



Рис. 2. Машина Navigator компании Vermeer для проходки горизонтальных и наклонных отверстий в грунте

рог с точки зрения сохранения пропускной способности в коммерческих перевозках.

Компания TerraElast выпускает материалы, повышающие связность балласта. Так, материал CANASOIL связывает балласт на глубину до 30 см, допуская при этом пропуск воды, но препятствуя проникновению мелких частиц загрязнителей в балласт и их накоплению в нижней зоне балластного слоя, которое может привести к ухудшению его дренажных свойств. Этот материал способствует стабилизации балластного слоя и решает большинство проблем водоотвода, с которыми сталкиваются железные дороги. CANASOIL, в частности, использу-

ется на железных дорогах Германии, Франции, Канады и ряда стран Азии; принимаются меры по расширению присутствия компании в других секторах рынка Северной Америки.

Компания Vermeer Manufacturing длительное время занимается исследованиями в области повышения эффективности рабочих органов землеройных машин для разработки грунта в самых разных условиях. Кюветокопатели и распределители балласта все еще нуждаются в повышении уровня комфорта для операторов, улучшении мощностных и массогабаритных характеристик.

В ряде случаев, где в прошлом применяли кюветокопатели, а также в местах с высоким уровнем экологических требований (в зоне действующих автомобильных дорог, на переходах через реки и т. д.) эффективнее использовать горизонтально направленную проходку отверстий в грунте с использованием, например, выпускаемых компанией машин семейства Navigator (рис. 2). Это позволяет отказаться от проходки глубоких траншей и последующего восстановления поверхностного слоя.

*M. Vanek. Railway Track & Structures. 2004, № 5, p. 25 – 27.*

## Влияние лубрикации на взаимодействие подвижного состава и пути

*Понимание характера и количественных показателей взаимодействия подвижного состава и пути, особенно в кривых малого радиуса, весьма важно для обеспечения стабильности движения экипажа и уменьшения износа контактирующих поверхностей рельсов и колес. Как показали исследования, решающими факторами этого взаимодействия являются величины угла набегания колесных пар и поперечные силы, воздействующие от колес на рельсы. Геометрические особенности взаимодействия определяются относительно просто по профилю износа колес и рельсов, но для определения количественных параметров, относящихся к трению между колесами и рельсами в условиях наличия или отсутствия смазочного материала и загрязнений на контактирующих поверхностях, требуются дальнейшие исследования. Эту проблему экспериментально изучали специалисты Научно-исследовательского института железнодорожной техники Японии (RTRI) и компании JR West.*

### Введение

При следовании подвижного состава в кривых малого радиуса во взаимодействии колес и рельсов возникают значительные поперечные силы. Это — из основных причин сходов поездов вследствие напоздания колеса на наружный рельс, ускоренного износа гребней колес и рабочей грани наружного рельса в зоне контакта, волнообразного износа поверхности катания рельсов и выделения скрежещущих звуков как на внутреннем, так и на наружном рельсах кривых.

В поисках путей выхода из этой ситуации внимание было сконцентрировано на регулировании коэффициента трения между колесами и рельсами как средстве уменьшения поперечных сил. Одновременно с этими измерениями, проведенными на нескольких участках железных дорог Японии в реальных эксплуатационных условиях, выявлен широкий диапазон изменения коэффициента кинетического трения на поверхности рельса.

Как известно, в настоящее время для снижения коэффициента трения между колесами и рельсами и, соответственно, уменьшения их износа используются напольные и бортовые системы лубрикации. Предметом рассматриваемого исследования являлось влияние вводимого в зону контакта смазочного материала на взаимодействие подвижного состава и пути, изученное на экспериментальном участке и на участках эксплуатируемых линий.

### Измерения на экспериментальном участке

#### Условия измерений

Испытания для выявления того, как влияет наличие или отсутствие смазочного материала на взаимодействие подвижного состава и пути, проводились на экспериментальном участке RTRI. В ходе измерений в качестве смазки использовались широко применяемые на сети железных дорог Японии вода и масло, наносимые с помощью напольных устройств.

