомотивом в одно лицо. Таким образом, пользовательский интерфейс машиниста должен быть спроектирован с учетом новых, все более сложных задач, возлагаемых на него. Например, на экран дисплея в кабине должна выводиться требуемая в данный момент информация, а другие сведения должны быть исключены из экранного изображения.

Внедрение новых разработок приведет к изменению нагрузки на машиниста, его производительности и выполняемых задач (например, при наблюдении за линией). Масштаб этих изменений и их влияние на работу машиниста и безопасность системы в целом еще не исследованы в полной мере.

#### **Разработка унифицированного пользовательского интерфейса машиниста в системе ETCS**

Условие Европейской комиссии, вытекавшее из директивы об эксплуатационной совместимости, состояло в том, чтобы найти для европейского унифицированного интерфейса DMI такое техническое решение, которое могли бы без проблем использовать железнодорожные операторы и которое могла бы изготовить промышленность. Унифицированный пользовательский интерфейс машиниста должен был не только отображать данные системы ETCS, но и допускать интеграцию европейской сети радиосвязи EIRENE как средства коммуникации. При разработке системы в центре внимания должны были находиться требования пользователей.

Реализация проекта пользовательского интерфейса машиниста для системы ETCS началась в 1991 г. с установления контактов с различными железными дорогами. В дальнейшем были проведены опросы и рабочие заседания с участием европейских экспертов в области управления тяговым подвижным составом (1992 г.), разработка дизайна (1992 – 1993 гг.) и средств тестирования и имитационного моделирования (1992 – 1993 гг.). В 1993 г. в испытаниях модели приняли участие 130 машинистов из разных европейских стран. Таким образом, DMI основан на анализах и эмпирических исследованиях с использованием тестирования на имитационных моделях, в ходе которого проверялись все элементы, требуемые для взаимодействия между машинистом и ETCS. При этом речь идет не только об индикации скорости, но также о символах, звуковых сигналах и вводе данных. Анализ существующих и будущих задач машиниста и исследование эргономических аспектов дополняют процесс разработки. В 1994 – 1996 гг. были выполнены работы по созданию спецификаций и проектированию, за этим последовали исследования комбинированного интерфейса систем EIRENE и ETCS, а также дополнительные исследования ввода данных (экранные клавиши, сенсорный дисплей и структура диалогов), символов и акустической информации. Цель при этом состояла в том, чтобы все европейские машинисты могли понимать интерфейс DMI и была возможность использовать его на всех европейских железных дорогах. Свои замечания о новом интерфейсе высказали 240 машинистов.

В 1998 г. рабочая группа A9D Европейского комитета по стандартизации в области электротехники (CENELEC) совместно со специалистами европейских железных дорог и представителями промышленности приступила к разработке спецификации на интерфейс DMI. Этот процесс еще не закончен, но уже представлены и прорабатываются различные проекты. Базовая концепция интерфейса представлена ниже.

### Теоретические основы

*Концептуальная модель, или теория управления локомотивом.* Какая информация нужна машинисту? Концептуальная модель предоставляет требуемые машинисту важнейшие переменные и соотношения между ними (например, количественные параметры, допуски и изменения, целевые значения). Она основана на физической реальности. Концептуальная модель управления локомотивом включает в себя такие переменные, как скорость, расстояние, приказы, режим работы ETCS, уровень этой системы, информация о линии, а также взаимосвязь между этими переменными.

Наряду с количественными имеются также качественные параметры, такие, как знание маршрута и расписание движения. Важное значение имеют взаимосвязи между переменными (например, между тормозным путем и скоростью), объем информации в конкретный момент времени и возможность прогнозирования развития ситуации. Нагрузка на машиниста, вызываемая системой, может быть при этом слишком высокой или слишком низкой. Это должно учитываться при проектировании интерфейса DMI системы ETCS, например, путем исследований на имитационных моделях с участием машинистов.

*Ментальная модель, т. е. или образ мышления машиниста.* Ментальная модель устанавливает, что отображаемая информация соответствует образу мышления машиниста. Если не учитывать ментальную модель машиниста, возникнет опасность, что ему будет предоставляться ошибочная информация, слишком большой либо слишком маленький объем данных.

