

## Экспериментальное определение продольных сил впереди тормозящего поезда

В. И. МАТВЕЦОВ

Белорусский государственный университет транспорта (БелГУТ), Гомель, 246653, Республика Беларусь

**Аннотация.** Рассмотрены особенности верхнего строения и работы пути на первоначальном этапе внедрения сварных рельсов и рельсовых плетей на дорогах СССР. Указано, что при проходе поезда в пути возникают продольные силы угона, которые представляют собой один из наиболее опасных процессов, происходящих в пути при движении по нему подвижного состава. Продольные силы угона проявляются продольным перемещением рельсов по шпалам или рельсов вместе со шпалами по балласту. Знание продольных сил, возникающих в результате угона одной рельсовой нитки или пути в целом, необходимо для грамотного планирования укладки и эксплуатации стыкового и бесстыкового пути, особенно в условиях Урала и Сибири. Приведены методики и результаты экспериментов по определению дополнительных продольных сил, действующих в пути на костыльном и раздельном промежуточном скреплении впереди тормозящего поезда на опытных участках бесстыкового пути в суровых климатических условиях Западно-Сибирской железной дороги, где годовые амплитуды колебания температуры рельсов составляют 110 °С. Принципиальные отличия описанных экспериментов от современных условий эксплуатации заключаются в значительном увеличении масс поездов и тяговых усилий локомотивов, с одной стороны, и изменении конструкции промежуточных креплений — с другой. Однако ряд закономерностей, выявленных в описанных в статье экспериментах, методы проведения исследований, оценка полученных результатов остаются актуальными и в настоящее время.

**Ключевые слова:** железнодорожный путь; деревянные и железобетонные шпалы; сварные рельсы длиной 50, 75 и 100 м; плетевой путь; рельсовые плети; бесстыковой путь; угон пути; силы угона; тормозящий поезд; дополнительные продольные силы

**Общие сведения.** Еще в первые годы существования железных дорог было установлено, что стык является самым напряженным местом железнодорожного пути. Болтовые стыки обуславливают повышенную интенсивность остаточных деформаций в пути, ускоряют износ элементов верхнего строения в зоне стыка, вызывают дополнительное динамическое воздействие на путь и увеличивают основное удельное сопротивление движению поезда. Неизбежные удары в болтовых стыках разрушительно действуют не только на путь, но и на подвижной состав. Вполне справедливо считают, что срок службы подвижного состава зависит не от пройденного расстояния, а от числа и величины поперечных стыков, поэтому вопрос сокращения числа стыков остается одним из

важнейших. Если длина первых рельсов была около 1 м, то при строительстве дороги Москва — Санкт-Петербург укладывались рельсы длиной 5,486 м. Впоследствии длина увеличилась до 12,5 м.

Полной неудачей закончилась в 1935 г. первая попытка использовать 25-метровые рельсы, которые вновь пришлось разрезать на рельсы длиной 12,5 м. С 1961 г. в путь укладывали только 25-метровые рельсы [1, 2]. Желание получить еще большую экономию металла на стыковом скреплении вынудило Главное управление пути Министерства путей сообщения (ЦП МПС) без достаточного обоснования разрешить укладку на второстепенных путях рельсов длиной от 37,5 до 100 м включительно. Отсутствие рекомендаций по укладке и эксплуатации таких рельсов создало дополнительные трудности. Анализ работы сварных рельсов при различной температуре, проведенный автором, показал, что нормальную эксплуатацию таких рельсов при существующем стыковом скреплении обеспечить невозможно. Сварные рельсы длиной более 50 м повсеместно работают в режиме бесстыкового пути и требуют устройства уравнильных пролетов, что явно нецелесообразно [3–5]. В 1969 г. главный инженер ЦП МПС А. Н. Наумов своим распоряжением запретил укладку сварных рельсов длиной до 100 м на сети дорог СССР.

По инициативе автора совместно со службой пути с 1962 г. началась укладка бесстыкового пути с костыльным скреплением на станционных путях станции Московка и Омск-Сортировочный Западно-Сибирской железной дороги. Такую конструкцию пути вначале укладывали на станционных, приемо-отправочных, а затем и на главных путях.

Концевые участки рельсовых плетей длиной до 800 м на протяжении 80–90 м закрепляли пружинными противоугонами «в замок» на каждой шпале, середину — только от угона. Примыкание рельсовых плетей к стрелочным переводам осуществляли с помощью уравнильных рельсов или уравнильных приборов — башмакосбрасывателей. Результаты работы такого пути на Западно-Сибирской дороге были доложены и одобрены на научно-техническом совете ЦП МПС 13 марта 1965 г. и рекомендованы для других железных дорог [6, 7].

■ E-mail: [matvecov@rambler.ru](mailto:matvecov@rambler.ru) (В. И. Матвеев)

Началом системного подхода к исследованию и внедрению сварных рельсовых плетей на российских железных дорогах можно считать 1948 г., когда вначале на ст. Инская, а затем на перегоне Инская — Издревая Томской железной дороги по предложению инженера М. С. Боченкова был уложен бесстыковой путь на костыльном скреплении с рельсами типа Р43 особой конструкции, названной впоследствии путем с саморазрядкой температурных напряжений.

Такой путь с 1954 г. начали укладывать на Московско-Курско-Донбасской дороге и эксплуатировали долгое время. Одновременно с этим прорабатывали вопросы укладки и эксплуатации температурно-напряженного бесстыкового пути с сезонными разрядами напряжений и без них в районах умеренного климата с годовыми амплитудами температуры рельсов до 95 °С. При этом с развитием знаний и накоплением опыта эксплуатации увеличивался полигон бесстыкового пути, протяженность которого на начало 1961 г. составляла около 710 км, а на начало 1962 г. — 1350 км.

