

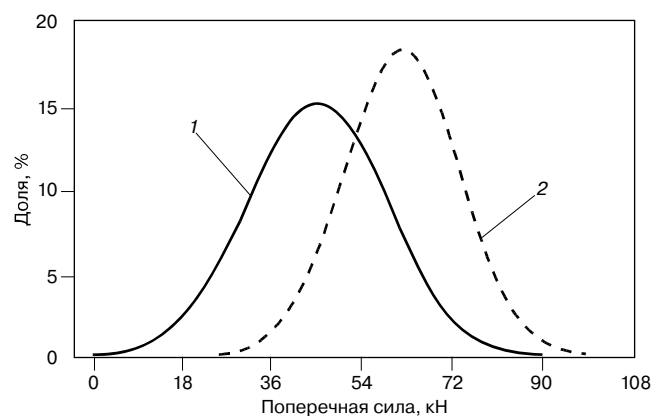
# Управление трением на поверхности катания рельсов

*Железные дороги Северной Америки, стремясь уменьшить силы во взаимодействии колес и рельсов при вписывании подвижного состава в кривые, внедряют концепцию управления трением на поверхности катания рельсов с использованием напольных и мобильных устройств.*

Поскольку технологии управления трением относительно новые, разработки в области методов, технических средств и материалов (модификаторов трения) для этого находятся на стадии становления и развития и направлены на улучшение эксплуатационных характеристик и экономических показателей. Ввиду того что большинство материалов для управления трением невидимы после нанесения, необходимы соответствующие рекомендации по их применению, обеспечивающие безопасность и уменьшение расхода.

## Предпосылки

Центр транспортных технологий (ТТС) в Пуэбло (США, штат Колорадо), дочернее предприятие Ассоциации американских железных дорог (AAR), и отдел исследований и разработок Федеральной железнодорожной администрации (FRA) прилагают совместные усилия по поиску источников финансирования и координации разработок в области управления трением на поверхности катания рельсов для обеспечения его



**Рис. 1.** Гистограмма распределения величин поперечных сил при вписывании в кривую передней колесной пары грузового вагона: 1 — при использовании напольных устройств для нанесения модификатора трения на поверхность катания рельсов; 2 — без использования таких устройств

максимальной эффективности. Результаты обобщения накопленного опыта вошли в новый раздел (главу 4) руководящего документа по управлению трением, подготовленного Американской инженерной ассоциацией по текущему содержанию и ремонту железнодорожного пути (AREMA). Предстоящие работы по внедрению и оценке новых технологий будут нацелены на остающиеся проблемы, касающиеся методов регулирования и измерения, надежности оборудования и вариантов использования.

Управление трением на поверхности катания рельсов в настоящее время практикуется на ряде грузонапряженных железных дорог Северной Америки, включая Burlington Northern Santa Fe (BNSF), Canadian National (CN), Canadian Pacific (CP), Union Pacific (UP) и Norfolk Southern (NS).

Уже первые исследования дали основания надеяться на значимые достоинства данной концепции, которые достигаются за счет снижения сил вписывания в кривые, а также потребления топливно-энергетических ресурсов на тягу поездов. Последующие эксплуатационные испытания в контролируемых условиях предоставили довольно большой объем информации для уточнения методики применения соответствующих технологий.

Основное преимущество концепции управления трением на поверхности катания рельсов проиллюстрировано на рис. 1, где приведена гистограмма распределения усредненных значений сил во взаимодействии ведущих колесных пар грузовых вагонов с внутренним рельсом при вписывании в кривую радиусом 175 м на опытном участке железной дороги UP с использованием и без использования напольных устройств для нанесения модификатора трения. Видно, как уменьшается напряженное состояние железнодорожного пути благодаря использованию технологии управления трением.

В данном случае среднее значение сил вписывания, имеющих место при обычном смазывании внутренней грани головки рельсов, но без применения технологии управления трением, составило около 6230 кг. Однако при использовании напольных устройств для нанесения модификатора трения на поверхность катания рельсов среднее значение этих сил снизилось до 4390 кг. Таким образом, установка и применение шести напольных устройств для нанесения модификатора трения на участке длиной 9,6 км уменьшили на 30 % силы вписывания в кри-

вую. Аналогичные результаты были получены на большей части других опытных участков. Наряду с этим отмечено замедление естественного (обусловленного движением поездов) ухудшения состояния пути, отразившееся в уменьшении числа поврежденных рельсовых скреплений, интенсивности бокового искривления рельсов и их износа.

