

скими размерами: наружный диаметр 180 мм, высота 100 мм. При условии несжимаемости резины, т.е. коэффициент Пуассона $\nu = 0,5$ из уравнения (23) и графика (рис. 4) находим коэффициент ужесточения при осевом сжатии $\beta_n = 1,455$. Выбираем резину типа 2959: статический модуль Юнга $E = 38,4 \text{ кг/см}^2$. В этом случае из уравнения (19) получаем значение для вертикальной жесткости виброизолятора $C_n = 1420 \text{ кг/см}$, что соответствует экспериментальным данным, полученным для реального элемента, и не противоречит данным [1,4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Потураев В.Н., Дырда В.И. Резиновые детали машин. – М.: Машиностроение, 1971. – 216 с.
2. Термодинамика эластомерных конструкций при циклическом нагружении / Потураев В.Н., Дырда В.И., Корнаухов В.Г. и др. – Киев: Наукова думка, 1987. – 288 с.
3. Дырда В.И., Чижик Е.Ф. Резиновые детали в машиностроении. – Днепропетровск: Полиграфист, 2000 – 581 с.
4. Дырда В.И., Мазнецова А.В., Твердохлеб Т.Е. Расчет силовых резинотехнических изделий, используемых в горном машиностроении. – М: ЦНИИТЭнефтехим, 1991. – 64 с.
5. Дырда В.И. Прочность и разрушение эластомерных конструкций в экстремальных условиях. – Киев: Наукова думка, 1988. – 232 с.
6. Лавендел Э.Э. Расчет резинотехнических изделий. – М.: Машиностроение, 1976. – 232 с.

УДК625.143.42

Говоруха В.В.

СОВРЕМЕННЫЕ КОНСТРУКЦИИ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ РЕЛЬСОВЫХ СКРЕПЛЕНИЙ

Розглядаються сучасні конструкції проміжних рейкових скріплень з акцентуацією уваги на пружних елементах – пружних клемах і гумових прокладках. Дається ретроспективний огляд конструкцій проміжних скріплень, які використовуються на залізницях різних країн світу.

Введение. В странах СНГ (прежде всего Россия и Украина) железные дороги существуют свыше 160 лет. Первая российская дорога между Петербургом и Павловском была построена в тридцатых годах XIX века и имела ширину колеи 1829 мм. В 1842 году по проекту П.П. Мельникова началось строительство железной дороги между Петербургом и Москвой с шириной колеи 1524 мм. С 1970 года ширина колеи принята 1520 мм, т.е. такой, которая существует и до сегодняшнего дня. С тех пор железные дороги получили всеобщее признание и занимают важное место в развитии техносферы.

Начало третьего тысячелетия отмечено двумя важными процессами: интеграцией стран СНГ в Европейский союз и глобализацией мировой экономики. Эти процессы потребуют коренных преобразований всех составляющих техносферы, в том числе и транспортных средств. Уже сегодня Россия на модернизацию воздушного, морского, железнодорожного и автомо-

бильного транспорта до 2010 года намерена выделить свыше 4,5 триллионов рублей.

Украина изначально имеет хорошо развитую инфраструктуру железных дорог, созданию которых в первую очередь способствовали высокий уровень машиностроения и значительный научно-технический потенциал.

Проблема развития железных дорог является комплексной и затрагивает такие отрасли народного хозяйства как машиностроение, создание новых конструкционных материалов, разработку автоматизированных систем, создание компьютерных технологий и т.д. В научном смысле важное место отводится механике, особенно той ее части, которая занимается динамикой упругих систем.

С самого начала своего становления железные дороги были в центре внимания механиков: для XIX века достижения в области строительства протяженных путей, мостов, тоннелей, паровозов и т.д. наряду со строительством морских судов были, пожалуй, основополагающими в строительной механике и общем машиностроении. Позже такие отрасли как авиа- и автомобилестроение, а затем космические аппараты, безусловно, составили конкуренцию и во многом опередили железнодорожное строительство в смысле развития научных и инженерных достижений. Но и сегодня, в XXI веке, железные дороги и примыкающая к ним электро- и машиностроительная инфраструктура, представляют собой довольно сложное сочетание достижений общей механики, материаловедения, компьютерных технологий и т.д.

Среди многих вопросов в настоящей работе остановимся на конструкциях промежуточных рельсовых креплений с акцентацией внимания на упругих элементах – упругих клеммах, резиновых прокладках и смежных креплениях.

В цитируемой литературе общая динамика подвижного состава рассмотрена довольно подробно; вопросам же создания и расчета упругих систем типа креплений несмотря на актуальность проблемы уделено совершенно недостаточно внимания. А между тем история этого вопроса, т.е. применения упругих элементов, уходит в глубь веков.

Уже в 1846 году Буало на американской железной дороге в подвеске путевой тележки использовал упругое звено, представляющее собой цилиндрической формы виброизолятор, состоящий из чередующихся металлических пластин, между которыми были размещены пластины из экзотического для того времени каучука. Исследователи отмечали довольно высокую эффективность таких виброизоляторов в снижении динамических нагрузок и, если выразиться современным языком, в создании более комфортабельных условий.