Основным препятствием для расширения зон укладки являлись большие годовые перепады температуры. По мнению специалистов и ученых существовали значительные дополнительные продольные силы впереди тормозящего поезда, не позволяющие эксплуатировать бесстыковой путь в более суровых климатических условиях.

Для широкого внедрения бесстыкового пути и длинномерных рельсов как на главных, так и на станционных путях необходимо исследовать продольные силы, возникающие в пути при движении поезда совместно с температурными силами. Без знания продольных сил невозможно грамотно спроектировать и обеспечить нормальную работу бесстыкового пути на перегоне и на станциях. Если температурные силы в бесстыковом пути изучены в достаточной мере, то в вопросе возникновения продольных сил угона нет ясности и по настоящее время.

Сторонники бесстыкового пути, интуитивно отрицающие появление значительных продольных сил впереди тормозящего поезда, объясняли это тем, что возникновение таких сил возможно только в процессе продольной сдвижки рельсошпальной решетки под поездом. При этом под первой колесной парой локомотива могут появиться дополнительные продольные силы, которые прямо пропорциональны сдвижке пути и зависят от величины сдвижки пути под поездом.

Путевая рельсошпальная решетка сама по себе имеет большое сопротивление продольному перемещению, которое, естественно, должно возрастать по мере увеличения вертикальной нагрузки. Именно поэтому сдвижка под поездом участка пути, нагруженного составом весом 5–10 тыс. т, вызывала сомнения и была, скорее всего, маловероятна.

На основании подобных рассуждений оптимисты делали выводы о том, что впереди тормозящего поезда не должно возникать значительных дополнительных продольных сил, создающих трудности при укладке и содержании бесстыкового пути.

Более подготовленными и убедительными в этом споре выглядели противники укладки бесстыкового пути, утверждавшие, что впереди тормозящего поезда возникают дополнительные продольные силы. Однако как сторонникам, так и противникам укладки бесстыкового пути для подтверждения своей правоты необходим был эксперимент. Ниже приведены основные результаты и выводы теоретических исследований, проведенных противниками укладки бесстыкового пути.

Еще профессор К. Н. Мищенко указывал, что продольные силы при известных условиях создают явление угона пути [8]. Ввиду сложности, связанной с определением влияния сил угона, К. Н. Мищенко рассматривал равновесие пути только при воздействии температурных продольных сил без учета продольных сил от движущегося поезда. Знания продольных сил, определенных в соответствии с тяговыми расчетами, передаваемых на рельсы, еще недостаточно для правильного определения дополнительных сил, возникающих при торможении поезда. Первую попытку учесть продольную силу угона и определить ее величину на обычном звеньевом пути сделал профессор Г. М. Шахунянц. Он предположил, что угон пути особенно резко проявляется при преодолении температурными силами сил сопротивления продольным перемещениям рельсов. К числу факторов, способствующих при указанных условиях уgonу пути, относятся силы трения между рельсами и колесами, силы торможения и изгиб рельсов под движущейся нагрузкой. Кроме того, в моменты удара колес в конец рельса в стыке особенно резко падают погонные и стыковые сопротивления, в результате чего проявляется энергия, накопленная рельсом за счет изменения его температуры.

Первые опыты по измерению силы угона были проведены в 1931 г. на Томской железной дороге. Опыты ЦНИИ по определению силы, воспринимаемой якорными противоугонами, осуществлены в 1938 г. на Московско-Курской железной дороге. В 1948–1949 гг. работниками кафедры «Путь и путевое хозяйство» МИИТа под руководством В. Г. Альбрехта было определено необходимое количество пружинных противоугонов для недопущения угона пути [9]. Детальные исследования плетяевого пути с саморазрядкой температурных напряжений были выполнены инженером М. С. Боченковым в 1949–1950 гг. на Томской и в 1954–1959 гг. на Московско-Курско-Донбасской дороге. Впоследствии, в 1974–1976 гг., на Западно-Сибирской, а в 1976–1982 гг. на Восточно-Сибирской

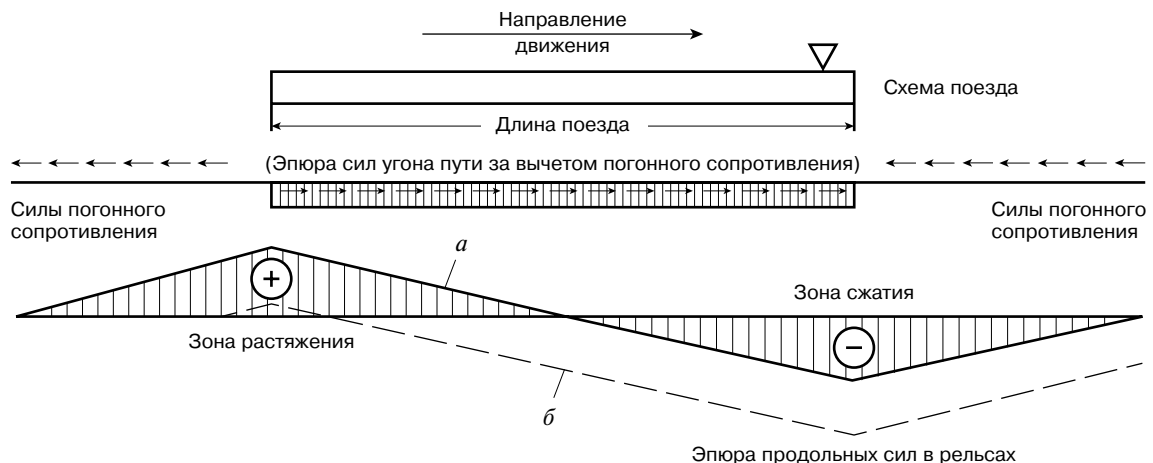


Рис. 1. Эпюра продольных сил в рельсах: *a* — при отсутствии противоугонных приспособлений и очень большом стыковом сопротивлении; *b* — в обычных условиях (сопротивление накладок 6–9 тс) на участках, где зазоры равны нулю  
 Fig. 1. Axial force diagram in rails: *a* — without rail creep adjusters and at very large joint resistance (plate resistance 6–9 tf) at the areas where gap are equal to zero