Динамические характеристики взаимодействия колес и рельсов, имеющего место при движении экипажа в кривой малого радиуса, измерялись в следующих четырех ситуациях:

- ситуация 1 — отсутствие смазки (сухое трение);
- ситуация 2 — смазывание водой поверхности катания внутреннего рельса;
- ситуация 3 — смазывание маслом поверхности катания внутреннего рельса;
- ситуация 4 — смазывание маслом рабочей грани головки наружного рельса.

Использованный для испытаний экспериментальный участок RTRI состоял из двух последовательных кривых радиусом 160 и 100 м и длиной 187 и 73 м соответственно. На участке в путь уложены рельсы типа JIS 50N, возвышение наружного рельса составляло 90 мм.

Измерения величин нагрузки от колес, поперечных сил, воздействующих на наружный и внутренний рельсы, и углов набегания на рельс передней по направлению движения опытного вагона колесной пары, а также коэффициента кинетического трения проводились на отрезке длиной 55 м, находившемся в кривой радиусом 160 м. Скорость движения вагона составляла 10 км/ч. Смазочный материал наносили на поверхность катания или на рабочую грань головки рельса в количестве 3,5 г/м.

Опытный вагон характеризовался следующими параметрами: тип тележек — без шкворневой балки, диаметр колес — 860 мм, статическая нагрузка от колеса на рельс — 33,5 кН, профиль поверхности катания колес — конический, скорость движения — 10 км/ч, дисбаланс колесных нагрузок — 50 %.

### Результаты измерений

Коэффициент кинетического трения измеряли на поверхности катания внутреннего и на рабочей грани наружного рельсов непосредственно после прохода опытного вагона с помощью специально созданного для этого в RTRI трибометра, схема которого приведена на рис. 1. Искомое значение коэффициента принимали равным отношению усилия, необходимого для перемещения трибометра, к вертикальной нагрузке на шарик диаметром 20 мм, создававшей контактное напряжение 686 МПа.

Измеренные значения коэффициента кинетического трения на поверхности катания внутреннего и рабочей грани головки наружного рельсов кривой для указанных выше четырех ситуаций приведены на рис. 2.

Видно, что вода и масло по-разному влияют на коэффициент кинетического трения. Несмотря на то что коэффициент трения на рабочей грани наружно-

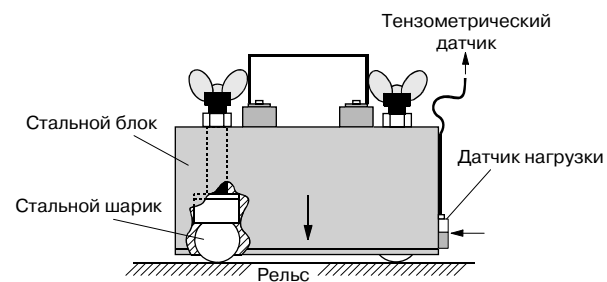


Рис. 1. Схема трибометра RTRI

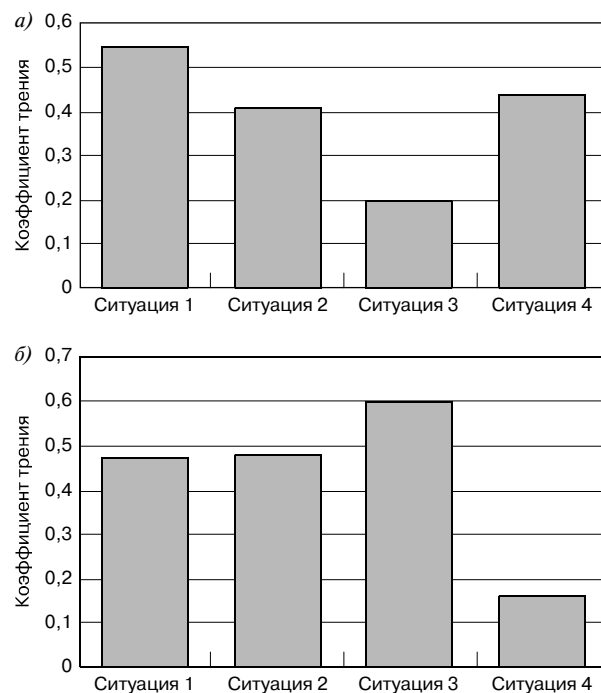


Рис. 2. Результаты измерений коэффициента кинетического трения на экспериментальном участке: а — на поверхности катания внутреннего рельса; б — на рабочей грани наружного рельса

