

Модульная конструкция системы позволяет использовать ее для переоборудования действующих локомотивов, особенно если установленное на них оборудование АЛС нуждается в обновлении.

С точки зрения компании Bombardier Transportation, разработанная система является первым комплексным техническим решением, позволяющим

осуществить переход локомотивного оборудования к работе в условиях распространения европейской системы управления движением поездов ETCS. Таким образом, она упрощает унификацию средств СЦБ в европейском масштабе.

*J. Nordmann. Signal und Draht, 2004, № 9, S. 41 – 46.*

УДК 656.259.9

## Контроль полносоставности грузовых поездов

*Для европейской системы управления и обеспечения безопасности движения поездов (ETCS) требуются новые методы контроля полносоставности поезда (ZVS) и определения его длины. Соответствующее оборудование должно устанавливаться в поезде с целью сокращения числа напольных устройств.*

*После исследований и проверки различных методов дальнейшая разработка ZVS для грузовых поездов была ориентирована на принцип, в котором используются контроль давления и расхода воздуха в главной воздушной магистрали (HL). Необходимые для этого датчики, устройства регистрации и обработки информации находятся в данном случае на тяговом подвижном составе (локомотиве).*

После выявления принципиальной реализуемости и экономической эффективности следующими важными этапами исследований являются согласование анализа рисков, доказательство применимости метода для любых конфигураций поездов и принятие конкретного варианта, реализуемого в качестве опытного.

Команды на установку маршрута в системе ETCS уровня 2 и 3 передаются на локомотив через сеть радиосвязи (GSM-R), причем на уровне 3 уже не применяются стационарные устройства контроля свободности (GFM). В этом случае информация о полносоставности и длине поезда используется непосредственно на локомотиве или через компьютер передается на центральный диспетчерский пункт. Для этого полносоставность и длину поезда должна контролировать или определять система ZVS (рис. 1).

В рамках проекта ETCS, выполняемого при содействии ЕС, мюнхенский Научно-исследовательский и технологический центр (FTZ) в содружестве с компаниями-операторами изучал возможные решения, реальные технические подходы к которым уже

имеются в литературе. Эти подходы можно классифицировать по поездам трех категорий:

- без электрической линии для передачи информации (например, ведомые локомотивами грузовые поезда без автоматической сцепки типа Z-AK);
- с электрической линией без поездной информационной шины, например пригородные пассажирские с передачей команд управления по кабелю;
- с информационной шиной (например, ICE, используемые в дальних сообщениях).

Длина поезда в соответствии с техническими требованиями может быть:

- оценена как постоянная величина (например, при нерасцепляемых составах);
- определена с помощью стационарной системы ZVS, смонтированной в пути;
- получена с помощью системы ZVS, установленной на поезде;
- указана машинистом (например, в случае коротких пассажирских секций, просматриваемых из кабины по всей длине).

Оптимальным было бы решение, при котором длина поезда определяется поездной системой ZVS.

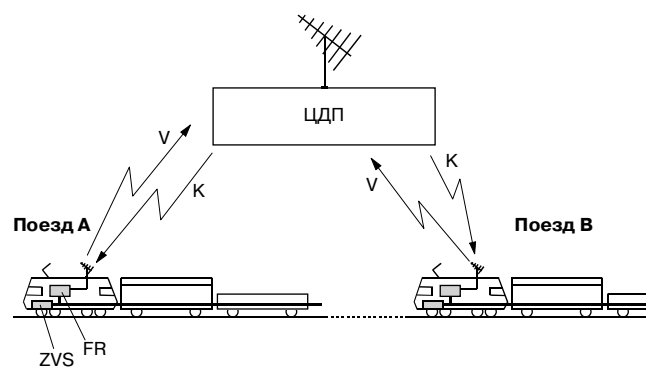


Рис. 1. Принципиальная схема управления движением на базе радиосвязи (FFB);

FR — компьютер системы управления локомотива; ЦДП — центральный пульт управления

Момент времени, в который нужно проверять полноставность поезда, зависит от ряда факторов. Принцип, на котором основан метод контроля, требует определенного времени для обнаружения разрыва поезда. Дополнительно необходимо время для его надежного распознавания и передачи информации от ZVS к компьютеру локомотивной части системы ETCS. Сумма этих составляющих определяется в технических требованиях как время выявления. В зависимости от типа линии значения этого параметра различны. Так, для грузового поезда, не оснащенного электрической линией для передачи команд и сигналов, оно не превышает 30 с на линиях всех типов, в том числе высокоскоростных с максимальной скоростью движения более 200 км/ч. Лишь на второстепенных и магистральных линиях с низкими поездными нагрузками время выявления разрыва в отдельных случаях может достигать 100 с в зависимости от структуры графика движения.