и Западно-Сибирской железной дороге экспериментальные исследования под руководством профессора Н. И. Карпушенко были проведены в Новосибирском институте инженеров железнодорожного транспорта (НИИЖТ) [10].

Из появившихся к этому времени теорий и гипотез угона пути наибольшее признание получила разработанная профессором В. Г. Альбрехтом теория, в соответствии с которой угон пути происходит за счет поворота поперечных сечений рельса при изгибе под воздействием колес подвижного состава. При этом рельс рассматривался как балка на сплошном упругом основании в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Исследования профессора М. С. Боченкова [11] позволили внести уточнения в теорию угона пути В. Г. Альбрехта. Наибольший вклад в развитие и практическое применение теории угона пути внес профессор А. Я. Коган, который определил, что для предотвращения угона пути необходимо обеспечить погонное сопротивление не менее 0,346 Н/м [12, 13].

Ниже приведены выдержки из источника [9], раскрывающие суть теории угона, разработанной В. Г. Альбрехтом.

«Если бы сопротивление перемещению рельса со стороны накладок в стыках было очень большим, то эпюра продольных сил в рельсах под движущимся поездом была бы такой, как это изображено на рис. 1.

Впереди движущегося поезда и под его первой частью образуется зона сжатия, а под хвостовой частью и сзади состава — зона растяжения. Силы наибольшего сжатия и растяжения рельсов в сечениях непосредственно впереди и сзади поезда при длине поезда 600 м, состоящего из однородных полногрузных четырехосных вагонов 83 т брутто (масса вагона), за вычетом погонного сопротивления, составляют

5 тс на длине звена 12,5 м, а наибольшая сила сжатия по обеим рельсовым нитям будет составлять

$$\frac{0,5 \cdot 600}{12,5} \cdot 5 = 120 \text{ т}$$

или по одной рельсовой нити 60 т».

**Результаты эксперимента на перегоне.** ЦП МПС поддержало инициативу работников кафедры «Путь и путевое хозяйство» НИИЖТ и разрешило заложить опытный участок температурно-напряженного бесстыкового пути без периодической разрядки температурных напряжений рельсовых плетей на грузонапряженном участке Западно-Сибирской железной дороги, где годовая амплитуда колебаний температуры рельсов составляла 110 °С, а грузонапряженность — 120 млн ткм/км брутто в год. Было также поручено установить наличие дополнительных продольных сил впереди тормозящего поезда и экспериментально определить их величину [14].

Ввиду отсутствия возможности уложить рельсовые плети традиционным способом пришлось применить следующую технологию. На рельсосварочном поезде (РСП) организовали сварку 100-метровых рельсов, которые грузили на семь четырехосных платформ, оборудованных роликами, перевозили и выгружали на месте производства работ, где они сваривались путевой рельсосварочной машиной (ПРСМ) до проектной длины.

После проведения подготовительных работ на третьем пути перегона Чик — Коченево Западно-Сибирской железной дороги 23 октября 1963 г. под руководством М. С. Боченкова был уложен бесстыковой путь с плетями типа Р65 длиной 800–900 м на щебеночном балласте и деревянных шпалах с раздельным скреплением. Уравнительные пролеты примыкали к концам рельсовых плетей восьмидырными

накладками. Уравнительные рельсы стыковались шестидырными накладками. При необходимости в устройстве изолирующего стыка применяли четырехдырные накладки объемлющего типа. Это позволяло обеспечивать, в отличие от существующих способов стыкования рельсовых плетей, одновременное раскрытие и закрытие зазоров уравнительного пролета в осенне-зимний и весенне-летний периоды соответственно.

Рельсовые плети стабильно работали зимой, угона не наблюдалось, зазоры в уравнительных пролетах не достигали конструктивных значений. Весной 1964 г. они были перезакреплены на постоянном режиме работы в расчетном интервале закрепления. Плетей и уравнительных пролетов надежно работали зимой и летом в момент наступления экстремальных температур. Рельсовые плети типа Р65 после пропуска 200 млн т брутто имели износ до 3 мм. В период проведения эксперимента, в июле 1965 г., максимальная температура рельсов достигала 57 °С. Вес опытного состава, сформированного из 19 восьмиосных, 5 шестиосных, 5 четырехосных вагонов и двух локомотивов ВЛ23, составлял 4650 т. При проезде состава без торможения дополнительных продольных сил угона впереди движущегося поезда обнаружено не было. Последовательное размещение в голове состава четырех- и шестиосных вагонов, а также восьмиосных вагонов никакого влияния на величину продольной силы не оказало. Скорости движения опытного состава непосредственно перед торможением составляли 60–70 км/ч. При этом как служебное, так и экстренное торможение применяли до полной остановки поезда. Опытный состав для осуществления очередного заезда с торможением возвращали по кольцу. Дополнительные продольные силы и перемещения, возникающие в рельсах от тормозящего поезда, измеряли в семи сечениях, расположенных друг от друга на расстоянии 5–10 м, по обоим рельсовым ниткам в средней неподвижной части плети и записывали с помощью двух осциллографов на фотобумагу. Средний крутящий момент затяжки клеммных болтов, определенный по результатам замеров динамометрическим ключом непосредственно перед экспериментом, составил 28,7 кНм, а среднеквадратическое отклонение крутящего момента оказалось равным 6,7 кНм.