Ментальная модель позволяет удостовериться, что концептуальная информация будет адаптирована к потребностям машиниста. Хорошее согласование отображаемой информации с требованиями и ожиданиями пользователя способствует повышению производительности (т. е. сокращению времени реакции и числа ошибок). Когнитивная эргономика изучает, как выполняются ментальные задачи и как можно добиться такого хорошего согласования. Специалист по когнитивной эргономике Расмуссен (Rasmussen) различает следующие виды поведения оператора:

- поведение, основанное на навыках. Рутинная, или автоматическая, реакция на раздражитель, например остановка у закрытого сигнала или применение заученных знаний о конкретной линии. Для формирования такого поведения необходима сначала длительная подготовка, однако после многочисленных занятий действия совершаются почти автоматически;

- поведение, основанное на правилах. Последовательности действий, которые не являются рутинными и не выполняются автоматически, хотя и требуются часто. Примером может служить проследование закрытого сигнала по приказу диспетчера или оценка того, где на станционном пути должен остановиться поезд определенной длины;

- поведение, основанное на знаниях. Нахождение решений при возникновении новых проблем, например при движении по новой линии или устранении технической неисправности. Для такого поведения при управлении локомотивом необходимы опыт, подготовка и знание технических систем.

Все эти формы поведения должны учитываться при проектировании интерфейса DMI. Это предпо-

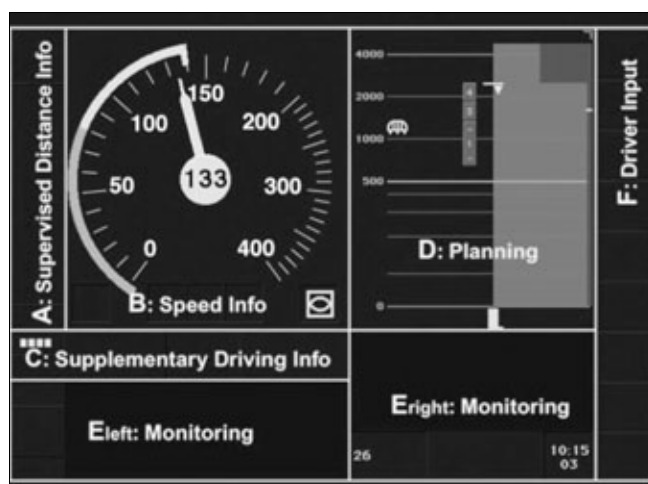


Рис. 1. Функциональные поля пользовательского интерфейса машиниста ДМІ

лагает хорошее уравнивание концептуальной и ментальной моделей.

Важным вопросом для ментальной модели является, например, выбор между отображением:

абсолютных или относительных величин (50 км/ч либо «слишком быстро» или «медленно»);

численных величин или границ (0 км/ч или красный огонь);

показаний сигналов или значений скорости (желто-зеленый или 60 км/ч);

показателей в абстрактном или реалистичном виде (например, отображение сети городских железных дорог в книжке расписаний в сравнении с реальной ситуацией).

Существенные вопросы состоят также в том, как посредством автоматизации противодействовать потере навыков и как должна выглядеть система, которую одинаково легко могли бы обслуживать и новички, и опытные машинисты. Подготовка машинистов также должна быть адаптирована к изменившимся требованиям. Далее необходимо учитывать, что та отображаемая информация и те навыки, правила и знания, которые обязательны в настоящее время, в будущей системе могут выглядеть совершенно иначе. Например, сейчас не нужно отображать на экране дисплея информацию о линии, поскольку ознакомлению с ее особенностями уделяется большое внимание при обучении машинистов. Однако в будущем, когда на линии не останется (или почти не останется) напольных сигналов, эту информацию обязательно придется отображать в кабине машиниста.

Система ETCS предъявляет новые требования к машинисту и его подготовке. Например, в будущем машинисты будут водить поезда также по линиям, которые им известны плохо или неизвестны совсем. Это требует от машиниста поведения на основе знаний. Поскольку система ETCS способна предоста-

вить информацию о линии, сложность этой задачи может быть снижена до уровня действий на основе навыков. Другим примером может служить устранение неисправностей в технических системах. Без внешней поддержки это требует действий, основанных на знаниях. Однако при индикации на дисплее диагностической информации или даже пошаговых инструкций по разрешению проблемы требуемая сложность поведения машиниста снижается до уровня действий на основе навыков. Это означает, что машинист сможет выполнять более сложные (основанные на знаниях) действия, которые могут быть упрощены благодаря соответствующему проектированию системы.