Позже резина станет одним из основных конструкционных материалов, используемых в качестве упругих элементов подвижного состава. Поглощающие элементы в сцепках, различного назначения виброизоляторы, подвеска путевых тележек, наспальные и подрельсовые прокладки, не говоря уже об уплотнительных устройствах – все это далеко не полный перечень изделий, в которых резина не может быть адекватно заменена ни одним из существующих материалов.

Этому способствуют особые свойства резины и, прежде всего, высокая эластичность, способность к большим обратимым деформациям, значительные диссипативные свойства и высокая устойчивость к агрессивной внешней среде. Наряду с этими достоинствами имеются и недостатки, среди которых: зависимость вязко-упругих характеристик от температуры и нестабильность свойств во времени эксплуатации.

Эта нестабильность проявляется в том, что жесткостные и диссипативные свойства резины со временем не остаются постоянными, а существенно изменяются. Причина этого явления лежит в сложном молекулярном строении резины и в ее особом химическом составе. С помощью специальных веществ можно добиться некоторой стабилизации механических характеристик резиновых изделий, однако избавиться от старения на сегодняшний день не представляется возможным.

Увеличение грузонагруженности и скоростей движения поездов привело к необходимости совершенствования, как тяговых устройств, так и всего рельсового пути. В последнем случае резина оказалась наиболее приемлемым упруго-вязким материалом, обладающим с одной стороны большими обратимыми деформациями, а с другой – высокой диссипацией энергии.

Резиновые прокладки в рельсовых скреплениях позволили не только уменьшить динамические нагрузки в системе «колесо-рельс», но и создать совершенно уникальные возможности для изменения всей пространственной жесткостно-диссипативной характеристики скрепления, изменения его частотного диапазона и уменьшения динамических нагрузок на шпалу и балластную призму.

В последнее время между шпалами и балластной призмой также устанавливают резиновые прокладки, позволяющие значительно снизить динамические нагрузки.

Если рассматривать современный рельсовый путь с точки зрения его надежного функционирования, то можно отметить следующие важные составляющие: применение упругих элементов – упругих клемм и резиновых прокладок, – и применение высококачественных крепежителей и пластмас-

совых деталей (дюбелей, прокладок, изоляторов, уплотнительных втулок, боковых упоров и т.д.).

Все это вместе позволило создать эффективные и надежные конструкции рельсовых креплений.

Промежуточные крепления пружинного типа преимущественно на железобетонных и деревянных шпалах нашли широкое применение и в конструкциях безстыкового пути.

Постоянные прижатия подошвы рельса к основанию, на железных дорогах Западной Европы, Японии, Китая, США, Канады и др. регламентировано усилием 16-25 кН (т.е. усилие 8-12,5 кН от отдельной упругой клеммы на подошву рельса). При этом погонное сопротивление продольному относительному перемещению рельса по подкладке должно обеспечивать устойчивость от проскальзывания.

Уменьшение величины прижатия клемм ниже доступных значений приводит к относительному проскальзыванию рельса по основанию, формированию дополнительных (не учтенных) сил угона, которые совместно с влиянием температурных изменений могут достигнуть сверхкритических величин сил угона, что приведет к нарушению устойчивости безстыкового пути.

При низком погонном сопротивлении промежуточных креплений, особенно при костыльном креплении на деревянных шпалах, применяются мощные пружинные противоугоны. Кроме этого, для повышения устойчивости пути, в ряде стран применяются более тяжелые железобетонные шпалы массой 300-400 кг, увеличивается эпюра укладки шпал до 2200 шт. на километр, а также усиливается балластная призма.

На железных дорогах Украины безстыковой рельсовый путь имеет протяженность около 19000 км. В конструкции верхнего строения пути в основном применяются рельсы типа Р65, жесткое раздельное крепление типа КБ и КД с применением упругих противоугонов и упругое крепление с упругими клеммами типа КП, разработанных Научно-конструкторским технологическим бюро путевого хозяйства Укрзализныци (в дальнейшем НКТБ ЦП УЗ).

Величина силы прижатия рельса к основанию в каждом узле крепления регламентирована 20-25 кН при условии обеспечения погонного сопротивления продольному перемещению рельсов 25-30 кН/м.

На участках безстыкового пути колеи 1520 мм, в основном, применяются предварительно напряженные железобетонные шпалы брускового типа длиной 2700 мм, массой 270 кг с устройством проемов для закладных болтов (тип КБ) и анкеров для обеспечения работы бесподкладочного, безрезьбового упругого крепления (тип КПП).

Эпюра укладки шпал 1840-2000 шт. на километр для пути категории I; 2; 3 и 4 А. Для пути 4-6 категорий, на станционных и подъездных путях применяется эпюра укладки 1600 шт. на километр.