Опытные сечения начинали перемещаться за 10–30 м до подхода тормозящего поезда, а величина их впереди поезда колебалась от 0,04 до 0,6 мм. В момент остановки опытного состава происходило перемещение в сторону, обратную движению поездов, на 0,03–0,5 мм. Величина продольной силы в смежных сечениях после остановки поезда, рассчитанная по разности их перемещений, составляла от 0,1 до 9,0 Н, что удовлетворительно согласуется с продольными

силами, зафиксированными в этот же момент в рельсе. Величина перемещений под тормозящим опытным составом, а следовательно, и величина продольной силы под ним оставались одинаковыми.

В процессе эксперимента было проведено 17 записей. При служебном и экстренном торможении опытного состава записано по 7 заездов, причем дополнительная продольная сила зафиксирована в одном и двух заездах. При торможении опытного состава в рельсовых плетях бесстыкового пути с мощным раздельным скреплением марки «К» значительных продольных сил не обнаружено. Головной локомотив опытного состава останавливали непосредственно на опытных сечениях и после их прохода на 150–250 м. Средняя величина дополнительной силы от тормозящего поезда составляла 3 кН. Максимальная продольная сила 5 кН зафиксирована всего лишь по одному разу в одном из сечений при служебном и экстренном торможении.

**Результаты эксперимента на станциях.** Для того чтобы внести ясность в вопрос, нарушится ли устойчивость бесстыкового пути на костыльном скреплении при действии продольных температурных сил в сочетании с продольными силами от тормозящего поезда, необходимо было экспериментально определить величину продольной силы впереди тормозящего поезда и под ним, а также величину продольных перемещений рельсовых плетей при экстренном торможении. Такой эксперимент был подготовлен автором и в 1965 г. проведен на бесстыковом пути станции Московка при участии специалистов путеепытательной лаборатории НИИЖТ.

Продольные перемещения и напряжения определяли в сечениях, разбитых через 20 м по одной рельсовой нити бесстыкового пути на протяжении 240 м от конца плети, и с помощью четырех осциллографов записывали на фотобумагу.

Продольные перемещения измеряли чувствительными прогибомерами конструкции путеепытательной лаборатории НИИЖТ, точность измерения которых равна 0,02–0,03 мм. Напряжения, возникающие в рельсах от тормозящего поезда, определяли при помощи тензодатчиков сопротивлений, которые наклеивали на нейтральной оси рельса. База датчиков — 30 мм, сопротивление — 200 Ом, напряжение — 18 В. При такой характеристике тензометрической аппаратуры была достигнута достаточная для проведения данного эксперимента точность, которая составляла 14 кг/см<sup>2</sup>. Тарировку датчиков напряжения производили путем нажатия рельсовой рубки с наклеенными датчиками на прессе с силой до 250 кН со ступенями через каждые 50 кН. На протяжении опытного участка было разбито четыре створа по обоим рельсовым ниткам для наблюдения за остаточными деформациями угона при интенсивном торможении.

Для проведения эксперимента был сформирован опытный состав из 19 нагруженных до нормы и тщательно взвешенных восьмиосных вагонов и двух секций тепловоза ТЭ2 весом 3230 т и длиной 385 м. Проход колес подвижного состава фиксировали по всплескам на записи напряжений и перемещений рельсовой плети. Осциллографы включали по сигналу, когда состав находился на расстоянии 150–250 м от опытных сечений. Каждый заезд записывали до полной остановки поезда. В период эксперимента заезды опытного состава осуществляли со скоростями 35–50 км/ч с экстренным торможением до полной остановки его над разбитыми сечениями. Кроме того, шесть записей было произведено при проезде состава без торможения. Скорости движения поезда определяли при помощи осциллографа по всплескам, получающимся при записи напряжений и перемещений, и контролировали по лентам скоростимера. Опытный состав двигался «челноком», а каждый заезд фиксировали в специальном журнале.

Техническая характеристика 6-го станционного пути: рельсы типа Р50 с износом до 3 мм, шпалы деревянные, балласт асбестовый; скрепление нераздельное, костыльное; противоугоны пружинные; плети длиной 700 м уложены и закреплены в июле 1963 г.

Первый комплекс эксперимента проводили при ослабленных противоугонах и погонном сопротивлении до 0,1 Н/м. В сечениях, расположенных через 20 м, замеряли и записывали на осциллограмму перемещения и продольные силы, возникающие впереди тормозящего опытного состава. Средняя величина продольной силы по результатам 10 заездов составила 19 кН, а продольные силы от тормозящего опытного состава зафиксированы в рельсах за 20–100 м до подхода поезда.