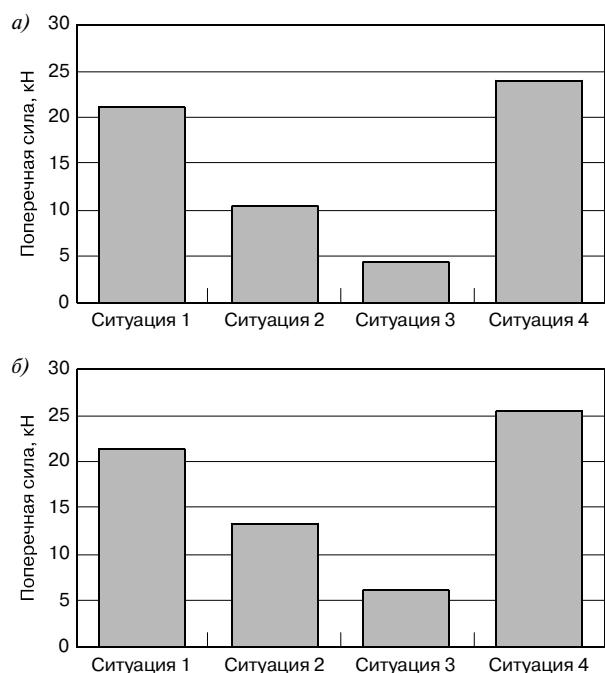


Рис. 3. Результаты измерений поперечных сил от первой колесной пары на экспериментальном участке:  
а — на внутреннем рельсе; б — на наружном рельсе

го рельса не зависит от наличия или отсутствия смазки на поверхности катания внутреннего, величина этого коэффициента показала тенденцию в значительной степени изменяться в зависимости от метеорологических условий и контактной нагрузки при проходе опытного вагона. Тем самым подтвердилась важность определения коэффициента трения на поверхности катания внутреннего и на рабочей грани наружного рельсов кривой для точного представления о характере взаимодействия подвижного состава и пути.

Затем, также для внутреннего и наружного рельсов кривой, измеряли поперечные силы во взаимодействии с рельсами колес первой по направлению движения опытного вагона колесной пары. Результаты измерений приведены на рис. 3.

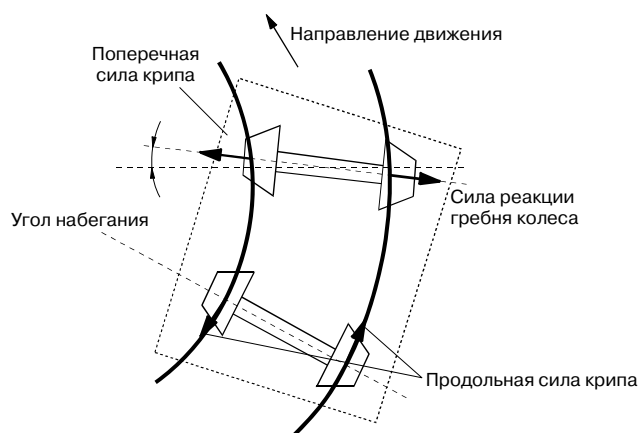


Рис. 4. Типичная схема силового взаимодействия колес и рельсов

Видно, что при смазывании водой и маслом поверхности катания внутреннего рельса величина поперечной силы между колесом и этим рельсом изменяется по сравнению с ситуацией без смазки в зависимости от коэффициента кинетического трения. Величина поперечной силы между колесом и наружным рельсом также изменяется практически аналогичным образом.