Первое применение ZVS на железных дорогах Германии (DBAG) запланировано с использованием поездной радиосвязи (режим FFB) для региональных линий, так как здесь намечен демонтаж постов механической централизации без замены их современными, что приведет к значительной экономии средств. В проводившихся исследованиях основное внимание уделено поиску решения для грузовых поездов, которые не имеют электрической линии для передачи команд и сигналов. Решения для пассажирских поездов могут базироваться на том же подходе, что и к грузовым, или же с использованием электрической линии для передачи сигналов и команд.

### Исследование вариантов

Для грузовых поездов, не имеющих электрической линии для передачи команд и сигналов, теоретически возможны различные системы контроля полноставности. Их можно разделить на две группы: А и В. ZVS группы А предусматривают контроль истинной длины поезда, группы В — контроль состояния воздушной магистрали. В ходе испытаний по проверке реализуемости систем для обеих указанных групп было исследовано по два варианта ZVS, условно названные А1, А2 и В1, В2.

По варианту А1 предусматривался контроль длины поезда с помощью спутниковой навигации GPS, связанной с системой инерциальной навигации. Приемники спутниковых сигналов устанавливаются в голове и хвосте поезда. В связи с тем что в некоторых зонах (тоннелях, глубоких выемках) прием сигналов со спутников может быть затруднен, дополнительно использовали инерциальную систему навигации. Однако она оказалась непригодной из-за слишком низкой точности (ошибка больше, чем длина

нескольких вагонов). Вследствие этого, а также в связи с высокими затратами на реализацию и установку приемника спутниковых сигналов на хвостовом вагоне от этого метода пришлось отказаться.

Метод варианта А2 основан на измерении времени прохождения сигнала от головы до хвоста поезда. Этот вариант доведен до стадии разработки и опробования опытного образца. Между работающим от аккумуляторной батареи прибором хвостового вагона и питаемым от бортовой сети локомотивным прибором устанавливается радиосвязь на частотах 2,4 – 2,4835 ГГц. Мощность сигнала на антенне передатчика составляла 50 мВт.

Во время испытательной поездки поезда длиной 544 м с боковым расположением антенны по маршруту Ландсхут — Нюрнберг при измерении длины состава зафиксировано стандартное отклонение 2,8 м. Эффективность приема сигнала составила 99,5 %, несмотря на ряд сложностей, обусловленных ландшафтом и застройкой. В связи с этим с технической точки зрения метод признан пригодным. Тем не менее дальнейшие исследования по этому варианту не ведутся в связи с повышенными затратами на установку и эксплуатацию приемника хвостового вагона и ввиду проблем, связанных с согласованием рабочих частот в европейском масштабе.

Вариант В1 основан на контроле прохождения звуковой частоты по воздушной магистрали от головы поезда до хвоста. При разрыве поезда сигнал по этому тракту не проходит. В ходе испытаний выяснилось, что частоты выше 40 Гц для этой цели непригодны, так как шумы такой же частоты генерируются при срабатывании тормозов, вызывая отключение системы на время, значительно превышающее время выявления, равное 30 с. В связи с этим метод признан малоприменимым.

Вариант В2 основан на контроле состояния воздушной магистрали с помощью измерения давления и объемного расхода воздуха. Первые испытания, проведенные в июле 1998 г., показали, что этот вариант наиболее пригоден для реализации. Правда, в случае экстренного торможения максимальное время выявления заметно превышает 30 с.

Эти результаты получены с помощью измерения давления и массового расхода в голове поезда и давления воздуха в хвосте. Они использованы для продолжения работы по разработке данного варианта.