### Перцепционная модель

Перцепционная модель дает представление о том, насколько дизайн системы соответствует свойствам человеческого мышления. Важнейшими вопросами здесь, в частности, являются:

физические свойства человека (например, свет с какой длиной волны видит человеческий глаз, какие звуковые частоты воспринимаются на слух);

как воспринимаются изменения в представлении информации (например, дополнительный звуковой сигнал);

как влияет отвлечение машиниста от наблюдения за дисплеем на распознавание новой информации на его экране.

Учет и анализ каждой из перечисленных моделей очень важен, поскольку вместе они образуют пользовательский интерфейс машиниста. Чем лучше машинист будет понимать отображаемую информацию, тем выше его производительность, тем меньше вероятность возникновения ошибок. Цель состоит в том, чтобы, основываясь на опыте применения существующих систем, знании будущей системы и выдвигаемых ею требований, а также понимании человеческого фактора, разработать оптимальный пользовательский интерфейс машиниста.

### Пользовательский интерфейс машиниста

На основе системной и функциональной спецификаций рабочая группа A9D CENELEC разработала документ, который описывает пользовательский интерфейс машиниста ДМІ для систем ETCS и EIRENE. Концепция интерфейса ДМІ направлена на то, чтобы машинист мог выполнять свои задачи на высоком уровне и была сокращена до минимума вероятность человеческих ошибок. Документ определяет, каким образом отображается информация системы ETCS, как вводятся данные, как выглядят графические символы и какой должна быть звуковая

информация. Аппаратное обеспечение в документе не регламентируется, чтобы железнодорожные операторы могли гибко выбирать техническое решение и сохранялась возможность для внедрения перспективных разработок. Интерфейс DMI состоит из шести полей, отвечающих основным задачам машиниста (рис. 1).

#### Поле А

Поле А (см. рис. 1) содержит контролируемую информацию о расстоянии (например, расстояние до препятствия, прогноз скорости в определенном пункте линии, точный прогноз места остановки поезда). Эта информация отображается только в том случае, если осуществляется торможение поезда. В левой части рис. 2 показано расстояние до препятствия.

#### Поле В

В этом поле отображается информация, связанная с управлением скоростью движения поезда (данные кривой контроля скорости при торможении и фактическая и допустимая скорости). Эта информация отображается всегда во время движения поезда. Во время стоянки поле В может использоваться для выполнения других функций, например ввода данных. Пример отображения скорости показан на рис. 2.

#### Поле С

Поле включает дополнительную информацию по управлению движением поезда (например, рекомендуемая скорость, функциональный уровень ETCS, отклонение от графика, сведения о специализированных модулях передачи для национальных систем АЛС).

#### Поле D

Поле D предназначено для планирования будущих событий. На рис. 3 показан прогноз информации о линии для соответствующего поезда. На первом уровне прогноза может быть отображена, например, кривая скорости для поезда с соответствующими извещениями о мостах, тоннелях, переездах или станциях, приказах, расстоянии до места, где должно начинаться торможение (в системе ETCS пока имеются не все эти данные). Второй уровень прогноза позволяет отобразить при необходимости детальную информацию.

Прогноз предназначен для того, чтобы машинист локомотива, оборудованного ETCS, получал ту же информацию, что и при существующей системе, не-