Второй комплекс эксперимента осуществляли после подкрепления противоугонов на рельсовых плетях при погонном сопротивлении до 0,5–0,6 Н/м по

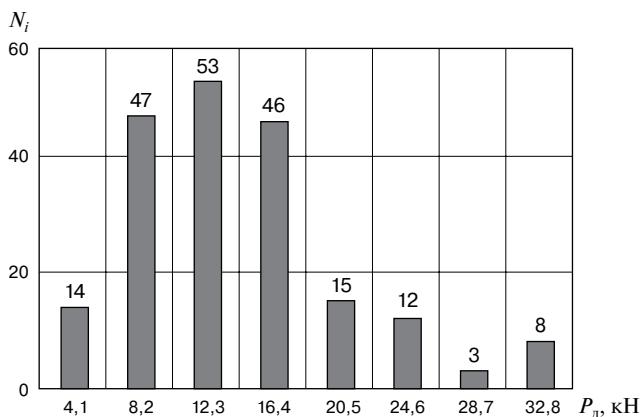


Рис. 2. График частоты  $N$  появления продольной силы  $P_d$  впереди тормозящего поезда  
 Fig. 2. Diagram of  $N$  frequency of axial force resistance  $P_d$  in front of braking train

одной рельсовой нитке. При этом наблюдалось резкое снижение перемещений. Так, например, средняя зарегистрированная величина продольной силы по результатам 10 заездов после подкрепления противоугонов снизилась почти вдвое и составила 10 кН.

При последующих заездах опытного состава с экстренным торможением отмечалось постепенное увеличение перемещений и продольной силы. Так, например, средняя величина продольной силы от тормозящего поезда по результатам 15 последующих заездов достигала уже 15,4 кН. Причем с увеличением числа заездов продольная сила увеличивалась и среднее ее значение по последним пяти заездам превышало 20 кН.

Увеличение дополнительной продольной силы происходило за счет расшатывания рельсошпальной решетки и уменьшения погонного сопротивления при торможении опытного состава до полной остановки на бесстыковом пути с последующим осаживанием поезда на горку для проведения очередного заезда. Возвращенная назад рельсошпальная решетка при торможении в последующих заездах продвигалась вперед, и в результате действия продольных сил происходило некоторое смещение противоугона по подошве рельса. Причем с каждым последующим заездом амплитуда перемещения рельсошпальной решетки увеличивалась, вызывая вместе с этим увеличение продольной силы впереди тормозящего состава. Особенно ярко это проявлялось в середине рельсовых плетей, где закрепление противоугонами произведено только от угона.

При проходе каждой тележки восьмиосных вагонов рельсошпальная решетка перемещалась примерно на 0,1–0,16 мм. В момент остановки опытного состава происходило ее упругое перемещение в сторону, обратную движению поезда, на 0,1–0,2 мм. Величина перемещений опытных сечений рельсовой плети удовлетворительно согласовывалась с продольными силами, возникающими в этих сечениях от тормозящего поезда, которые, как правило, увеличивались по мере удаления от конца рельсовой плети. Согласно замерам перемещения рельсовых плетей относительно створов от тормозящего поезда уменьшались по мере приближения к концу плети. Перемещений конца рельсовой плети в нижней части подгорочного парка относительно створа не наблюдалось.

Обработка статистических данных 35 заездов опытного состава показала, что средняя арифметическая величина продольной силы от тормозящего поезда весом 3230 т равна 14 кН. Закон распределения экспериментальных значений продольной силы угона приведен на рис. 2. Распределение опытных данных соответствовало критериям нормального закона распределения, что позволило построить гауссовскую кривую и воспользоваться формулами для расчета показателей.

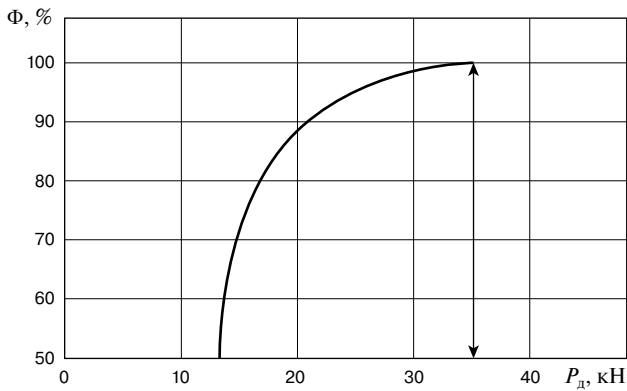


Рис. 3. Вероятность  $\Phi$  (%) появления продольной силы  $P_d$  впереди тормозящего поезда  
 Fig. 3. Probability  $\Phi$  (%) of occurrence of axial force  $P_d$  in front of braking train

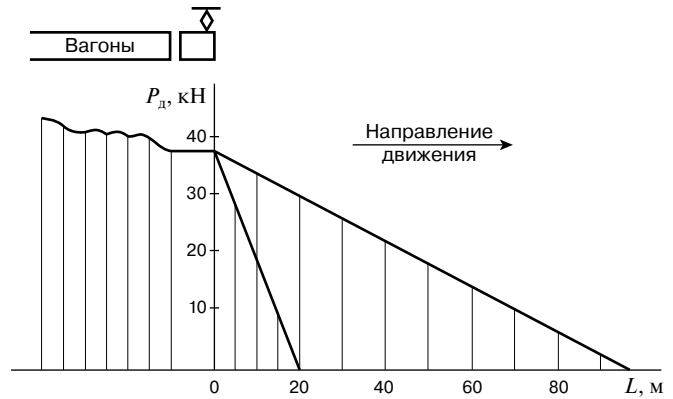


Рис. 4. Эпюра продольных сил впереди тормозящего поезда  $P_d$   
 Fig. 4. Axial forces diagram in front of braking train  $P_d$

Среднеквадратическое отклонение составило 8 кН, дисперсия — 64 кН<sup>2</sup>. При вероятности 0,994 расчетную продольную силу от тормозящего поезда в процентах характеризует график, приведенный на рис. 3.