Кроме типовой колеи 1520 мм на железных дорогах Украины применяется рельсовый путь совмещенной колеи 1520 и 1435 мм с железобетонными шпалами массой 366 кг, длиной 2,85 м и упругим бесподкладочным, безстыковым скреплением типа КПП-1, разработанных НКТБ ЦП УЗ в 1999 г. Эпюра укладки шпал при этом регламентирована 1840-2000 шт. на километр, а на новых опытных участках уложенных в 2001 г., эпюра укладки предусмотрена 1600 шт. на километр.

Серийные обычные, двойные перекрестные и др. стрелочные переводы используются, в основном, типов Р65 и Р50 марок 1/6; 1/7; 1/9 и 1/11 и др. колеи 1520 мм, где применяется жесткое промежуточное скрепление с плоскими металлическими подкладками и жесткими клеммами типа ПК.

С 2001 г. началось изготовление по проектам НКТБ ЦП УЗ на АТБТ «Днепропетровский стрелочный завод» стрелочной продукции нового технического уровня с использованием для промежуточного скрепления упругих клемм типа КП-2 и КП-3 по всем узлам крепления переводов и брусьев, выштампованных и приварных реборд, гасителей динамических ударов и упругих высокопрочных цельных прокладок толщиной 10 и 14 мм специальной формы. Применены гибкие удлиненные острия с безстыковым креплением, цельноблочные удлиненные высокомарганцовистые крестовины, контррельсы с независимым креплением от путевого рельса, новым комплектом предварительно напряженных стрелочных брусьев брускового типа и другими техническими решениями, обеспечивающими производство безстыковых стрелочных переводов, переводов с непрерывными поверхностями катания колес для высоких скоростей движения поездов 140-200 км/час и уменьшением износа конструктивных элементов переводов и колеса ходовой части поездов.

Для крепления металлических прокладок и железобетонных брусьев используются серийные закладные болты, а для деревянных брусьев серийные шурупы.

На рельсовых путях и стрелочных переводах устраиваются обычные сборные изолирующие стыки с пластмассовыми накладками и клееболтовые изолирующие стыки типовой конструкции несущей способностью 2000 кН.

В 2001 г. НКТБ ЦП УЗ разработана конструкция высокопрочного клееболтового изолирующего стыка повышенной несущей способности (до 3000 кН). Такие стыки предусмотрены для конструкции безстыкового пути

повышенной длины (до длины межстанционных участков) и безстыковых стрелочных переводов.

Скорость движения поездов на железных дорогах Украины предусмотрена в настоящее время до 140-160 км/час.

На железных дорогах России безстыковой рельсовый путь имеет протяженность около 25 % от протяженности всех российских железных дорог. В состав конструкции, в основном, входят термически упрочненные рельсы типа Р65, железобетонные предварительно-напряженные шпалы брускового типа с раздельным скреплением типа КБ. Эпюра шпал на линиях 1-4 классов регламентирована 1840-2000 шт. на километр. На путях пятого класса и станционных путях эпюра укладки 1440-1600 шт. на километр.

На участках с использованием тональных рельсовых цепей или высокопрочных изолирующих стыков укладываются безстыковые плети длиной до перегона.

На многих железных дорогах России движение пассажирских поездов осуществляется со скоростью до 160 км/час. Для движения поездов со скоростью до 180-200 км/час применяется типовая конструкция безстыкового пути с радиусами кривых более 1000 м. Скорости до 200 км/час реализуется специальным подвижным составом пока только на линии Москва – Санкт-Петербург.

Серийные стрелочные переводы, одиночные съезды используются, в основном, типов Р65 и Р50 марок 1/6; 1/7; 1/9; 1/11 и 1/18 и др. колен 1520 мм, где применяются промежуточные скрепления с плоскими металлическими подкладками, а также с подкладками, имеющими выштампованные или приварные реборды. Промежуточные скрепления используются как с жесткими клеммами типа ПК, так и упругими прутковыми клеммами типа ОП-105, а для стрелочной части П-образные прутковые клеммы. Контррельс не связан болтами и вкладышами с путевым рельсом. Применяются упругие резиновые прокладки, которые могут поставляться вместе с переводами. Переводы могут комплектоваться гарнитурой (с внешними замыкателями или без замыкателей) к электроприводу стрелки или крестовины с непрерывной поверхностью катания. Переводы могут изготавливаться с поворотными и гибкими удлиненными острьями. После укладки перевода в путь предусмотрена сварка рельсовых стыков (кроме изолирующих) с помощью термитной сварки. Переводы укладываются как на железобетонные, так и на деревянные брусья. Крепление подкладок к железобетонным брусьям осуществляется закладными болтами, а к деревянным – стандартными шурупами.

В Германии запроектированы ряд линий колен 1435 мм для скоростей движения пассажирских поездов до 200-300 км/час и грузовых до 140-

160 км/час (Ганновер – Кассель – Гемюнден – Вюрцбург; Мангейм – Штутгарт).