### Особенности концепции

Наиболее важное различие между управлением трением на поверхности катания рельсов и обычным смазыванием внутренней грани головки рельсов заключается в использовании модификатора трения вместо консистентной смазки. Наиболее очевидно преимущества управления трением проявляются тогда, когда на поверхность катания обоих рельсов наносится слой модификатора трения, обеспечивающий умеренную величину коэффициента трения, т. е. 0,3 – 0,4. В то время как теоретически в данном случае возможно применение и обычной смазки, количественно регулировать ее нанесение для поддержания требуемого коэффициента трения на устойчивом уровне весьма затруднительно.

В течение длительного времени смазывание внутренней грани головки рельсов использовалось железными дорогами для регулирования износа, а в последнее время — и для снижения энергозатрат на тягу поездов. Однако если в конкретном месте нанесено избыточное количество смазки, результатом этого обычно становится нежелательный ее перенос на поверхность катания. Излишнее количество смазочного материала на поверхности катания рельсов может привести к проскальзыванию колес, снижению эффективности тяги и торможения и уменьшению способности тележек к оптимальному ориентированию в рельсовой колее.

Рекомендуемые значения коэффициента трения для линий железных дорог Северной Америки с преобладанием грузового движения, как это следует из положений недавно разработанной главы 4 руководящего документа AREMA, должны быть равны:

- на внутренней грани головки рельсов в кривых — менее 0,20;
- на поверхности катания рельсов — от 0,30 до 0,40;
- разность значений коэффициента трения на поверхности катания левого и правого рельсов — менее 0,10.

Таким образом, при получении требуемого эксплуатационного эффекта от применения управления трением подразумевается, что смазывание внутренней грани головки рельсов должно быть оптимизировано на уровне величины коэффициента трения менее 0,20 и при этом ограничен перенос смазочного материала на поверхность катания рельсов.

На начальном этапе в технологии управления трением на поверхности катания рельсов использовались модифицированные варианты оборудования для смазывания внутренней грани головки рельсов, так что осуществлялось скорее смазывание поверхности катания, а не желаемое управление трением. Современные напольные и мобильные (установленные на железнодорожном подвижном составе или на транспортных средствах на комбинированном ходу) устройства для нанесения модификатора трения на поверхность катания рельсов обладают большими преимуществами перед первоначальными, сохраняя в то же время многие общие с ними черты.

### Напольные устройства

В настоящее время на железных дорогах Северной Америки для управления трением на поверхности катания рельсов наиболее широко используются напольные устройства. Типичное устройство такого рода аналогично обычному напольному устройству для смазывания внутренней грани головки рельсов (лубрикатору). Наиболее заметным внешним отличием является то, что приспособления для нанесения модификатора трения расположены с наружной, а не с внутренней стороны рельсов (рис. 2).

Были проведены демонстрационные эксперименты по управлению трением с использованием напольных устройств на проходящем в речной долине и изобилующем кривыми малого радиуса однопутном участке длиной 16 км железной дороги CN близ станции Литтон (Канада, провинция Британская Колумбия). В результате установки пяти таких устройств со средним интервалом около 3,2 км между ними удалось уменьшить величину сил вписывания в кривые в среднем на 23 – 35 % (в зависимости от подачи материала).

Испытания проводили при включенных устройствах в разных режимах подачи материала в сопоставлении с ситуацией, когда устройства для подачи модификатора трения были отключены. Получены следующие результаты:



Рис. 2. Приспособление для нанесения модификатора трения на поверхность катания рельса (фото: Kelsan)

- при включении насоса подачи модификатора трения на 0,25 с при проходе каждой 20-й оси и расходе материала 0,27 л на каждые 1000 осей величина сил вписывания снизилась на 21 – 23 %;

- при включении насоса подачи модификатора трения на 0,25 с при проходе каждой 16-й оси и расходе материала 0,35 л на каждые 1000 осей величина сил вписывания снизилась на 32 – 38 %.