Принимая вероятность появления дополнительной продольной силы 99,4 %, получим, что расчетная продольная сила, возникающая в одной рельсовой нитке от тормозящего поезда, составляет примерно 35 кН. Продольную дополнительную силу в пути от тормозящего поезда, достигающую 70 кН, необходимо учитывать при анализе работоспособности бесстыкового пути с костыльным скреплением.

Продольные силы под поездом в процессе торможения по мере прохода подвижного состава по опытному сечению несколько возрастали, но, как правило, в момент остановки поезда продольная сила возрастала интенсивнее, достигая в отдельных случаях 30–35 кН по одной рельсовой нитке. Дополнительные силы в опытных сечениях при остановке возрастали по-разному, но в любом случае величина скачка не превышала 5–10 кН. Эпюра продольных сил впереди поезда по одной рельсовой нитке приведена на рис. 4.

Ввиду небольшого количества данных по каждому сечению в отдельности не представляется возможным проводить обработку методами математической статистики, поэтому ограничимся нахождением только средних величин.

На рис. 5 представлены средние величины дополнительных продольных сил в разных сечениях рельсовой плети в момент остановки опытного состава при ослабленных противоугонах (I) и после их подкрепления (II). Как видно из графика, дополнительные продольные силы увеличивались по мере удаления от конца плети и оказывались наибольшими в месте перехода закрепления рельсовых плетей от угона к защемлению их с обеих сторон на каждой шпале. Дополнительные продольные силы на конце плети, где в основном производилась остановка поездов при ослабленных противоугонах, не превышали 5 кН,

а после подкрепления противоугонов снижались до 2–4 кН, что, безусловно, можно не принимать во внимание.

Результаты эксперимента показали, что во всех случаях торможения поезда, включая экстренное торможение, не было отмечено действия в пути значительных продольных сил, которые уменьшались с увеличением погонного сопротивления по мере приближения к концу рельсовой плети.

Необходимо уделять внимание нормальной работе противоугонов, планируя весной и осенью сплошную добивку костылей и подкрепление противоугонов с обязательной заменой негодного скрепления.

**Выводы.** На основании анализа результатов эксперимента и опыта эксплуатации рельсовых плетей на опытном участке Западно-Сибирской железной дороги можно сделать следующие основные выводы и рекомендации.

1. В рельсовых плетях бесстыкового пути температурно-напряженного типа без разрядки температурных напряжений на раздельном скреплении дополнительных продольных сил впереди тормозящего поезда не отмечено.

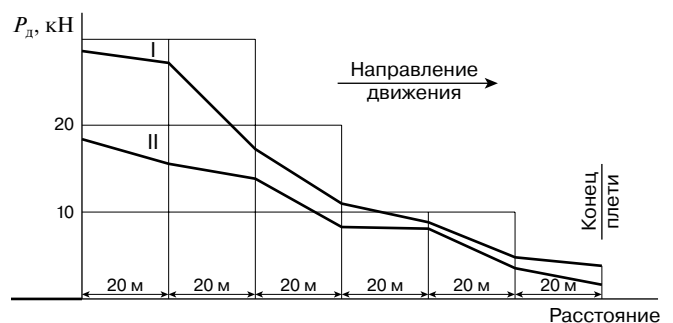


Рис. 5. Дополнительные продольные силы на конце плети в момент остановки поезда: I — при ослабленных противоугонах; II — после подкрепления противоугонов  
 Fig. 5. Additional axial forces at the string end at the time of train stop: I — with loosened rail creep adjusters; II — after tightening of rail creep adjusters

2. Эксперимент подтвердил возможность укладки и нормальной эксплуатации бесстыкового пути на всей сети железных дорог МПС СССР, увеличив вдвое возможный полигон укладки бесстыкового пути. В настоящее время бесстыковой путь лежит на всех железных дорогах во всех климатических зонах.

3. Широкое внедрение в практику эксплуатации поездов массой 7100 т, пропуска соединенных поездов массой 12 600 и 14 200 т требует повышенного внимания к параметрам взаимодействия пути и таких поездов. Принципиально новым параметром взаимодействия пути с поездами повышенной массы, ведомыми современными мощными локомотивами, могут оказаться повышенные продольные силы, способные вызывать угон пути, создавать угрозу выброса бесстыкового пути летом и разрывов плетей зимой.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Матвеев В. И. О работе 25-метровых рельсов // Путь и путевое хозяйство. 1991. № 3. С. 26–27.
2. Боченков М. С., Матвеев В. М. Технические условия на укладку и содержание рельсов длиной 25 метров. Новосибирск, 1967. 16 с.
3. Матвеев В. И. Длина рельсов в подгорочных парках // Путь и путевое хозяйство. 1966. № 12. С. 29–31.
4. Матвеев В. И. Особенности укладки и содержания длиномерных рельсов в условиях Сибири: лекции для слушателей заоч. курсов повышения квалификации ИТР / под ред. П. В. Мирошина. Новосибирск: Новосиб. ин-т инженеров ж.-д. транспорта, 1968. 43 с.
5. Альбрехт В. Г., Боченков М. С., Матвеев В. И. Какой длины сварные рельсовые плети рационально укладывать на

станционных путях // Железнодорожный транспорт. 1964. № 2. С. 54–56.

6. Матвеев В. И. Исследование работы длинных рельсов и бесстыкового пути на станциях в условиях Урала и Сибири: дис. ... канд. техн. наук: 432 — ж.-д. путь. Новосибирск: Новосиб. ин-т инженеров ж.-д. транспорта, 1967. 19 с.

7. Матвеев В. И. Бесстыковой путь на станции // Железнодорожный транспорт. 1975. № 11. С. 50–52.