В конструкции пути применяются рельсы типа UIC-60; предварительно-напряженные железобетонные брусковые шпалы типа В75 длиной 2,8 м, массой 380 кг и расстоянием между осями шпал 650 мм, вместо шпал типа В70 длиной 2,6 м, массой 304 кг и шпал типа В90, длиной 2,6 м, массой 332 кг и расстоянием между осями шпал 600 мм; упругие рельсовые крепления типа Ioarv 300 со статическим и динамическим (при частоте 30 Гц) коэффициентами упругости соответственно 23-30 кН/мм и 35-40 кН/мм, что соответствует статическому и динамическому коэффициентам упругости верхнего строения пути соответственно 19-24 кН/мм и 27-31 кН/мм.

Стрелочные переводы на съездах и обгонных путях применяются положных марок 1/18,5, 1/17,7, а на станционных путях марки 1/9.

Следует подчеркнуть, что полуторавековая практика эксплуатации железных дорог наглядно показала следующее: для всех видов деревянных и железобетонных подрельсовых оснований наиболее сложно конструктивно и технологически решаемым узлом являются промежуточные крепления. Именно на путевые работы по содержанию и ремонту креплений затрачивается преимущественная доля трудовых расходов при эксплуатации пути. Связано это со многими факторами.

На первых этапах развития железных дорог при использовании деревянных шпал и сравнительно небольших скоростях движения первые конструкции рельсовых креплений длительное время оставались практически без изменений: рельс посредством металлической прокладки и костылей прикреплялся к шпалам – так называемое крепление ДО, – которое и сегодня для деревянных шпал не утратило своей привлекательности именно благодаря простоте, надежности и экономичности.

Однако с ростом скоростей движения и с увеличением грузонапряженности железных дорог, с дефицитом древесины и по ряду других причин (комфортности, снижения вибраций и звукового давления и т.д.) к рельсовому пути стали предъявлять повышенные требования, которым существующие (на то время) конструкции креплений не соответствовали.

Оказалось также, что простой по конструкции узел трудно поддавался усовершенствованию. Причины были разные: здесь и чисто консервативный подход экономистов, и трудномеханизируемый процесс ремонта, и выполнение монтажно-демонтажных работ на действующем пути, что всегда сопряжено с понижением их качества, и необходимость широкого использования высокопрочных сталей и полимерных материалов, и т.д.

К тому же, к самим скреплениям стали предъявлять требования, которые по своей сущности были не только трудновыполнимыми, но и в большинстве случаев противоречивыми. Требования эти следующие: необходимость обеспечить по возможности максимальное снижение динамических нагрузок, особенно на высоких частотах; необходимость обеспечить однородность пути по протяжению и его пространственную упругость; необходимость обеспечить надежность пути и стабильность его функционирования в течение всего времени эксплуатации; помимо этого, скрепление должно быть простым по конструкции, малоэлементным, ремонтпригодным, экономически выгодным и т.д.

Как видно, противоречия довольно существенные и удовлетворить их в одной универсальной конструкции вряд ли представляется возможным. Поэтому и просуществовали традиционные рельсовые скрепления вплоть до пятидесятых годов прошлого века, т.е. до наступления научно-технической революции, когда железные дороги стали крайне важным и необходимым звеном в глобальном международном развитии техносферы.

Эволюция железных дорог осуществлялась по всем направлениям: по усовершенствованию подвижного состава, рельсового пути, тоннелей, мостов, эстакад; по автоматизации и компьютеризации всего процесса движения; по широкому использованию новых конструкционных материалов и т.д.

Одним из важных звеньев эволюции было развитие конструкций промежуточных скреплений, создание которых не обошлось без некоторой доли компромисса: оптимальные динамические и прочностные параметры элементов скреплений максимально приближались к требованиям простоты, ремонтпригодности и экономичности.

Ниже рассмотрены наиболее известные конструкции промежуточных рельсовых скреплений.

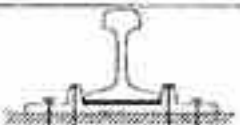
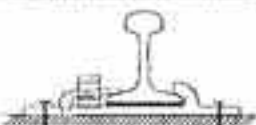
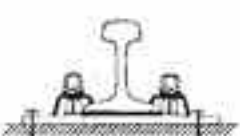
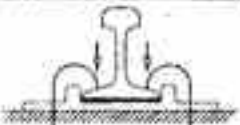
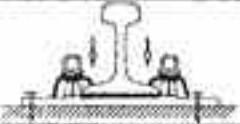
Системный анализ. В мировой практике эксплуатации железных дорог имеются многочисленные конструкции промежуточных рельсовых скреплений для самых различных случаев их применения, связанных с климатическими условиями, скоростью движения, грузонагруженностью, состоянием и качеством подвижного состава, рельсов, балластной призмы и т.д. Поэтому вполне правомерным является потребность в их систематизации. Однако в известной литературе нет четкого системного анализа, охватывающего все особенности скреплений. Поэтому ниже будут использованы наиболее распространенные три типа систематизации скреплений по основным признакам [1–6].

