

Многофункциональное подрельсовое устройство для укладки временного железнодорожного пути на неподготовленную поверхность



А. В. Сычева,
канд. техн. наук,
докторант Российского
университета
транспорта (МИИТ)

Строительство железнодорожных путей на постоянной основе требует значительных затрат и часто неэффективно, если ветка используется для разовых перевозок, например, в особых климатических зонах, в ходе ликвидации чрезвычайных ситуаций, в рамках специальных военных операций и др. В этой связи актуальной является задача укладки временного пути на неподготовленную поверхность.

В основе предлагаемого временного железнодорожного пути для укладки на неподготовленную поверхность лежит подрельсовое устройство оригинальной конструкции. Оно должно быть многофункциональным, обеспечивая решение комплекса технологических задач формирования железнодорожного пути оперативного развертывания для доставки груза от разрушенного моста к ближайшей понтонной переправе без его перегруза из эшелона, или к местам временного размещения груза на небольших расстояниях от железной дороги, при скрытой доставке груза особого назначения вглубь неосвоенной территории в сторону от магистральной железной дороги, в том числе при спасательно-восстановительных работах, в условиях крайнего севера на грунтах вечной мерзлоты, в болотистой труднопроходимой местности и т. д.

При этом разрабатываемое подрельсовое основание с целью повышения эффективности его использования должно выполнять функции оперативного выравнивания рельсовой нити магистральных железных дорог при обнаружении сверхнормативных просадок и формирования переходных участков пути перед искусственными сооружениями с плавной изменяемой регулируемой жесткостью.

Таким образом, подрельсовое устройство должно отвечать следующим требованиям:

1. Поверхность, на которую укладывается временный путь, неподготовлена

или подготовлена частично, например, расчисткой трассы от деревьев, кустарников, естественных препятствий.

2. Укладка осуществляется вручную с помощью переносных средств малой механизации.

3. Формирование временного пути осуществляется из отдельных модулей.

4. Оперативное регулирование рельсовой нити происходит по уровню.

5. Возможно оперативное изменение жесткости железнодорожного пути, сформированного из модулей.

6. Достигается снижение вибрационно-ударного воздействия колеса на рельс.

Особенность пути определяется тем, что его верхнее строение, как скелет упругих элементов (рис. 1, а), заменяется на многофункциональное подрельсовое устройство с вязким элементом (рис. 1, б, в). При этом предлагается применить конструкцию с ньютоновской жидкостью, в которой вязкие напряжения, возникающие при ее течении, в каждой точке линейно коррелировались бы с локальной скоростью изменения деформации во времени.

Тогда силы воздействия на путь будут пропорциональны скорости изменения вектора скорости жидкости по мере удаления от рассматриваемой точки воздействия колеса в различных направлениях. Обычно в этом случае применяются модели Кельвина — Фойгта, Максвелла [1]. Модель Кельвина — Фойгта представлена вязким демпфером и упругой пружиной, соединенными параллельно (рис. 1, б).

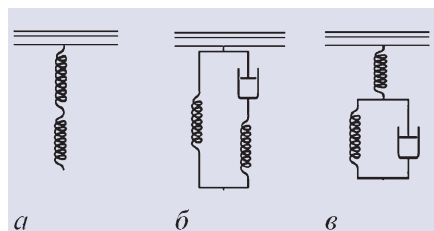


Рис. 1. Схемы железнодорожного пути в виде систем взаимосвязанных упругих и упруговязких элементов: а — последовательное соединение упругих элементов; б — параллельное соединение вязких и упругих элементов (модель Фойгта); в — последовательное соединения вязких и упругих элементов (модель Максвелла)

Последовательное соединение этих элементов описывается моделью Максвела (рис. 1, в).

Таким образом, вместо традиционной модели железнодорожного пути [2] предлагается модель, содержащая вязкий элемент, связанный с упругим элементом последовательно или параллельно.

В этом случае обеспечивается возможность укладки устройства на неподготовленную поверхность с последующим регулированием упругодемпфирующих элементов. Тогда зависимость динамической нагрузки на рельс и деформации рельсовой нити, приведенная на рис. 2, а, показывает, что эта зависимость для случая на рис. 1, а будет прямой и при снятии нагрузки P после прохождения колесной пары рельсовая нить возвращается в исходное положение.