Подобные же результаты были получены в ходе сравнительных испытаний на железной дороге NS, проведенных на участке примерно такой же длины и с тем же числом устройств для нанесения модификатора трения.

Показано, что при установке нескольких устройств эффект возрастает. Возможной причиной может быть то, что, помимо нанесения модификатора трения на поверхность катания рельсов, на поверхности катания колес подвижного состава после прохождения ими нескольких мест пути, где установлены устройства, также оказывается определенное количество модификатора трения.

Важным отличием между стандартными напольными лубрикатрами (устройствами для смазывания внутренней грани головки рельсов) и устройствами для нанесения модификатора трения на поверхность катания является необходимость в более точном регулировании количества наносимого материала. В то время как напольные лубрикатры обеспечивают требуемое снижение коэффициента трения на внутренней грани головки рельсов в широком диапазоне расхода смазочного материала, излишнее нанесение модификатора трения на поверхность катания приводит к снижению величины этого коэффициента ниже желаемой, что может отрицательно повлиять на тяговые характеристики локомотивов и тормозные характеристики вагонов. Поэтому, как полагают, целесообразно использовать только устройства с электрическим приводом, которые обеспечивают подачу модификатора трения с малым шагом регулирования.

#### *Размещение напольных устройств*

В настоящее время ТТС и железная дорога CP исследуют вопрос об оптимальном размещении на пути устройств для нанесения модификатора трения, с тем чтобы обеспечивался требуемый уровень управления трением на поверхности катания рельсов и в то же время капитальные и текущие затраты не были слишком большими.

Имел место случай, когда устройство для нанесения модификатора трения было установлено в кривой, где на поверхности катания рельсов уже присутствовали трещины. По мере работы устройства выявилась тенденция к развитию поверхностного отслаивания металла. По обнаружении этого устройство было перемещено в ближайший прямой участок

пути, где трещин не было. После этого проблем с возникновением и развитием усталостных трещин не наблюдалось.

Это позволило сформулировать некоторые рекомендации по установке напольных устройств для нанесения модификатора трения:

- необходим предварительный осмотр поверхности рельсов на расстоянии 30 м в обе стороны от предполагаемого места установки устройства с целью выявления поверхностных усталостных трещин;

- в случае отсутствия трещин возникновение их в дальнейшем по мере работы устройства маловероятно;

- при обнаружении поверхностных трещин необходимо выбрать другое место для установки устройства или провести шлифование рельсов с целью снятия дефектного металла;

- необходимо удалять боковые наплывы металла, чтобы можно было смонтировать приспособление для подачи материала;

- предпочтительной является установка устройств в прямых участках пути для предупреждения стекания модификатора трения с поверхности катания рельса на боковые грани, как это может иметь место в кривых, где рельсы наклонены в большей степени, чем в прямых.

Результаты проведенных на железных дорогах BNSF, CN, UP и NS экспериментов по применению напольных устройств для нанесения модификатора трения на поверхность катания рельсов подтвердили, что установка их с интервалом 3,2 км позволяет уменьшить величину боковых сил при вписывании в кривые на 25 – 35 %. Вместе с тем в зависимости от направления движения и расстояния от устройства возможно большее или меньшее снижение сил вписывания для каждого конкретного поезда. В общем случае эффект уменьшения данных сил сказывается немедленно после начала работы напольных устройств, но требуется проход 30 – 50 поездов, чтобы процесс стабилизировался.

Для обеспечения устойчивой работы устройств ключевым фактором является надежность. Данные испытаний свидетельствуют, что эффективность управления трением быстро снижается в случае длительных перерывов в работе устройств. Поскольку действенность применяемых модификаторов сохраняется в течение относительно небольшого времени, требуется частое нанесение материала для поддержания его эффективности на желаемом уровне.