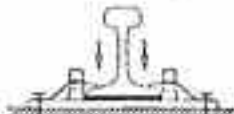
Первый тип [6] подразделяет скрепления на три вида: отдельные, нераздельные и смешанные. Второй тип [1, 3, 5] рассматривает скрепления раз-

дельно для деревянных и железобетонных шпал и подразделяет крепления на подкладочные, т.е. под рельсами устанавливаются металлические подкладки, и бесподкладочное. В свою очередь, подкладочные крепления подразделяются на раздельные, нераздельные и смешанные [5].

Наиболее подробную систематизацию дает третий тип [3], который все существующие крепления подразделяет на две группы (таблица 1). К первой группе относятся конструкции, в которых не создается нажатие на подошву рельса и между верхом его подошвы и прикрепителями образуется зазор. В креплениях такого типа для предотвращения продольного смещения рельсовых плетей необходима установка противоугонов. К этой группе относятся конструкции креплений типа ДО, типовые костыльные, «Метро» (применяется в метрополитенах), КБ-М для металлических мостов и т.д.

Таблица 1

Группа креплений	Конструкция промежуточных креплений	Элемент, создающий нажим на подошву рельса	Схема прикрепителя	Типы применяемых конструкций креплений
Первая группа				
Отсутствует систематическое нажатие на подошву рельса (требуется установка противоугоновых приспособлений)	Костыльное с жесткими костылями	—		ДО (Россия, Канада, США), типовое костыльное
	С ограниченной ребордой (фасонного типа) и штырем	—		«Метро» (Россия)
	Клеммно-болтовое с укороченными жесткими клеммами (не доходящими до подошвы рельса)	—		КБ-М для металлических мостов (Россия)
Вторая группа				
Имеется нажатие на подошву рельса (добавочных противоугоновых приспособлений не требует)	Костыльное с пружинными костылями	«Развитая головка»		DS-18, ES-18, «Рюпинг», «Макбет» (ФРГ, Англия, США)
	А. Клеммно-болтовые с жесткими клеммами и добавочными упругими элементами	Упругие, одно-, двух- и трехантковые шайбы		КБ, Д2 (Россия), «Фосел» (ФРГ, Италия)
		Резиновые прослойки «развитой» формы		«Вайскинг» (США) (для тяжелых условий эксплуатации)

Группа скреплений	Конструкция промежуточных скреплений	Элемент, создающий нажим на подошву рельса	Схема прикрепителя	Типы применяемых конструкций скреплений
	Клеммно-болтовые с упругими клеммами: бесподкладочное	Плоские или торсионного действия упругие элементы, прижимаемые к подошве рельса болтовым соединением		ЖБ, ЖБР (Россия), НМ (ФРГ), RN, «Набла» (Франция), Синкансен – тип 702 и др. (Япония); SKL-1 (ФРГ) тип F (Финляндия)
	подкладочное нераздельное (подкладки прикрепляются вместе с клеммами)			БПУ-65 (Россия); SB-11 (Япония)
	подкладочное раздельное (подкладки прикрепляются отдельно от клемм)			Д4у (Россия); SKL-2, SKL-3, «Рэда», тип 1043 (ФРГ); тип 8 – Япония
	Б. Безболтовые	Упругие элементы, непосредственно прикрепляющие рельс к основанию		«Пендрол» (Англия) «Фист» с плоской клеммой
		Упругие элементы, прикрепляющие рельс к подкладке, которая отдельно крепится к основанию		Д8 (Россия); «Пендрол» (деревянные шпалы); «Дельта» (ФРГ); «Хайбек» (Англия); «Эвзм» (Голландия и др. страны)

Вторая группа – она подразделяется на две подгруппы А и Б – включает в себя конструкции, у которых необходимое нажатие на подошву рельса обеспечивается специальными упругими клеммами, а между подошвой рельса и шпалой устанавливается упругая прокладка. К подгруппе А относятся конструкции скреплений, в которых докручиванием гаек болтов можно регулировать величину нажатия на подошву рельса. К этой подгруппе относятся: скрепления Д2 и Д4у для деревянных шпал, скрепления КБ, ЖБ, ЖБР, БПУ-65 для железобетонных шпал; скрепления для зарубежных железных дорог: SKL-1, SKL-2, SKL-3, НМ, тип 1043 (Германия); типы 8 и 702 для линий Синкансен и SB-11 (Япония); Фоссл (Германия, Италия); Вайскинг (США); RN, Nabla (Франция); тип F (Финляндия) и т.д. [1-13].

К подгруппе Б (см. табл. 1) относятся безболтовые промежуточные скрепления, усилия нажатия которых на подошву рельса устанавливаются в процессе монтажа и в дальнейшем остаются неизменными: Д8, Pandrol, Фист, Fastclip, Серпантекс, Дельта, Эвзм и их многочисленные варианты.

Здесь следует подчеркнуть, что в специальной литературе [1-6] рассматривается много вариантов, в том числе и довольно оригинальных, промежуточных скреплений. И все же в мировой практике наибольшей известностью пользуются конструкции трех европейских фирм: Pandrol (Англия), Allvard Stedef (Франция) и Vossloh (Германия).