На рис. 4 приведена типичная схема силового взаимодействия колес и рельсов при движении экипажа в кривой малого радиуса. На величину поперечных сил воздействия подвижного состава на путь большое влияние оказывает сила поперечного крива. Вместе с тем в ситуации смазывания маслом рабочей грани наружного рельса величина поперечных сил возрастает как на внутреннем, так и на наружном рельсах, так как направляющие силы между рабочей гранью наружного рельса и наружным колесом первой по направлению движения колесной пары уменьшаются вследствие снижения коэффициента кинетического трения.

Результаты измерений угла набегания первой по направлению движения колесной пары в тех же ситуациях приведены на рис. 5. В ситуации смазывания поверхности катания внутреннего рельса водой (2) и маслом (3) угол набегания увеличивается, потому что направляющие силы на наружном рельсе могут уменьшаться вследствие снижения поперечных сил, как показано на рис. 3, б. В ситуации смазывания рабочей грани наружного рельса маслом (4) угол набегания также увеличивается вследствие уменьшения направляющих сил на наружном рельсе в зависимости от коэффициента кинетического трения.

### Измерения на эксплуатируемой линии

#### Условия измерений

Для оценки влияния смазывания рабочей грани головки наружного и поверхности катания внутреннего рельсов кривой на динамическое взаимодействие колес и рельсов на эксплуатируемой линии измеряли с использованием двух опытных вагонов величины нагрузки от колес, поперечных сил и угла набегания.

Экспериментальный участок действующей узкоколейной линии включал прямую и кривую радиусом 400 м. В путь здесь уложены термоупрочненные рельсы типа JIS 50N, возвышение наружного рельса составляло 100 мм. В прямой на расстоянии 31,4 м перед входом в кривую располагался стационарный напольный рельсовый лубрикатор. Измерения проводили на расстоянии 16,04 м от начала кривой.

Опытные вагоны характеризовались следующими параметрами: тип тележек — без шкворневой балки,

колесная база — 2100 мм, диаметр колес — 860 мм, статическая нагрузка от колеса на рельс — 45 кН (первый вагон) и 43 кН (второй вагон), профиль катания колес — модифицированный арочный, скорость движения — от 70 до 80 км/ч.

Параметры взаимодействия подвижного состава и пути измерялись в следующих трех ситуациях:

- ситуация 1 — отсутствие смазки (сухое трение);
- ситуация 2 — смазывание маслом рабочей грани головки наружного рельса;
- ситуация 3 — смазывание маслом поверхности катания внутреннего рельса;

Выкружка рабочей грани наружного рельса кривой экспериментального участка ко времени проведения испытаний имела износ 3 мм относительно первоначального профиля.

### Результаты измерений

На рис. 6 приведены результаты измерения коэффициента кинетического трения трибометром RTRI непосредственно после прохода опытных вагонов. Видно, что коэффициент трения при отсутствии смазки как на поверхности катания внутреннего рельса кривой, так и на рабочей грани наружного рельса превышал 0,7. При смазывании рабочей грани наружного рельса маслом коэффициент трения уменьшился здесь до уровня ниже 0,2, но на поверхности катания внутреннего рельса это не отразилось. Однако в случае смазывания поверхности катания внутреннего рельса смазка оставалась и на рабочей грани наружного рельса, поэтому коэффициент трения здесь стал меньше, чем в ситуации без смазки. При смазывании внутреннего рельса количество смазки, наносимой на поверхность катания, можно уменьшить, поскольку коэффициент кинетического трения, измеренный непосредственно после прохода вагонов, оказался намного большим, чем ожидалось, и это означало, что смазка могла быть рассеяна вследствие трения колес относительно рельсов.

Результаты измерения поперечных сил воздействия на наружный и внутренний рельсы со стороны первой по направлению движения колесной пары приведены на рис. 7. Здесь показаны максимальные, средние и минимальные значения измеренных сил. Во всех случаях имела место одна и та же тенденция к росту поперечных сил как на внутреннем, так и на наружном рельсах при смазывании рабочей грани наружного рельса по сравнению с ситуацией сухого трения. В то же время поперечная сила на внутреннем рельсе при смазывании его поверхности катания была намного меньше, чем в других ситуациях. Поперечная сила на наружном рельсе при смазывании внутреннего почти такая же, как и при отсутствии смазки, но намного меньше, чем при смазывании наружного рельса, что хорошо согласу-