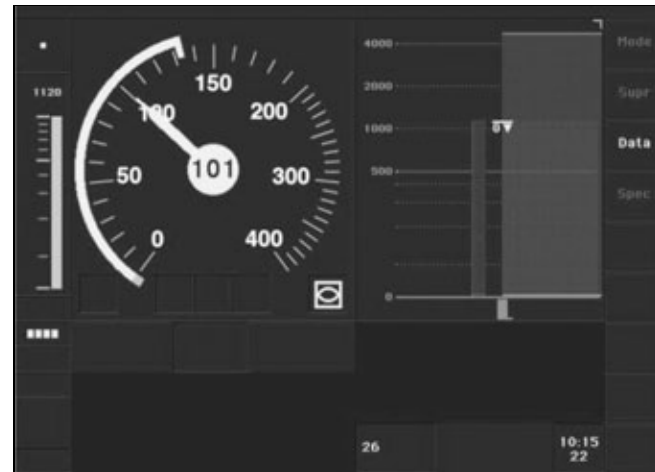


Рис. 2. Индикация расстояния до препятствия и скорости

смотря на то, что в ETCS уровня 2 нет данных о показаниях напольных сигналов и свободности блок-участков. Вместо этого машинисту в кабине управления предоставляется информация о линии и графике движения, получаемая от путевых приемопередатчиков и по каналу радиосвязи. В поле прогноза отображается информация, зависящая от конкретной ситуации и предназначенная для конкретного поезда. Это означает, что данные о линии и графике движения фильтруются и на экран дисплея выводятся только те сведения, которые касаются данного поезда. Функция прогнозирования оказывает машинисту также помощь в интеграции и сортировке данных. Например, данные о безопасности (максимально допустимая скорость и т. д.) отображаются отдельно от чисто информационных сведений (в частности, о графике движения), а прогноз будущей ситуации отделен от информации, которая важна в данный момент времени. Во время торможения поезда перед препятствием индикация прогнозной ин-



Рис. 3. Пример отображения зоны прогноза

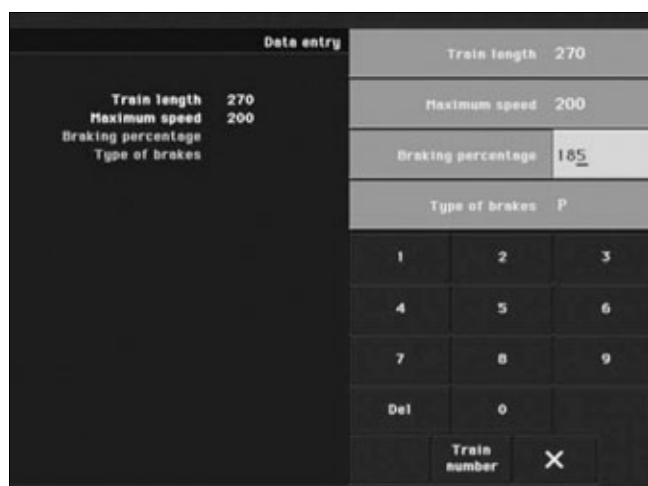


Рис. 4. Окно ввода данных

формации приглушается, чтобы не привлечь внимание машиниста к более важным сведениям. Эта концепция позволяет снизить нагрузку на машиниста в нормальном режиме эксплуатации. У машиниста остается больше времени для решения других задач, например, на реагирование в экстренном случае на неожиданные события. Это способствует повышению безопасности системы в целом.

#### Поле E

Это поле служит для контроля за техническими системами (тревожные предупреждения и индикация состояния системы управления дверями, установки кондиционирования, специализированного модуля передачи, системы EIRENE и др., а также отображение времени суток). При этом охватываются как ETCS, так и другие системы, поскольку существует опасность, что для каждой новой системы в кабине машиниста будет создаваться свой интерфейс без его интеграции с другими устройствами. В концепции дисплея ETCS делается попытка интегрировать все функции, связанные с движением поезда (контроль скорости, ввод данных, радиосвязь, управление дверями, токоприемник и т. п.). Для технической диагностики и отображения детальной информации о тяге и торможении по-прежнему требуются отдельные средства индикации. Несмотря на то что интерфейс DMI предоставляет машинисту очень значительный объем информации, важно заметить, что многие из этих данных имеются в распоряжении машиниста в неинтегрированном виде уже сегодня. Однако обработка больших объемов неинтегрированной информации повышает нагрузку на машиниста по сравнению с обработкой интегрированных данных, которые отображаются таким образом, чтобы привлечь внимание к наиболее важным из них.

#### Поле F

Поле F содержит различные данные (в частности, о поезде), которые вводятся машинистом (рис. 4).

#### Поддержка машиниста

Новые технологии позволяют предоставить пользователю многочисленные данные. При этом существует опасность, что пользователь будет ими перегружен. С другой стороны, новые интерфейсы способны оказать помощь пользователю при анализе и интеграции данных и предлагают технологии, концентрирующие его внимание на важной информации. В интерфейсе DMI это реализовано различными способами. Акустические сигналы предназначены для переключения внимания машиниста от наблюдения за линией к экрану дисплея, на котором появилась новая информация. Кроме того, вывод особо важной визуальной информации сопровождается звуковым сигналом. Когда скорость поезда такова, что вскоре потребуются принудительное торможение, или осуществляется торможение (с контролем скорости) перед препятствием, информация, не связанная непосредственно с процессом торможения, не отображается. Таким образом, система предоставляет машинисту данные в соответствии с их приоритетом. Машинист должен снизить скорость, прежде чем на экране появится другая информация. В этом случае осуществляется управление вниманием машиниста за счет прекращения индикации данных определенных категорий (например, рекомендаций). Другим похожим способом привлечения внимания машиниста является снижение яркости символов на экране. Например, приглушенная индикация в поле прогноза при торможении поезда приводит к тому, что машинист может воспользоваться этой информацией, но меньше отвлекается на нее, управляя торможением.