### Исследования систем ZVS, основанных на использовании воздушной магистрали

#### Методика

Предметом исследований стали изменения давления и массового расхода воздуха при разрывах поезда в различных эксплуатационных условиях, при

различной удаленности места разрыва от пункта измерения и соответственно для различных значений длины поезда. Исследовательский и технологический центр DBAG совместно с существовавшей тогда компанией ADtranz запланировали и провели две серии измерений. В первой серии в июне 1998 г. был сформирован грузовой поезд длиной 699 м. В январе 2000 г. были выполнены измерения второй серии на поезде, состоявшем из двух частей, установленных рядом на двух путях. Главные воздушные магистрали обеих частей были соединены между собой. Общая длина двух соединенных групп составила 746 м. Все эксперименты проводили на неподвижном поезде. Разрывы поезда моделировали разъединением главной воздушной магистрали вручную.

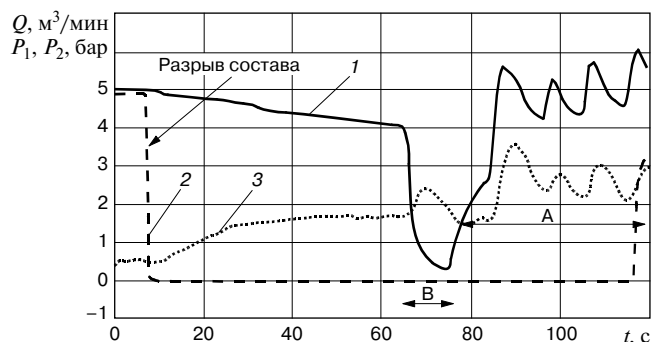
### Результаты первой серии измерений

В этой серии регистрировали давление и массовый расход в воздушной магистрали в голове поезда и давление воздуха в конце последнего вагона. Для лучшего понимания физической картины процессов и в связи с необходимостью замены датчиков для второй серии измерений прежде всего была детально обсуждена методика регистрации сигналов. Измерения планировали проводить при отрыве последнего вагона (рис. 2).

Факт отрыва вагона распознавался по резкому падению до нуля давления за местом отрыва (кривая 1), в то время как давление в голове поезда (кривая 2) снижалось значительно медленнее. Следствием этого было медленное увеличение потока подпитки или объемного расхода воздуха (кривая 3). Примерно через 65 с машинист реагирует на падение давления включением экстренного торможения, которое ведет почти к полной разрядке магистрали НЛ. Во время этого торможения воздух почти полностью уходит из магистрали с большим объемным расходом в интервале времени между 65-й и 80-й секундами. Этот процесс должен иметь обратный знак относительно зарядки магистрали, однако используемые датчики объемного расхода показывают только величину потока, но не его направление.

Оценка экспериментов первой серии показала, что во всех эксплуатационных ситуациях, за исключением экстренного торможения, возможно обнаружение разрыва поезда в пределах требуемого времени выявления 30 с, если только применяется датчик объемного расхода в голове поезда, а в качестве критерия разрыва используются следующие параметры: объемный расход в магистрали превышает 120 кг/ч (эквивалентно 1,55 м<sup>3</sup>/мин) или давление в магистрали падает ниже 3,2 бар.

Тем, что во время экстренного торможения разрыв поезда не обнаруживается, можно пренебречь, так как это торможение применяется относительно



**Рис. 2. Процессы в системе торможения при разрыве поезда:**  
 $Q$  — расход воздуха;  $P$  — давление;  $t$  — время;  $B$  — время действия экстренного торможения;  $A$  — четыре импульса зарядки магистрали; 1 — давление в главной магистрали до места разрыва; 2 — то же, за местом разрыва; 3 — расход воздуха при подпитке магистрали

редко и к тому же увеличивает интервал попутного следования. В связи с этим контроль полноставности без особых потерь качества может быть перенесен в фазу повторной зарядки воздушной магистрали.