Ниже подробно рассмотрены наиболее распространенные конструкции промежуточных рельсовых скреплений преимущественно с упругими клеммами и резиновыми прокладками, как наиболее соответствующие современным требованиям скоростных высоконагруженных железных дорог.

Основные требования, предъявляемые к скреплениям. Не рассматривая динамику системы «колесо-рельс», что является предметом самостоятельных исследований, отметим основные положения, характеризующие промежуточные скрепления как важное упруго-диссипативное звено, состоящее из набора элементов, испытывающих в процессе эксплуатации многовекторные статические и динамические нагрузки, имеющие в основном нелинейный и стохастический характер.

Динамические усилия, передаваемые колесом на рельс имеют довольно сложную природу; под их действием рельс совершает упругие колебания [5], опускаясь под колесами и приподнимаясь (до 4 %) между ними. В связи с этим между рельсом и подкладкой в вертикальной плоскости образуется некоторый зазор, благодаря чему подкладка также совершает колебания. Помимо этого при размыкании силовой цепи вследствие расстройств пути подкладка колеблется и в горизонтальной плоскости: амплитуда колебаний может достигать 2-3 мм [5]. Такие колебания со временем приводят к износу шпал, подкладок и прокладок.

Для устранения такого разрушительного действия динамических нагрузок и для уменьшения амплитуды колебаний рельсов и подкладок и применяют упругие клеммы и резиновые прокладки, как подрельсовые, так и нащпальные. Некоторые вопросы функционального назначения прокладок будут рассмотрены ниже.

Таким образом, общие требования, предъявляемые к современным конструкциям промежуточных скреплений сводятся к следующему:

- скрепления должны иметь такие оптимальные физико-механические характеристики, чтобы обеспечить пространственную упругость рельсового пути: по вертикали, горизонтали, поперек и вдоль пути;
- конструкции скреплений должны обеспечить постоянство усилий натяжений крепежителей, т.к. при разных усилиях может возникнуть неоднородность пути по его протяжению;

- физико-механические параметры креплений должны быть такими, чтобы по возможности уменьшить до минимума высокочастотные колебания; при высоких амплитудах колебаний возникающие динамические нагрузки могут привести к разрушению креплений, к излому металлических подкладок, к разрушению резиновых прокладок, к излому рельсов и т.д.;
- упругие элементы креплений – упругие клеммы и резиновые прокладки – должны обладать такими вязкоупругими и диссипативными свойствами, чтобы при любых возможных статических и динамических нагрузках сохранялось достаточное прижатие клемм к рельсам и чтобы общая вертикальная жесткость крепления мало изменялась (в пределах допустимых значений) от степени загрузки рельса, климатических условий, состояния подвижного состава и рельсового пути;
- упругие характеристики всех составляющих элементов креплений должны быть такими, чтобы обеспечить оптимальные свойства рельсового пути, обеспечить надежность и стабильность его функционирования в течение всего времени эксплуатации; одним из условий выполнения этих требований является постоянство во времени жесткостных и диссипативных характеристик основных силовых элементов креплений: упругих клемм и резиновых прокладок.

Обзор конструкций промежуточных креплений. Начиная с пятидесятых годов прошлого столетия, в ряде европейских стран использовались промежуточные крепления типа RN (Франция) с упругими пластинчатыми клеммами и резиновой подрельсовой прокладкой толщиной 5 мм и вертикальной жесткостью узла 120 кН/мм. Жесткость резиновой прокладки оказалась завышенной, что уменьшало ее влияние на снижение динамических нагрузок. Поэтому в новом унифицированном бесподкладочном соединении «Nabla» (Франция) с пластинчатыми упругими клеммами и специальными полимерными упорами (рисунок 1) для восприятия боковых нагрузок от юбодшвы рельса, использовалась подрельсовая резиновая прокладка толщиной 12-14 мм, что позволило получить вертикальную жесткость узла примерно 50-60 кН/мм. Прокладка размещалась в углублении в шпале, что предотвращало ее выползание из-под рельса; конструкция крепления позволила регулировать положение рельсов по высоте и в плане. Крепление «Nabla» заменило крепление RN в начале на скоростных дорогах Франции, а впоследствии и на железных дорогах многих стран мира.

Конструкции креплений с использованием упругих клемм и подрельсовых резиновых прокладок оказались перспективными, а сама идея использования системы «упругая клемма – упругая прокладка» весьма плодотворной.