#### **Мобильные устройства**

##### *Устройства, устанавливаемые на локомотивах*

Первые мобильные устройства для нанесения модификатора трения на поверхность катания рельсов устанавливались на локомотивах. Эти

устройства были весьма сложными вследствие большого числа вводимых параметров, требующихся для нормальной работы системы (схема оснащения локомотива устройством для нанесения модификатора трения на поверхность катания рельсов приведена на рис. 3; распылительные сопла обычно крепятся на трубах для подачи песка под колеса). Кроме того, для обеспечения желаемой эффективности управления трением необходима установка устройств на большом числе локомотивов, чтобы наносить нужное количество материала во многих критических местах пути. Поэтому в настоящее время на железных дорогах Северной Америки используется относительно малое число таких устройств.

#### *Устройства, устанавливаемые на транспортных средствах на комбинированном ходу*

В качестве транспортных средств на комбинированном ходу, на которые можно устанавливать устройства для нанесения модификатора трения, применяются экипажи на базе автомобильных шасси, обычно используемые для измерения геометрических параметров пути или перевозки путевых материалов (рис. 4). Эксплуатационные испытания показали, что для поддержания эффективности управления трением на поверхности катания рельсов слой модификатора трения необходимо обновлять после пропуска примерно 1500 — 2000 осей, или не более 0,2 млн. т поездной нагрузки, что соответствует 15 — 20 грузовым поездам стандартной длины и массы. Поэтому транспортные средства на комбинированном ходу, которые легко въезжают на путь и сходят с него, не требуя выделения окон и не создавая помех для движения поездов, весьма удобны там, где операции по нанесению модификатора трения необходимо выполнять относительно часто.

#### *Устройства, устанавливаемые на вагонах*

Устройства для нанесения модификатора трения, устанавливаемые на обычных грузовых вагонах, по принципу действия не отличаются от устанавливаемых на локомотивах или транспортных средствах на комбинированном ходу, но они должны оснащаться силовыми агрегатами малой мощности для приведения в действие насосов и приспособлений для регулирования подачи. Вместе с тем их использование весьма эффективно. Сопоставительные испытания на железной дороге Quebec Cartier показали, что при пропуске по участку поезда, на одном из вагонов которого установлено устройство для нанесения моди-

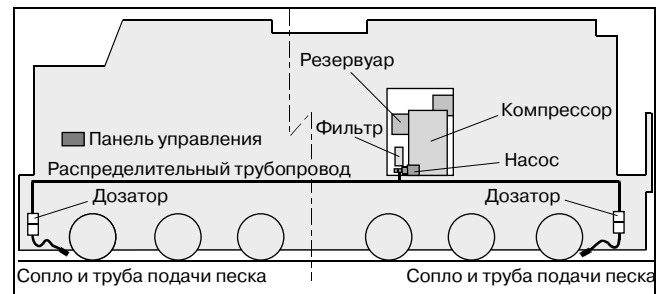


Рис. 3. Схема оснащения локомотива устройством для нанесения модификатора трения на поверхность катания рельсов



Рис. 4. Транспортное средство на комбинированном ходу, оснащенное устройством для нанесения модификатора трения на поверхность катания рельсов (фото: Kelsan)

фикатора трения, силы вписывания в кривые примерно на 30 % меньше, чем при пропуске поезда без такого вагона. Это иллюстрирует рис. 5, на котором приведены усредненные величины поперечных сил, измеренные при пропуске двух аналогичных грузовых поездов из 160 вагонов каждый.

#### **Проблемы и перспективы**

До настоящего времени опытное внедрение концепции управления трением на поверхности катания рельсов осуществлялось только в тщательно контролируемых условиях. Оценку эффективности этой концепции, сделанную, например, исходя из имеющегося опыта ограниченного ее применения на небольшом (от 5 до 10 ед.) числе локомотивов, оснащенных устройствами для нанесения модификатора трения на поверхность катания рельсов, трудно экстраполировать на весь парк, имея в виду наличие на каждой железной дороге от нескольких сотен до тысяч локомотивов. Поскольку полигон обращения локомотивов весьма разветвлен и зачастую измеряется сотнями и тысячами километров,