### Результаты второй серии измерений

Вторая серия измерений потребовалась по многим причинам. Например, надо было гарантировать, что результаты, полученные на первом поезде, и введенный на их основе критерий применимы для других поездов. Далее надо было исследовать, в какой мере можно уменьшить время выявления обрыва, зная позицию тормозного крана машиниста и учитывая измененную систему датчиков. То, что принципиальная возможность такого уменьшения существует, видно из кривых рис. 2: после разрыва поезда давление в начале магистрали медленно снижается на 1 бар от заданного значения (5 бар) в течение 1 мин, и объемный расход достигает критического предельного значения через 20 с после разрыва. Таким образом, при знании заданного значения расхода можно было бы значительно раньше выявить недопустимые отклонения этой величины.

Поскольку датчик расхода фиксирует только его величину, а не направление, предельное значение нужно выбирать относительно высоким (120 кг/ч), чтобы его можно было отличить от повышенного объемного расхода при торможении. Но именно при торможении направление потока в главной магистрали от хвоста к голове противоположно направлению подпитки при разрыве поезда. В связи с этим для проведения второй серии измерений в магистрали главного резервуара (НВ) перед тормозным краном машиниста дополнительно установили датчик объемного расхода, поскольку именно в этой зоне отсутствуют возмущающие толчки, вызываемые процессом торможения.

Время выявления разрыва поезда при удаленности его от точки измерения на 650 м

Эксперимент	Время выявления разрыва $t_{0z}$ , с			
	Без тормозного крана машиниста		С тормозным краном машиниста	
	$V_{нв} > 120$ кг/ч	$P < 3,2$ бар	$V_{нв} > 60$ кг/ч	$\Delta P < 0,3$ бар
Движение — разрыв	27,3	—	4,2	25,5
Движение — короткая пауза* — 4,5 бар — разрыв	24,9	—	16,5	36,8
Движение — короткая пауза — 3,5 бар — разрыв	44,9	—	37,0	—
Движение — короткая пауза — 4,5 бар — короткая пауза — разрыв	—	—	17,5	34,7
Движение — короткая пауза — 3,5 бар — короткая пауза — разрыв	45,6	—	29,8	—
Движение — короткая пауза — SB — разрыв	×	7,5	×	7,5
	×	4,8	×	4,8
Движение — короткая пауза — 4,5 бар — короткая пауза — отпуск — разрыв	19,7	—	+	26,8
3,5 бар — короткая пауза — заполнение — разрыв	14,9	—	13,4	—
SB — короткая пауза — заполнение 10 с — короткая пауза — движение — разрыв	11,8	—	2,1 (+)	—
Максимум	45,6		37,0	

\* Несколько секунд.

Примечание: «—» — критерий не выполнен; «×» — критерий выполняется по объемному расходу в НЛ; «+» — критерий выполняется по объемному расходу в НЛ и НВ; SB — экстренное торможение;  $V_{нв}$  — объемный расход в НВ;  $P$ ,  $\Delta P$  — соответственно давление и разница давлений

В ходе измерений выяснилось, что при подпитке главной магистрали изменение объемных потоков во времени в НВ и НЛ различается незначительно и повышенные объемные расходы в магистрали главного резервуара при торможении не возникают. Это значит, что предельное значение расхода может быть снижено с помощью дополнительного датчика в магистрали НВ, что ведет к более короткому времени выявления разрыва.

В таблице приведены значения времени выявления разрыва для схемы, содержащей датчик объемного расхода в магистрали НВ и датчик давления в магистрали НЛ, с учетом и без учета позиции тормозного крана машиниста. Из полученных результатов видно, что требуемое время выявления, принятое равным 30 с, в большинстве случаев торможения может быть заметно снижено. Роль датчика давления здесь менее существенна. Эта оценка относится также к дополнительно исследованным более коротким расстояниям от места разрыва до точки измерения — 350 и 40 м.

Полученные результаты позволили сделать следующие выводы:

- критерии, полученные на основании результатов первой серии измерений, должны быть изменены, с

тем чтобы можно было снизить требуемое предельное время выявления разрыва;

- измерение объемного расхода в магистрали НВ перед тормозным краном машиниста позволяет определить новое предельное значение расхода, необходимое для выявления разрыва поезда, исключив действие возмущающих толчков расхода при торможении;

- при снижении предельного значения для датчика объемного расхода в НВ до 60 – 70 кг/ч время выявления разрыва уменьшается. Регистрация положения тормозного крана машиниста при этом не требуется;

- за счет разработки метода, который в определенных рабочих ситуациях препятствует питанию магистрали, время проявления может быть дополнительно снижено.