Так, в СССР при использовании железобетонных шпал применялось бесподкладочное крепление типа ЖБ (рис. 2) с закладными болтами, двух-

слойными упругими пластинчатыми клеммами и резиновой подрельсовой прокладкой. В первых конструкциях использовались прокладки толщиной 5-7 мм с высокой вертикальной жесткостью. При длительной эксплуатации резиновые прокладки теряли свою упругость и при ослаблении упругих клемм происходило отжатие рельсовых нитей, излом шайб-втулок, расширение колеи и интенсивный износ прокладок [5]. Поэтому в более поздних конструкциях использовались прокладки типа ЦП-204 конструкции Всесоюзного научно-исследовательского института

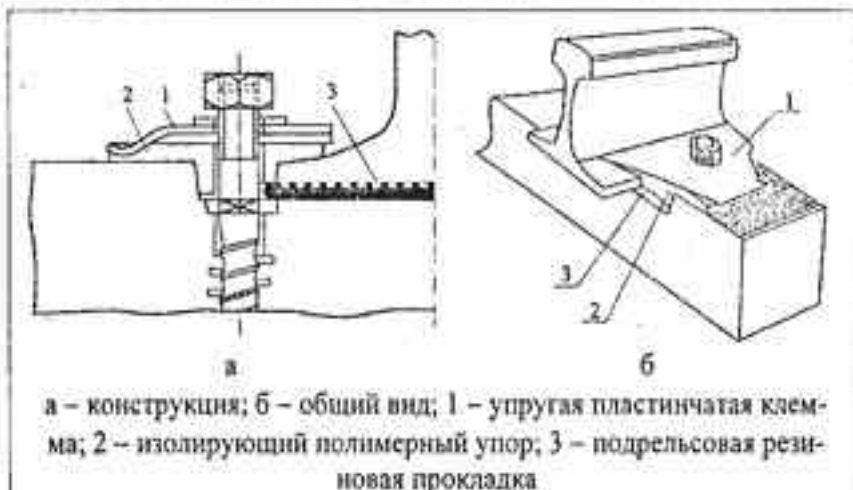


Рис. 1 – Упругое промежуточное крепление типа Nabla (Франция)

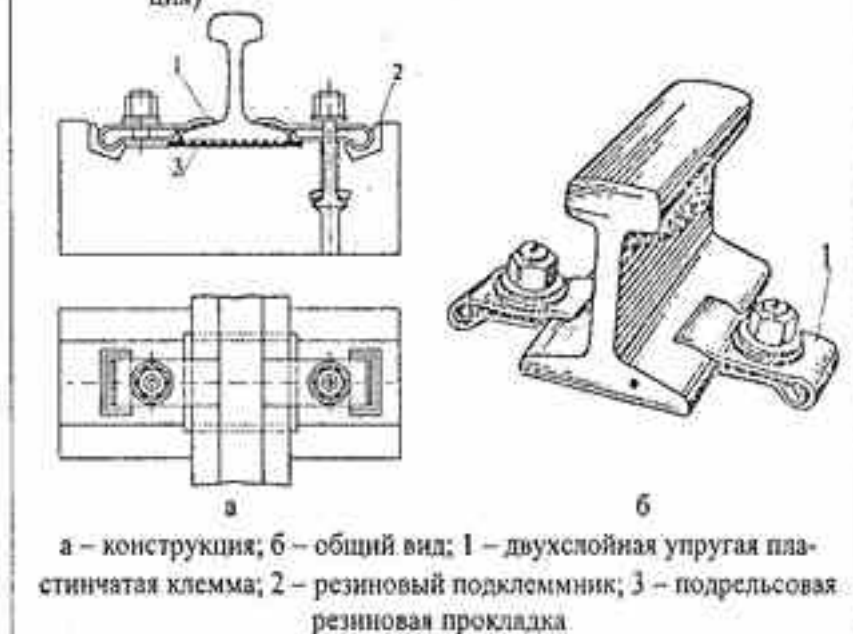


Рис. 2 – Упругое крепление типа ЖБ

железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ) (г. Москва); резиновые прокладки имели толщину 14 мм (вертикальная жесткость узла при этом 50-60 кН/мм) и использовались в основном для скоростей движения грузовых поездов до 120 км/ч [4].