Появление вязкого элемента в схемах железнодорожного пути (см. рис. 1, в) вызовет появление петель гистерезиса (рис. 2, б), где по оси ординат P сила от взаимодействия колеса и рельса, лежащего на подрельсовом основании, вызывает деформацию железнодорожного пути X .

Форма кривой деформации (рис. 2, б) будет зависеть от нагрузки P и выбранной модели. При этом модель может быть выбрана как в классическом изложении (см. рис. 1, б, в), так и в виде сочетания различных моделей Фогта и Максвела [3].

В этом случае одной из промежуточных задач обоснования конструкции подрельсового устройства является подбор значений параметров упругости и вязкости элементов таким образом, чтобы их деформации примерно совпадали. В противном случае такой элемент будет вести себя либо как отдельный упругий элемент, либо как чисто вязкий элемент. Эта задача поставлена и в первом приближении решена в работе [4].

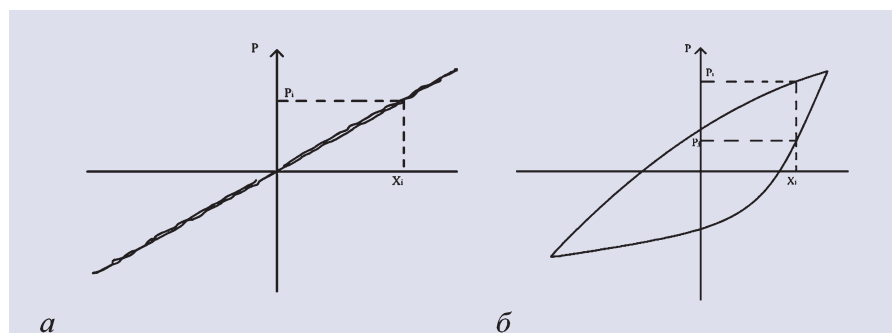


Рис. 2. Зависимость динамической нагрузки и деформации рельсовой нити: а — на подрельсовом основании традиционной конструкции пути; б — на подрельсовом основании с вязким элементом

В полученном вязкоупругом «скелете» пути упругий элемент будет восстанавливаться после нагрузки от подвижного состава быстрее, а вязкий элемент — медленнее, а при циклической нагрузке от подвижного состава в вязкоупругой конструкции за счет возникшей разности фаз (гистерезиса) произойдет рассеивание механической энергии от возникшей нагрузки. Поэтому жесткость пути будет изменена, а ударные воздействия колес о рельс при движении подвижного состава — погашены [5].

Таким образом, наличие вязкого элемента в подрельсовом основании, погашая ударные воздействия колес на рельс, позволяет оперативно выравнять положение рельсовой нити по уровню, регулировать жесткость железнодорожного пути, в том числе при приближении к искусственным сооружениям.

На основе предлагаемого многофункционального подрельсового устройства формируется комплект многоразового использования подрельсовых устройств и мерных рельсов с набором соответствующих креплений в виде модулей, вручную укладываемых на неподготовленную поверхность. Этот комплект предназначен для инженерно-саперных подразделений

министерства обороны, восстановительных поездов ОАО «РЖД», линейных подразделений путевого хозяйства, поддерживающих работоспособность железнодорожного пути (в единичных экземплярах).

Конструкции многофункционального подрельсового устройства содержат многослойную эластичную оболочку из высокопрочной кордовой ткани, наполняемой воздухом от внешнего источника. При этом оболочка усиливается упрочняющими поясами.

На рис. 3, а, б приведены упрощенные схемы многофункциональных подрельсовых устройств с регулируемыми параметрами жесткости и уровнем с использованием моделей Фогта и Максвела. На рис. 3, а устройство содержит короб, в который вставляются оболочки. Стойки 1 короба 2 устанавливаются на неподготовленную поверхность, и короб крепится от смещения. В него укладывается оболочка 6, наполняемая воздухом, и на нее — мерный рельс 5 с подкладкой 4 или увеличенной подошвой. Наполнение оболочки осуществляется через отверстия 3. Регулируя давление в оболочке, устанавливают уровень рельсов.