Следует отметить, что этот результат определен с помощью схемы измерения, согласно которой датчик находился в голове поезда. Для контроля полносоставности поезда в качестве минимума необходимы датчик давления в магистрали НЛ и датчик объемного расхода в НВ. Такое решение связано с дополнительными затратами на установку приборов в хвосте поезда.

## Определение длины поезда с использованием главной воздушной магистрали

### Принцип измерения

Наиболее приемлемым представляется метод, который на базе имеющихся датчиков объемного расхода и давления воздуха позволял бы определять длину поезда. Основан такой метод на том, что при большем объеме магистрали НЛ (большей длине поезда) в ней должна быть накоплена бóльшая масса воздуха, необходимая для обеспечения определенных изменений давления, чем при меньшем объеме. В соответствии с газовыми законами между объемом  $V$  и дополнительно вводимой в него массой  $\Delta m$  существует зависимость

$$V = \Delta m / (\Delta p TK),$$

где  $\Delta m$  — изменение массы в объеме  $V$ ;  $\Delta p$  — вызванное им изменение давления;  $T$  — температура воздуха в главной магистрали;  $K$  — физическая постоянная, представляющая собой сочетание нескольких физических констант.

Таким образом, благодаря измерению изменений давления при повышении или снижении массы воздуха с учетом его температуры можно рассчитать объем магистрали НЛ. Дополнительно необходимо определить коэффициент длины  $l_V$  — частное от деления длины вагона на соответствующий объем магистрали НЛ, который позволяет определить длину поезда

$$L_z = \Delta m / (\Delta p TK l_V).$$

### Точность измерения и затраты времени

Точность определения длины поезда  $L_z$  с помощью приведенного выражения зависит от того, с какой точностью найдены значения входящих в него величин. Так, при определении массы воздуха  $\Delta m$  должен быть учтен темп утечек с помощью серии измерений, выполняемых с определенным шаговым интервалом. При этом основная максимальная ошибка измерения длины поезда определяется классом точности датчика объемного расхода. На нее накладывается меньшая ошибка, составляющая приблизительно 3 %, обусловленная колебаниями темпа утечек воздуха и изменениями его влажности.

Следует учитывать также падение давления  $\Delta p$  по всей длине магистрали НЛ, но оно может быть измерено только в голове поезда. Это дает дополнительную ошибку не ниже 1 %.

Температура  $T$  воздушного объема принимается как средняя по длине поезда и может быть измерена с минимальными затратами только в голове поезда.

Ошибка измерения и разность по длине здесь тоже составляют 1 %.

Однако наибольшей доли вносимой погрешности следует ожидать от коэффициента длины  $l_V$ . Исследование вагонов разных типов показало, что по длине поезда разница для этого коэффициента может достигать 40 %. Величина его может также меняться в зависимости от типа вагона. В любом случае  $l_V$  отдельных вагонов должен учитываться при расчете общей длины поезда.

Отклонение при определении длины поезда с ошибкой в 5 %, которая представляет собой сумму названных погрешностей измерений массы воздуха, его давления и температуры, даже при использовании современных датчиков составляет 35 м на поезде длиной 700 м, что соответствует двум вагонам длиной по 17,5 м. Такая точность является максимально достижимой для данного метода. На практике же она еще ниже вследствие отсутствия данных о коэффициенте длины вагонов.

Для измерения длины поезда рассмотренным методом нужно установить в магистрали НЛ давление воздуха 5 бар. После этого можно начинать измерение темпа утечек. Далее давление понижают до определенного значения, например 4,5 бар, чтобы подготовиться к измерению. На следующем этапе снижают давление в магистрали НЛ до определенного значения и измеряют массу выпускаемого воздуха. Дополнительно повышают давление воздуха до определенного значения и измеряют массу поступающего воздуха. В результате на все процедуры требуется 5 – 9 мин.

Окончательный способ оценки результатов измерений по рассмотренному методу еще не найден, поэтому не исключена возможность того, что ожидаемая теоретическая точность не подтвердится. Компании-перевозчики, оценивающие точность и затраты времени на измерения, еще не приняли решения об интеграции метода в процесс перевозок. Независимо от их решения должны быть изучены альтернативные методы, которые уже существуют и требуют меньших затрат времени. Точность измерений этими методами не выше рассмотренной.