8. Мищенко К. Н. К вопросу о продольном уgone пути // Труды ДИИТа. М.: Трансжелдориздат, 1948. Вып. 19. С. 240–256.

9. Альбрехт В. Г. Угон железнодорожного пути и борьба с ним. М.: Трансжелдориздат, 1958. 143 с.

10. Карпушенко Н. И. Надежность связей рельсов с основанием. М.: Транспорт, 1986. 148 с.

11. Боченков М. С. Угон пути, возникающий в результате продольных перемещений подошвы рельса при его изгибе подвижной нагрузкой // Труды НИИЖТА. Новосибирск, 1966. Вып. 58. 144 с.

12. Коган А. Я. Продольные силы в железнодорожном пути. М.: Транспорт, 1967. 168 с.

13. Альбрехт В. Г., Коган А. Я. Угон железнодорожного пути и борьба с ним. М.: Транспорт, 1996. 160 с.

14. Боченков М. С., Матвеев В. И. Работа длиномерных рельсов и бесстыкового пути в условиях Сибири и Урала // Путь и путевое хозяйство: сб. рефератов научно-исследовательских работ в области путевого хозяйства, выполненных в 1965 г. М.: Центр. ин-т науч.-техн. информ. и пропаганды ж.-д. трансп., 1966. Вып. 25. С. 76–81.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

**МАТВЕЕВ Виктор Иванович**,  
канд. техн. наук, доцент,  
профессор кафедры «Проектирование, строительство  
и эксплуатация транспортных объектов», БелГУТ

Статья поступила в редакцию 11.04.2019 г., принята к публикации 27.07.2019 г.

## Experimental determination of longitudinal forces in front of braking train

V. I. MATVETSOV

Belarusian State University of Transport (BSUT), Gomel, 246653, Republic of Belarus

**Abstract.** The number of regularities detected in the experiments described by the author confirms that, despite of the differences in operating conditions between the middle of the 20<sup>th</sup> century and the present days, the methods of research and assessment of obtained results are still relevant.

Features of the superstructure and track operation at the initial stage of introduction of the welded rails and continuously welded rail strings on the railways of the USSR are examined. It is demonstrated that axial displacement forces are occurred during the train movement, which are one of the most dangerous processes taking place in the track during the rolling stock movement. Axial displacement forces are manifested in the axial displacement of rails on the sleepers or displacement of rails with sleepers on the ballast. Knowledge of axial forces resulted from displacement of one rail line or the entire track is required for competent planning of installation and operation of the jointed rail track and continuously welded rail track, especially in the conditions of the Urals and Siberia. Methods and experimental results are provided for determination of additional axial forces acting in the track at the spike fastening and the individual intermediate fastening in front of braking train at the experimental sections of the continuously

welded rail track in severe climatic conditions of the West-Siberian railway, where the annual fluctuations of the rail temperature amount to 110°C.

The following conclusions are made based on the analysis of the experiment results and experience of operation of the continuously welded rail strings:

- no additional axial forces in front of braking train were detected in the continuously welded rail strings of the thermal-stressed type without any release of thermal stresses on the independent fixation;
- experiment confirmed possibility of installation and normal operation of continuously welded rail track on the entire network of railways of the Ministry of Transportation of the USSR;
- recent wide introduction of trains of 7,100 t, combined trains of 12,600 and 14,200 tons require special attention to parameters of interaction of track and trains.

**Keywords:** railway track; wooden and reinforced concrete sleepers; welded rails 50, 75 and 100 m long; string truck; strings of welded rails; continuous welded rail track; track displacement; displacement forces; braking train; additional longitudinal forces

**DOI:** <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2019-78-6-358-365>

## REFERENCES

1. Matvetsov V.I. *O rabote 25-metrovyykh rel'sov* [Operation of 25-meter rails]. Railway track and facilities, 1991, no. 3, pp. 26–27.
2. Bochenkov M.S., Matvetsov V.M. *Tekhnicheskiye usloviya na ukladku i soderzhaniye rel'sov dlinoy 25 metrov* [Technical specifications for installation and servicing of rails of 25 m long]. Novosibirsk, 1967, 16 p.
3. Matvetsov V.I. *Dlina rel'sov v podgorochnykh parkakh* [Rail length at the hump yards]. Railway track and facilities, 1966, no. 12, pp. 29–31.
4. Matvetsov V.I. *Osobennosti ukladki i soderzhaniya dlinnomernyykh rel'sov v usloviyakh Sibiri*. Lektsii dlya slushateley zaoch. kursov povysheniya kvalifikatsii ITR [Features of installation and servicing of the long-length rails in the conditions of Siberia]. Lectures for students of correspondent courses of in-service training of engineering and technical personnel]. Ed. by P.B. Miroshin. Novosibirsk, Novosibirsk Institute of Railroad Engineers, 1968, 43 p.
5. Al'brekht V.G., Bochenkov M.S., Matvetsov V.I. *Kakoy dliny svarnyye rel'sovyie pleti ratsional'no ukladyvat' na stantsionnykh putyakh* [What is the best length of rails to install at the stations tracks]. Zheleznodorozhnyy transport, 1964, no. 2, pp. 54–56.
6. Matvetsov V.I. *Issledovaniye raboty dlinnykh rel'sov i besstykovogo puti na stantsiyakh v usloviyakh Urala i Sibiri*. Kand. tekhn. nauk diss. [Examination of operation of the long-length rails and continuous welded rails at the stations in the conditions of the Urals and Siberia. Cand. tech. sci. diss.]. Novosibirsk, Novosibirsk Institute of Railroad Engineers, 1967, 19 p.
7. Matvetsov V.I. *Besstykovoy put' na stantsii* [Continuous welded rail at the station]. Zheleznodorozhnyy transport, 1975, no. 11, pp. 50–52.
8. Mishchenko K.N. *K voprosu o prodol'nom ugone puti* [The issue of longitudinal track creeping]. Works of Dnepropetrovsk Institute of Railroad Engineers. Moscow, Tranzzheldorizdat Publ., 1948, Issue 19, pp. 240–256.