Короб выполнен сборно-разборный с перфорированными стенками для

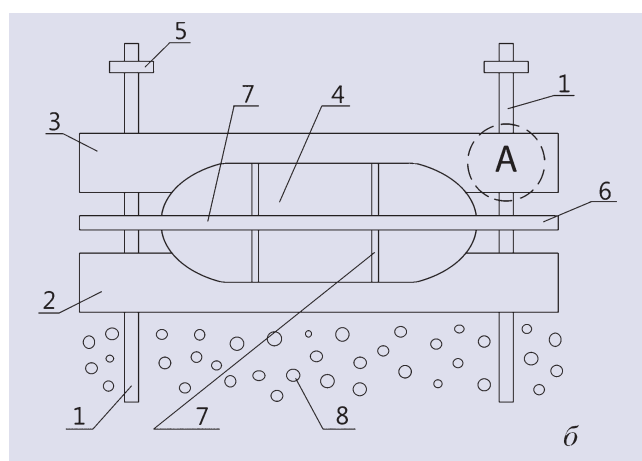
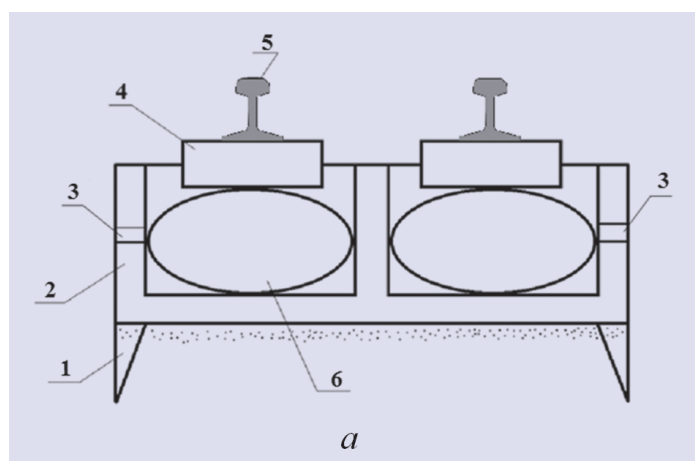


Рис. 3. Упрощенные схемы вариантов подрельсовых устройств: а — вариант в виде короба; б — вариант из двух плит

снижения веса и снабжен монтажными устройствами для его транспортировки, укладки и закрепления на укладываемой поверхности. Верхняя опорная плита установлена на эластичную герметичную оболочку с возможностью перемещения между верхними и нижними упорами, установленными на стенках корпуса. При этом упоры установлены с возможностью ограниченного перемещения в вертикальной и горизонтальной относительно рельса плоскостях.

Рабочая среда является вязкой средой, изменение давления которой обеспечивает изменение вязкоупругих свойств эластичной герметичной оболочки [6].

На рис. 3, б приведен вариант устройства с плитами (прокладками): 2 — нижняя, 3 — верхняя, между ними размещена оболочка 4 с упрочняющими поясами 7 и проушинами 6 для ее крепления от смещения с помощью стержня 1, проходящим через проушину и обе плиты и закрепляемую на неподготовленной поверхности.

Оболочка выполнена с отверстиями, через которые от внешнего агента принудительно поступает наполнитель в виде воздуха. Оболочка расширяется при увеличении объема наполнителя и утончается при истечении наполнителя под воздействием внешнего давления. Устройство укладывается через нижнюю прокладку (плиту) на естественную или искусственную опоры железнодорожного пути и взаимодействует с рельсом через верхнюю прокладку.

Оболочка выполняется со множеством внутренних оболочек, по отношению к которым она будет внешней. Причем внутренние оболочки выполнены из эластичного материала, раздуваемого под давлением, а внешняя — из износостойкого, например, резинокордового.

Внутренние оболочки связаны с источником рабочего агента и атмосферой штутцером и клапаном, резьбовыми втулками, оборудованными на внешней поверхности оболочки и связанной с внутренней оболочкой системой рукавов. Нижняя часть нижней поверхности внешней оболочки выполнена в виде протектора, что позволит дополнительно усилить сопротивление перемещению оболочки в горизонтальной плоскости. Верхняя часть верхней поверхности внешней оболочки оборудована грузонесущей площадкой.