Машинист может также самостоятельно адаптировать шкалу с информацией в зоне прогноза к своим потребностям. При необходимости зона прогноза может быть увеличена до 32 км или уменьшена до необходимой машинисту величины. Соответственно, информация, не относящаяся к выбранной зоне, не отображается и не создает дополнительной нагрузки на машиниста. Вместе с тем эта информация имеется в системе и всегда может быть получена машинистом. Кроме того, система располагает большим объемом данных, которые машинист использует редко (например, при нарушениях или тестировании). Такие данные доступны на других уровнях и отображаются только по запросу машиниста.

При помощи этих средств система берет на себя часть задач по интеграции, оценке и отображению

информации в зависимости от степени ее важности и срочности с целью уменьшить нагрузку на машиниста. Например, система может принять решение о том, когда нужна информация о линии или графике движения, и предоставить ее машинисту. Отбор отображаемой информации может осуществлять также машинист в соответствии со своими потребностями (например, величину зоны прогноза) или национальный железнодорожный оператор. Вид информации, отображаемой в зоне прогноза, зависит от данных, передаваемых от напольных устройств национальных железных дорог.

Если в настоящее время машинист получает сравнительно мало информации от системы управления поездом и уровень его поддержки невелик, то в ETCS наряду с увеличением объема данных возрастает также уровень поддержки машиниста со стороны системы.

### Перспективы

С внедрением системы ETCS будет происходить смещение от преимущественно внутренних к международным перевозкам, от остановок на границе к безостановочному их пересечению, от преимущественно аппаратных к программным системам, от

отображения информации напольными устройствами к ее индикации в кабине машиниста, от неинтегрированного к интегрированному представлению данных, от сравнительно узкого круга задач машиниста к комплексной его деятельности, от отсутствия системной поддержки машиниста к средствам оказания ему помощи при обработке информации.

Влияние этих изменений на работу машиниста исследовано еще не полностью. Важно было бы теперь еще раз проверить на имитационных моделях и в полевых условиях усовершенствованные после испытаний спецификации, чтобы удостовериться в пригодности интерфейса DMI, а главное, в безопасном его использовании. При этом необходимо собрать объективные данные о производительности и нагрузке на машиниста (скорости его реакции, частоте ошибок, смене направления взгляда) во взаимодействии с новой системой.

Если все железные дороги будут следовать спецификации интерфейса DMI, возрастет безопасность движения поездов, требования к подготовке машинистов для работы в международных сообщениях уменьшатся, упростится обмен информацией и в долгосрочной перспективе будут снижены затраты.

*U. Metzger, J. Vorderegger. Signal und Draht, 2004, № 12, S. 35 – 40.*

## Система обнаружения поездов с использованием микроволновой аппаратуры

*Для обнаружения поездов в системах железнодорожной сигнализации обычно применяются рельсовые цепи, в работе которых возможны нарушения вследствие загрязнения поверхности катания рельсов или по другим причинам. Кроме того, имеются проблемы с обслуживанием рельсовых цепей. В связи с этим в Научно-исследовательском институте железнодорожной техники Японии (RTRI) разработана бесконтактная система аналогичного назначения (с добавлением некоторых дополнительных функций) на базе микроволновой аппаратуры.*

Применение такой аппаратуры значительно упрощает работу по обнаружению и определению направления движения поездов и дает возможность создать

общесетевую систему слежения за продвижением вагонов и грузов, поскольку каждая единица подвижного состава, оснащенная идентификационными приспособлениями, может быть распознана индивидуально, тогда как рельсовые цепи определяют только наличие или отсутствие поезда. Кроме того, систему управления движением поездов можно построить с меньшими затратами, поскольку для установленного на подвижном составе оборудования не требуются дополнительные устройства.

### Основные положения

Система, получившая название COMBAT (Computer and Microwave Balise-Aided Train control system), включает в себя микроволновую аппаратуру