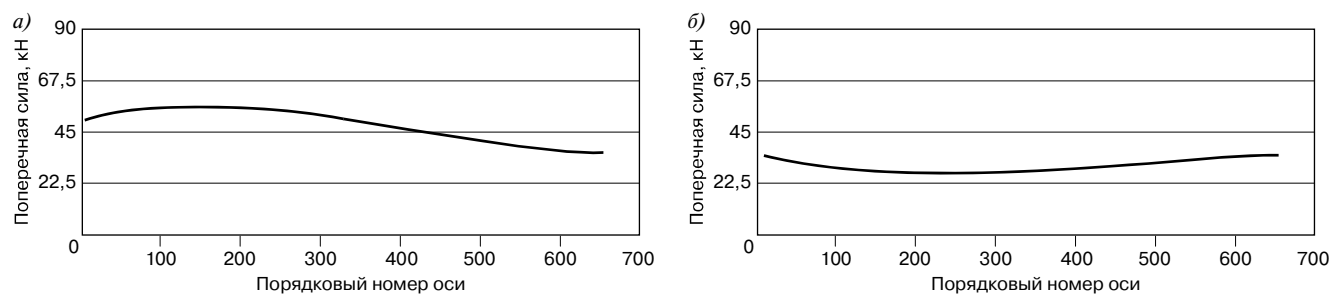


Рис. 5. Усредненные поосные величины сил вписывания в кривую:

*a* — поезда без вагона с устройством для нанесения модификатора трения на поверхность катания рельсов; *b* — поезда с таким вагоном

эффект от внедрения концепции с точки зрения взаимодействия колес и рельсов все еще не полностью документирован.

Видно, в частности, что устройства для нанесения модификатора трения предстоит устанавливать на локомотивах разных серий, работающих в широком диапазоне климатических условий на пути разного качества. Между напольными и локомотивными устройствами имеются существенные различия в плане технического обслуживания и контроля. Напольные устройства практически ежедневно осматриваются путевыми бригадами, благодаря чему повреждения, неисправности и отказы в работе быстро выявляются. В то же время локомотивные бригады, как правило, почти ничего не знают о работе устройств и не заботятся об их содержании в надлежащем состоянии. Осмотр и регулировка локомотивных устройств осуществляются только в пунктах экипировки или в процессе планового технического обслуживания, проводимого с интервалом два-три месяца. Поэтому даже единичные отказы могут вывести устройство из строя на длительный срок, и никто об этом не будет знать, что может резко снизить эффективность внедрения концепции.

Обращаясь к проблеме надежности, комитет AAR по локомотивам недавно ввел в действие строгие требования к надежности локомотивных устройств для нанесения модификатора трения на поверхность катания рельсов. Они включают обязательное проведение ускоренных лабораторных испытаний устройств, в том числе на сопротивляемость вибрации и по ряду других параметров, на локомотивах, временно изъятых из регулярной эксплуатации. Существуют также математические формулы, позволяющие моделировать условия вибрационной среды, в которых должны работать распылительные сопла, их кронштейны и системы управления устройствами.

Становятся доступными и подлежат оценке в качестве опытных образцов напольные и мобильные устройства новых конструкций, а также средства их регулирования и контроля. Можно упомянуть, например, систему мониторинга состояния устройств, устанавливаемых на грузовых вагонах и работающих в самых различных условиях. Напольные устройства нескольких типов проходят проверку на полигоне ускоренных эксплуатационных испытаний ТТС, после чего будут отправлены на линию для испытаний в эксплуатационных условиях.

В настоящее время на рынке имеются модификаторы трения разных видов, но каждый из них по-своему уникален и рассчитан на применение совместно с определенным устройством для его нанесения, так что нормальная работа с другими устройствами не всегда гарантируется. Принцип «один модификатор/одно устройство» обуславливает эксплуатационные ограничения и связан с заметными неудобствами, поэтому требуется разработка более универсальных материалов и оборудования.

Напольные и ограниченное число мобильных устройств для нанесения модификатора трения на поверхность катания рельсов постепенно все шире распространяются на железных дорогах Северной Америки. В то время как напольные устройства в настоящее время преобладают, повышается интерес к мобильным устройствам, так как с их применением можно обрабатывать путь большей протяженности. Чтобы такие устройства были более эффективными, необходимо повысить их надежность и точность регулирования с адаптацией к конкретному месту использования.

*R. Reiff. Railway Track & Structures, 2005, № 5, p. 16 – 19.*