Для повышения устойчивости конструкции прокладка и оболочка связываются между собой и опорой стержнями,

вставляемыми в сквозные отверстия прокладок и оболочки и устанавливаемые в опоре. Размер стержня в сечении прокладки меньше, чем размер отверстия, на величину, позволяющую стержню и прокладке свободно перемещаться относительно друг друга. В результате сборно-разборная конструкция легко монтируется и демонтируется.

Таким образом, модульный принцип формирования временного железнодорожного пути для неподготовленной поверхности заключается в разработке стандартных отрезков мерных рельсов и подрельсовых оснований, укладываемых вручную.

Модуль состоит из двух основных элементов: многофункционального подрельсового устройства, укладываемого на неподготовленную поверхность; мерного рельса, укладываемого на это подрельсовое устройство [7]. Мерные рельсы имеют длину не более 6 м, их вес позволяет не нарушать нормы охраны труда при транспортировке груза вручную. Концы рельсов опираются на подрельсовые устройства.

Технология укладки подрельсового устройства заключается в следующем. На неподготовленную поверхность укладывается подрельсовое устройство, содержащее опорные плиты: нижнюю, взаимодействующую с поверхностью; верхнюю, взаимодействующую с мерным рельсом и корпусом устройства.

После укладки концов мерных рельсов на подрельсовые устройства в стык к первому модулю укладывается второй, так же, как и первый, выравнивается и скрепляется, пока не будет сформирован весь путь протяженностью от 100 м до 2–4 км.

Вспомогательные технологические функции многофункционального подрельсового устройства заключаются в реализации технологии временного выравнивания рельсовой нити для оперативного исправления сверхнормативных отклонений рельсовой нити по уровню до назначения технологического перерыва в движении для выполнения работ по устранению причины появления дефекта.

Неисправности уровня рельсовой нити обычно вызваны дефектами в балластном слое и устраняются согласно нормативным документам ОАО «РЖД» известными способами: подсыпкой балласта, выправкой, подбивкой пути, укладкой подкладок и т. п., что вызывает необходимость длительных ограничительных мер в перевозочном процессе.

Укладка подрельсового основания в качестве подкладки под «провисшим» рельсом, как временная мера, позволяет, сохранив параметры перевозочного процесса, подготовиться к плановому технологическому перерыву для устранения причины возникшей неисправности рельсовой нити.

Технология временного выравнивания рельсовой нити заключается в следующем. Отрывают концы шпал, рельсовую нить поднимают с помощью путевых домкратов, под рельс на балласт укладывается нижняя плита и фиксируется от смещения в балласте с помощью направляющих стержней. На нижнюю плиту устанавливают опору с регулируемым подъемом по высоте, например, оболочкой (рис. 4, б), или же в данном случае, поскольку регулирование жесткости не требуется, на опору свободно укладывается верхняя плита. Опора, изменяя высоту верхней плиты, доводит ее до соприкосновения с подошвой рельса и блокируется от несанкционированного перемещения.

Жесткость участка пути, примыкающего к искусственному сооружению, отличная от жесткости на искусственном сооружении, вызывает необходимость регулировать модуль упругости участка пути для улучшения динамических характеристик взаимодействия с подвижным составом.

Изменять жесткость конструкции, состоящей из упругих элементов, собранных в виде упругого скелета, возможно только посредством замены элемента одной формы или материала на другой элемент с другой формой или изготовленных из другого материала. Поэтому с целью снижения объемов работ по модернизации пути предлагается модуль из подрельсовых оснований и мерных рельсов, укладываемый вручную временно на неподготовленную поверхность.

Многофункциональное подрельсовое устройство позволяет оперативно менять модуль упругости, регулируя жесткость участка пути в зависимости от эксплуатационных требований к участку и подвижному составу, проходящему по участку [8].

Конструктивно на переходном участке укладывают многофункциональные подрельсовые устройства взамен стандартных шпал или под стандартные шпалы, регулируя упруговязкие свойства изменением давления в оболочке. Шпалы поднимают и под них подкладывают оболочки, наполняемые от внеш-

него агента наполнителем, преимущественно воздухом, под давлением которого меняются вязкоупругие свойства железнодорожного пути и жесткость каждой шпалы, опирающейся на оболочку равномерно по всей длине переходного участка.