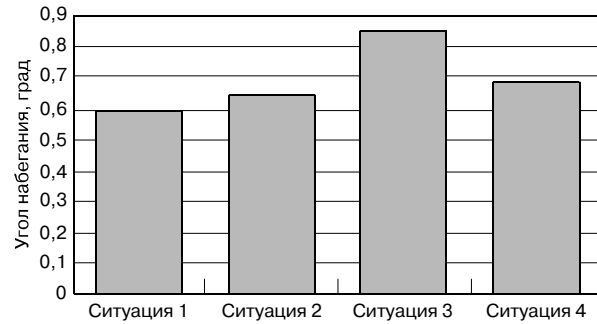


Рис. 5. Результаты измерений угла набегания первой колесной пары на экспериментальном участке

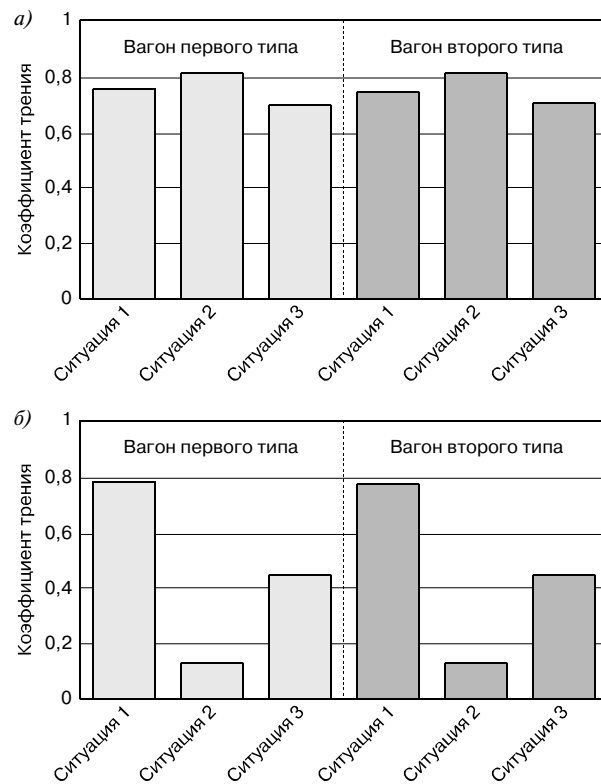


Рис. 6. Результаты измерений коэффициента кинетического трения на эксплуатируемой линии:

а — на поверхности катания внутреннего рельса; б — на рабочей грани наружного рельса

ется с результатами, полученными в ходе испытаний на экспериментальном участке RTRI.

На рис. 8 приведены результаты измерений угла набегания первой по направлению движения колесной пары. Здесь величина угла набегания при смазывании рабочей грани головки наружного рельса также больше, чем при отсутствии смазки. Это указывает на сохранение той же тенденции, что наблюдалась для поперечных сил. Угол набегания при смазывании поверхности катания внутреннего рельса также больше, чем без смазки, и почти такой же, как и в ситуации смазывания наружного рельса, так что в этом случае тенденции для поперечных сил и для угла набегания различны. Это может свидетельствовать о том, что на-