■ E-mail: matvecov@rambler.ru (V.I. Matvetsov)

9. Al'brekht V.G. *Ugon zheleznodorozhnogo puti i bor'ba s nim* [Railway creeping and fight with it]. Moscow, Tranzzheldorizdat Publ., 1958, 143 p.
10. Karpushenko N.I. *Nadezhnost' svyazey rel'sov s osnovaniyem* [Reliability of rails connection with the base]. Moscow, Transport Publ., 1986, 148 p.
11. Bochenkov M.S. *Ugon puti, voznikayushchiy v rezul'tate prodol'nykh peremeshcheniy podoshvy rel'sa pri ego izgibe podvizhnoy nagruzkoj* [Railway creeping resulted from longitudinal movements of the rail base during bending by means of the rolling load]. Proc. of Siberian Transport University, Novosibirsk, 1966, Issue 58, 144 p.
12. Kogan A.Ya. *Prodol'nyye sily v zheleznodorozhnom puti* [Longitudinal forces in the railway track]. Moscow, Transport Publ., 1967, 168 p.
13. Al'brekht V.G., Kogan A.Ya. *Ugon zheleznodorozhnogo puti i bor'ba s nim* [Railway creeping and fight with it]. Moscow, Transport Publ., 1996, 160 p.
14. Bochenkov M.S., Matvetsov V.I. *Rabota dlinnomernyykh rel'sov i besstykovogo puti v usloviyakh Sibiri i Urala* [Operation of the long-length rails and continuous welded rails in the conditions of Siberia and Urals]. Put' i putevoye khozyaystvo. Sb. referatov nauchno-issledovatel'skikh rabot v oblasti putevogo khozyaystva, vypolnennykh v 1965 g. [Track and track economy. Coll. of abstracts of scientific and research proc. in the area of railway facilities performed in 1965]. Moscow, Tsentr. in-t nauch.-tekhn. inform. i propagandy zh.-d. transp., 1966, Issue 25, pp. 76–81.

## ABOUT THE AUTHOR

**Viktor I. MATVETSOV,**

Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor,  
Professor of the Department "Design, Construction  
and Operation of Transportation Facilities",  
Belarusian State University of Transport (BSUT)

Received 11.04.2019

Accepted 27.07.2019

## ВЫШЛИ В СВЕТ ТРУДЫ ВНИИЖТ

**АСУ «Экспресс» — автоматизированная система управления пассажирскими перевозками на железнодорожном транспорте** / под ред. А. В. Комиссарова. 2-е изд. М.: РАС, 2019. 68 с.

Коллектив авторов: Г. А. Антонова, А. С. Бабенко, М. П. Берёзка, М. И. Бобренкова, Ю. А. Гаврина, Т. В. Гнисиюк, М. А. Гупаленко, В. А. Добычина, С. Б. Елизаров, Н. Б. Караванова, Т. А. Карпеева, А. В. Комиссаров, С. П. Кузякова, Е. Ю. Лёон, Н. Э. Магура, Е. А. Макарова, Е. А. Мартынова, О. В. Минаева, С. В. Муктепавел, О. В. Реванченкова, А. П. Рубинская, Е. М. Сивинцева, И. Н. Спесивцева, Е. И. Стасенкова, К. В. Суржин, М. В. Толмачёва, Г. М. Турсуматова, Е. В. Успенская.

В книге рассмотрены бизнес-процессы пассажирских перевозок с использованием автоматизированной системы управления пассажирскими перевозками «Экспресс-3».

Во втором издании актуализированы и расширены описания текущего состояния информационных технологий системы «Экспресс-3», книга стала более удобной для чтения.

Издание предназначено для руководителей и инженерно-технического состава пассажирского комплекса; специалистов, связанных с разработкой и внедрением информационных технологий на российских железных дорогах; научных работников, преподавателей и студентов транспортных вузов.

По вопросам приобретения книг обращаться по адресу: 129626, г. Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10, редакционно-издательский отдел АО «ВНИИЖТ».

Тел.: (499) 260-43-20, e-mail: rio@vniizht.ru, www.vniizht.ru.

**Певзнер В. О.** Научные основы системы управления состоянием пути. М.: РАС, 2018. 272 с.

Рассмотрены цели и задачи систем управления состоянием пути, организации технического обслуживания пути, методы оценки воздействия подвижного состава на путь и возможности их совершенствования, вопросы работы пути в условиях повышения осевых нагрузок подвижного состава, опыт унификации ширины колеи на «Российских железных дорогах» и оптимизации возвышения наружного рельса в кривых, перспективные направления совершенствования системы оценки состояния пути и его технического обслуживания.

**Вопросы развития железнодорожного транспорта:** сб. тр. ученых АО «ВНИИЖТ» / под ред. М. М. Железнова, Г. В. Гогричиани. М.: РАС, 2017. 272 с.

Рассмотрены важные экономические факторы, влияющие на развитие железнодорожного транспорта, проблемы, связанные с подвижным составом, тягой поездов, а также вопросы пути, путевого хозяйства и металловедения.

Сборник рассчитан на научных и инженерно-технических работников железнодорожного транспорта.