Из множества N шпал, уложенных на оболочки с наполнителем, формируется блок с возможностью изменения в оболочке давления и регулирования жесткости конструкции «рельс — шпала — оболочка — балласт». Блок состыкован с участком эксплуатируемого железнодорожного пути с жесткостью K_0 и участком искусственного сооружения, например, на мосту с жесткостью K_k . Тогда, меняя давление в оболочках под каждой шпалой, устанавливаем жесткость K_i из уложенных N как: $K_i = K_{i-1} \pm (K_0 - K_k)/N$.

Железнодорожный путь выполнен в виде блока с подрельсовыми основаниями с жесткостью, возрастающей по мере приближения к искусственному сооружению до величины, равной жесткости лежащего на нем участка пути. Способ формирования блок-участка пути регулируемой переменной жесткости заключается в укладке под шпалу оболочки, принудительно наполняемой от внешнего агента наполнителем, создавая в ней заданное или рассчитанное давление.

Переходной участок пути с распределенной жесткостью, равномерно изменяющейся в направлении от одного участка к другому, формируется оперативно без изменения конструкции пути. При этом в конструкции пути его элементы не меняются, капитальные вложения не требуются, прокладки укладываются в объеме работ, соответствующих объему работ по текущему содержанию пути, при этом жесткость пути распределяется равномерно, что позволяет избежать толчков и ударов.

В основе конструкции многофункционального подрельсового устройства лежит концепция объединения в одном конструктивном опорном подрельсовом устройстве вязкого и упругого элементов, вязкие и упругие параметры которых подбираются под заданную технологию использования.

Помимо указанных способов в единичных экземплярах многофункциональное подрельсовое устройство может применяться: для временного восстановления движения при обнаружении сверхнормативной просадки рельсовой нити, требующей прерывания движе-



Рис. 4. Прототип подрельсового основания с переменной жесткостью

ния; для регулирования жесткости пути на участках перед искусственными сооружениями для повышения плавности хода.

Преимущества укладки устройства в сравнении с укладкой железнодорожного пути стандартной конструкции:

- укладка вручную на неподготовленную поверхность в течение 30–60 мин блок-участками по 4 м;
- сохранение природной среды после оперативного демонтажа конструкции;
- модульность сборки конструкции и возможность повторного использования комплекта.

В основе конструкции многофункционального подрельсового основания лежит оболочка, выполненная в виде пневматического ролик-мешка (ПРМ), состоящего из резинокордной оболочки с коническими торцами с двумя резьбовыми втулками на конических торцах. На торцах установлены: узел контроля давления и вентиль для подачи сжатого воздуха, на другом — рым-болт для перемещения ролик-мешка при эксплуатации. Силовой армирующий каркас, выполненный из высокопрочной корд-

ной ткани, обеспечивает равномерное распределение нагрузки по всей длине ролик-мешка и значительный запас прочности. Наружный слой, выполненный из износостойкой резины, защищает ролик-мешок от истирания и других внешних воздействий в жестких условиях эксплуатации.

Модульный принцип формирования железнодорожного пути оперативного развертывания заключается в формировании комплектов рельсовых нитей, содержащих мерный рельс длиной, соответствующей весу, допускаемому для переноса вручную, двух подрельсовых опор, содержащих оболочки (ПРМ), прокладки под рельсы.

Технология оперативной укладки вручную модуля рельсовой нити заключается в следующих операциях:

- укладке на неподготовленную поверхность двух устройств (ПРМ) и на них мерного рельса;
- выравнивании рельса изменением давления в оболочке;
- укладке следующего модуля в стык и параллельной рельсовой нити;
- укладке промежуточных опор, в том числе из подручного материала;



- регулировании уровня рельсовой нити собранного пути по нормам содержания (давлением в оболочке).

Работы по укладке пути оперативного развертывания выполняет бригада из четырех человек. Время укладки одного модуля — не более 30 мин; время укладки 100 м пути — не более 6 ч. Скорость перемещения по пути — не более 15 км/ч. Вес комплекта модуля — 300 кг, включая мерный рельс в 4 м весом 260 кг.