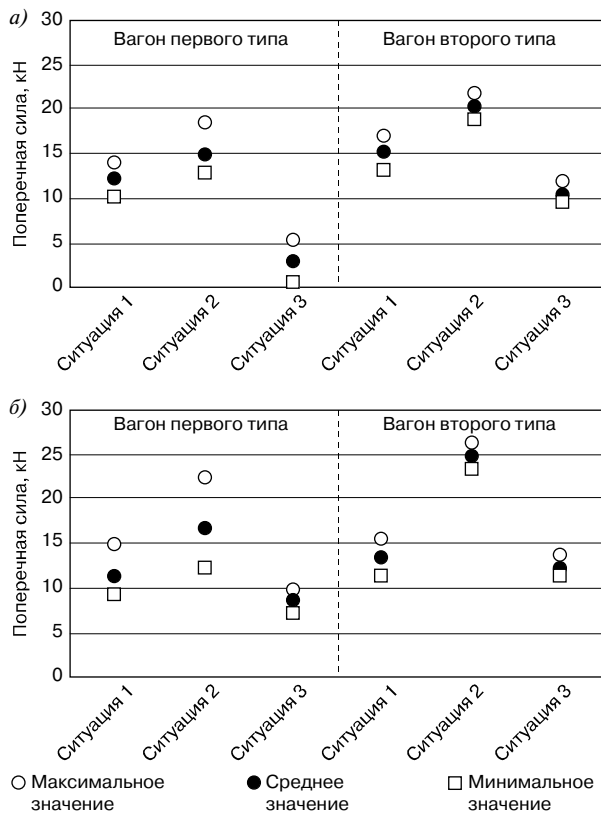


Рис. 7. Результаты измерений поперечных сил от первой колесной пары на эксплуатируемой линии: а — на внутреннем рельсе; б — на наружном рельсе

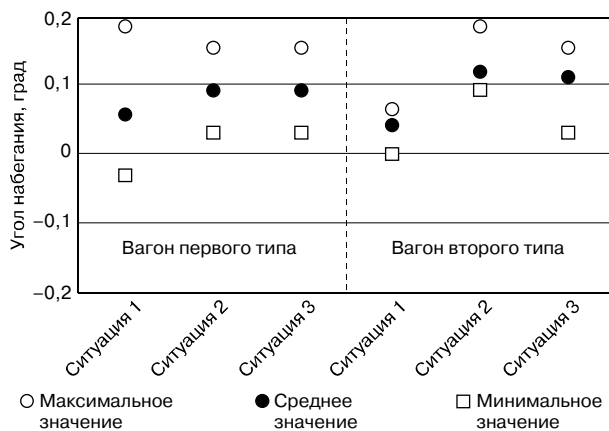


Рис. 8. Результаты измерений угла набегания первой колесной пары на эксплуатируемой линии

правляющие силы при смазывании внутреннего рельса снижаются соответственно уменьшению поперечных сил, а при смазывании наружного рельса — соответственно уменьшению коэффициента трения. Следовательно, угол набегания при смазывании как на-

ружного, так и внутреннего рельсов больше, чем при отсутствии смазки, вследствие уменьшения направляющих сил, которые определяются поперечными силами и коэффициентом трения.

На экспериментальном участке эксплуатируемой линии в течение трех лет проводился мониторинг износа выкружки рабочей грани наружного рельса. По результатам измерений определен темп износа, равный примерно 1 мм на 40 млн. т брутто поездной нагрузки. Темп износа рабочей грани наружного рельса в кривых малого радиуса без смазывания рельсов, как можно представить исходя из результатов рассматриваемого исследования, оценивается примерно в 4 мм на те же 40 млн. т брутто. Следовательно, смазывание рабочей грани наружного рельса эффективно в отношении снижения износа, несмотря на увеличение поперечных сил.

### Выводы

В результате испытаний, проведенных на экспериментальном участке и на эксплуатируемой линии в разных условиях взаимодействия колес с рельсами при движении в кривых, установлено, что смазывание поверхности катания внутреннего рельса существенно влияет на снижение поперечных сил, величина которых является одним из основных факторов обеспечения эксплуатационной безопасности, экономии материальных ресурсов и охраны окружающей среды. Смазывание рабочей грани головки наружного рельса способствует увеличению поперечных сил и уменьшению коэффициента кинетического трения по сравнению с ситуацией сухого трения. Анализ влияния смазывания поверхности катания внутреннего рельса на снижение поперечных сил показал, что смазывание может способствовать решению многих проблем, связанных с движением в кривых малого радиуса. Вместе с тем смазочный материал, используемый для смазывания поверхности катания внутреннего рельса, должен иметь такие характеристики, чтобы не ухудшать условия тяги по сцеплению при высоком коэффициенте проскальзывания между колесами и рельсами.

Ожидается, что исследования, направленные на улучшение параметров взаимодействия колес и рельсов путем использования смазочных материалов, будут продолжены.

M. Ishida, F. Aoki. Quarterly Report of RTRI, 2004, № 3, p. 131 – 135.