В случае высоких требований к точности измерения длины поезда следует использовать стационарные измерительные устройства, имеющиеся в местах формирования поездов. Эти устройства являются благоприятной по цене альтернативой без заметных технических рисков.

### Перспективы

В европейском масштабе предложенный метод рассматривается положительно, так как данное решение дает преимущества европейским грузовым поездам. К этому следует добавить, что подобные

эксперименты проводит и Национальное общество железных дорог Франции.

Первые оценки экспериментальной конфигурации системы позволяют ожидать экономически интересных решений, если точность определения длины поезда и времени выявления обрыва сможет стать привлекательной для компаний-перевозчиков.

Проблему контроля полносоставности поезда и определения его длины целесообразно рассматри-

вать в сочетании с известным требованием об отказе от стационарных устройств контроля занятости пути. Подготовка технически эффективного и экономически оправданного решения ZVS происходит в период реализации проекта FFB, в рамках которого эта система будет использоваться.

*F. Quante et al. Eisenbahntechnische Rundschau, 2000, № 7/8, S. 534 – 539.*

УДК 625.172

## Проблемы содержания пути при высоких осевых нагрузках

*С момента появления железных дорог масса грузовых вагонов непрерывно увеличивается. Высокие осевые нагрузки обеспечивают повышение производительности, но и вызывают дополнительный износ верхнего строения пути и других объектов инфраструктуры. Шлифование и лубрикация рельсов, улучшение характеристик грузовых вагонов, совершенствование методов текущего содержания пути помогают в решении этих проблем.*

В очередном, 9-м ежегодном обзоре экспериментально-исследовательской деятельности Центра транспортных технологий (ТТС) по состоянию на март 2004 г. представлены последние результаты исследований на полигоне ускоренных эксплуатационных испытаний (FAST), относящихся к движению подвижного состава с высокими осевыми нагрузками (HAL).

Реализуемая в ТТС программа исследований HAL преследует следующие основные цели:

- определение влияния осевых нагрузок порядка 35 т на состояние пути и его компонентов;
- оценку работоспособности новых и модернизированных компонентов пути.

Эту программу совместно финансировали Ассоциация американских железных дорог (AAR) и Федеральная железнодорожная администрация США (FRA), а железные дороги и компании-поставщики предоставили материалы и оборудование для испытаний, что расширило базу исследований.

К моменту публикации обзора в рамках программы HAL по путям полигона FAST в общей сложности было пропущено 1,36 млрд. т брутто поездной нагрузки. Испытания дали информацию по проблемным вопросам, касающимся эксплуатационных характеристик усовершенствованных и экс-

периментальных компонентов пути, эффективности применяемой практики текущего содержания пути и оценки преимуществ тележек с модернизированным рессорным подвешиванием.

### Рельсы

В ходе оценки эксплуатационных характеристик пути на полигоне FAST определены параметры износа рельсов, изготовленных из наиболее современных первосортных марок стали, под воздействием высоких осевых нагрузок, а также характер возникновения и развития усталостных дефектов, особенно поверхностных.

Предварительные результаты начатых в 2001 г. испытаний таких рельсов (к настоящему времени по ним пропущено около 230 млн. т брутто поездной нагрузки) показали, что состояние поверхности испытываемых рельсов осталось удовлетворительным с некоторыми незначительными различиями у рельсов разных типов. В сварных рельсовых стыках, выполненных методом стыковой электросварки оплавлением, трещины не обнаружены, за исключением четырех стыков рельсов из перлитной стали (механические повреждения в зоне подошвы) и двух из бейнитной.

Сформулирован вывод, что статистически значимые различия в износе проходивших испытания рельсов из перлитной стали отсутствуют. Рельсы из бейнитной стали марки J6 при минимальной лубрикации изнашиваются быстрее, но их износ при нормальной лубрикации примерно такой же, как рельсов из перлитной стали твердостью 365 ед. по Бригеллю. Качество поверхности этих рельсов повсеместно хорошее, а износ уменьшился на 9,1 % по сравнению с рельсами предшествующих поколений.