При возведении временного железнодорожного пути оперативного развертывания эффективность применения заключается в следующем:

- простоте и дешевизне укладки, при этом уровень рельсовой нити регулируется на уложенном пути за счет изменения давления в оболочке, а в перспективе автоматически с возможностью синхронизации давления в разных оболочках в зависимости от веса перемещаемого подвижного состава;
- отсутствии необходимости возведения земляного полотна, выгрузки балласта, специальной квалификации рабочих и военнослужащих при укладке;
- многоразовости использования;
- высокой оперативности укладки пути.

Вспомогательное применение многофункционального подрельсового устройства магистральных железных дорог заключается в следующем:

- оперативном выравнивании рельсовой нити при обнаружении сверхнормативных отклонений по уровню для возможности продолжения временной

эксплуатации пути до назначения планового технологического перерыва по устранению причины появления отклонения (по аналогии с применением струбцин при обнаружении острodefектных рельсов);

- технологии оперативного формирования переходных участков пути с переменной жесткостью с возможностью плавного регулирования жесткости на всем протяжении переходного участка.

На способы применения и конструкции подрельсовых устройств получена группа патентов на изобретения, что дает основание утверждать о мировом приоритете при создании временного железнодорожного пути оперативного развертывания на неподготовленной поверхности.

В результате исследования:

- впервые разработана конструкция подрельсового основания на уровне технических предложений с элементами научной новизны, подтвержденной патентами на изобретения;
- разработана технология на основе предложенных впервые и запатентованных способов укладки подрельсовых оснований и формирования на их основе железнодорожного пути оперативного развертывания;
- решена задача оценивания влияния напряжений в рельсе, лежащем на подрельсовом основании предложенной конструкции применением асимптотического метода разложения неизвестных величин напряжений в ряды Лорана в точке воздействия колеса на рельс, описанная в работе [9];

- проведено моделирование напряженно-деформированного состояния подрельсового основания методом конечных элементов при различных высотах оболочки (от 10 до 40 см с шагом 10 см), изложенное в работе [10].

Источники

1. Кристенсен Р. Введение в теорию вязкоупругости. М.: Мир, 1974. 228 с.
2. Расчеты и проектирование железнодорожного пути: учебное пособие для студентов вузов / под ред. В. В. Виноградова, А. Н. Никонова. М.: Маршрут, 2003. 486 с.
3. Сычев П. В., Локтев А. А., Сычев В. П. О снижении влияния удара колеса по рельсу при прохождении подвижного состава в стыках модуля железнодорожного пути оперативного развертывания // Транспорт России: проблемы и перспективы: материалы Международной научно-практической конференции. СПб., 2023. С. 202–205.
4. Локтев А. А., Сычева А. В., Сычев В. П. Решение задачи равенства деформаций вязких и упругих элементов подрельсового основания железнодорожного пути // Внедрение современных конструкций и передовых технологий в путевое хозяйство. 2022. Т. 18, № 18(18). С. 62–71.
5. Локтев А. А. Упругопластическая модель взаимодействия цилиндрического колеса и пластинки // Письма в журнал технической физики. 2007. Т. 33, № 16. С. 72–77.
6. Патент на изобретение № 2786891. Подрельсовое устройство и способ оперативного восстановления рельсовой нити по уровню / В. П. Сычев. Опубл. 26.12.2022. Бюл. № 36.
7. Патент № 213540. Мерный рельс для оперативного развертывания железнодорожного пути / В. П. Сычев. Опубл. 15.09.2022. Бюл. № 26.
8. Сычева А. В., Локтев А. А., Сычев В. П. Управление жесткостью пути на переходных участках // Путь и путевое хозяйство. 2021. № 2. С. 16–20.
9. Локтев А. А., Сычева А. В., Сычев В. П. Моделирование работы бесстыкового пути по критерию обеспечения его устойчивости // Наука и техника транспорта. 2021. № 2. С. 57–62.
10. Сычев В. П., Сычева А. В., Овчинников Д. В. Напряженное состояние пути при использовании устройства для выравнивания рельсовой нити // Путь и путевое хозяйство. 2025. № 1. С. 29–31.