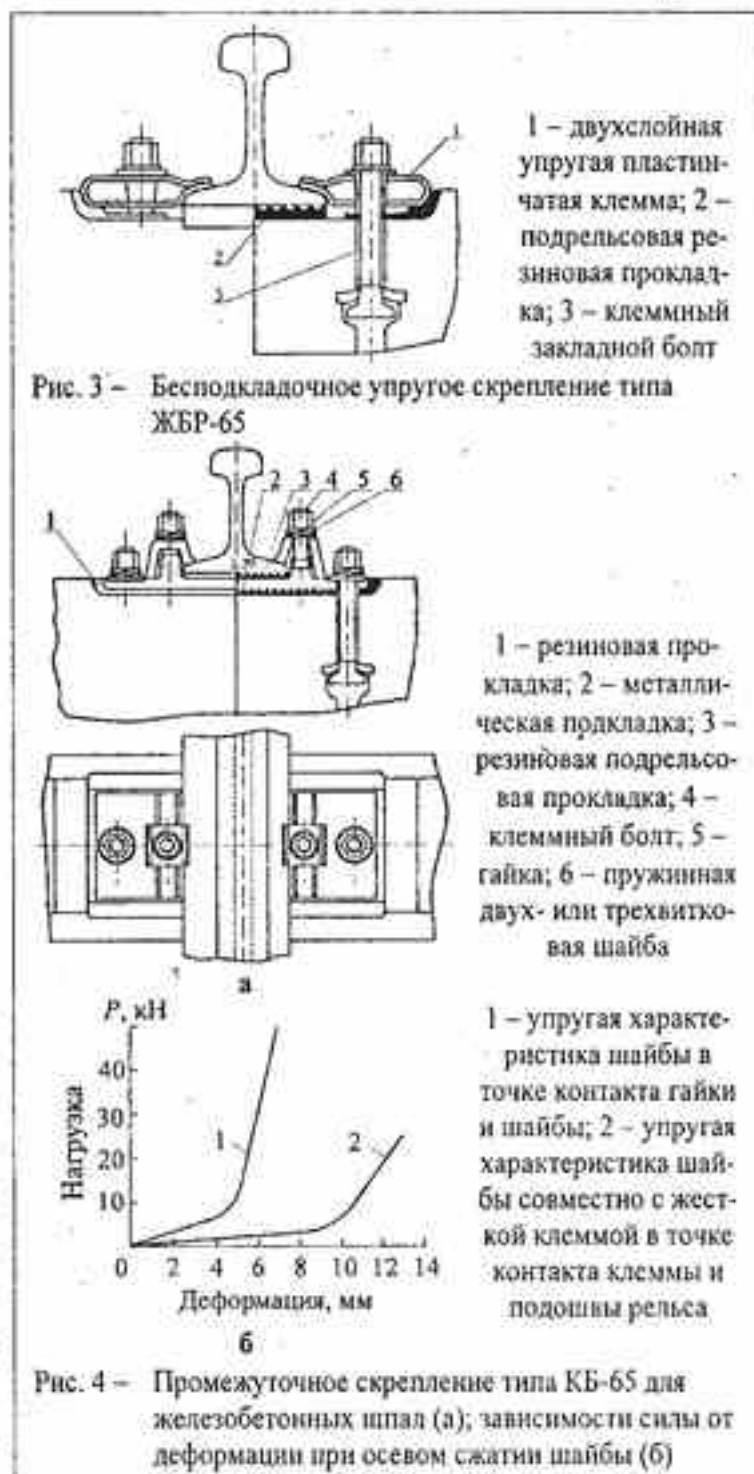
Крепление типа ЖБ обладало низкой металлоемкостью и было мало-детальным; к его недостаткам следует отнести: невозможность регулировки положения рельсов по высоте и в плане, повышенные требования к прочности и упругим свойствам упругих клемм и малую боковую сопротивляемость.

Эти недостатки были устранены в модифицированном креплении типа ЖБР (рис. 3) с упругими пластинчатыми клеммами и подрельсовой резиновой прокладкой; прокладка имела две реборды, удерживающие ее от выполазания из-под рельса. В этом креплении с помощью резиновых прокладок

различной толщины можно было менять положение рельсов по высоте до 15-20 мм [4, 5].

Типовым для железных дорог того времени стала конструкция скрепления типа КБ-65 (рис. 4). В скреплении использовалась металлическая подкладка, резиновые подрельсовая и нашпальная прокладки и жесткие клеммы; недостатком скрепления была высокая жесткость (35-40 кН/мм) прикрепителей – двухвитковых упругих шайб. Повышенная жесткость шайб приводила к снижению монтажной затяжки болтов, к быстрому выходу из строя резиновых прокладок и в целом к снижению надежности рельсового пути [4]. Поэтому скрепления типа ЖБР-3 в ряде случаев были предпочтительными по сравнению со скреплениями КБ-65, что хорошо видно из графика, показанного на рис. 5 [4]. К тому же это скрепление менее материалоемко, чем КБ-65.

Упругая прутковая клемма достаточно надежно обеспечивает стабильность прижатия подошвы рельса к основанию, а боковые силы воспринимаются упорными скобами и в дальнейшем через резиновую прокладку передаются на бетонную шпалу. Конструкция скрепления позволяет регулировать положение рельса по высоте до 12 мм. Следует также отметить, что скрепления типа ЖБР-3 имело вертикальную жесткость узла в пределах 12-15 кН/мм,



что значительно меньше, чем в аналогичных креплениях железных дорог зарубежных стран.

Это прежде всего связано с повышенными требованиями к железным дорогам стран СНГ в связи с их большой грузонапряженностью, неудовлетворительным состоянием подвижного состава и рельсовых путей, а потому более высокими

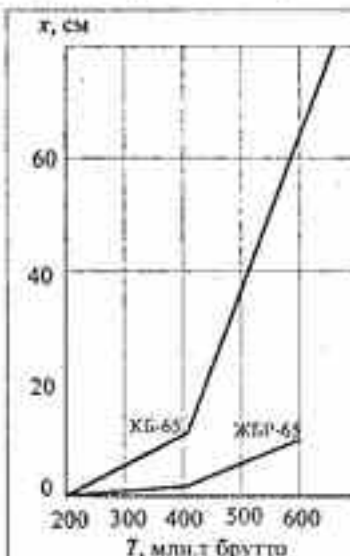
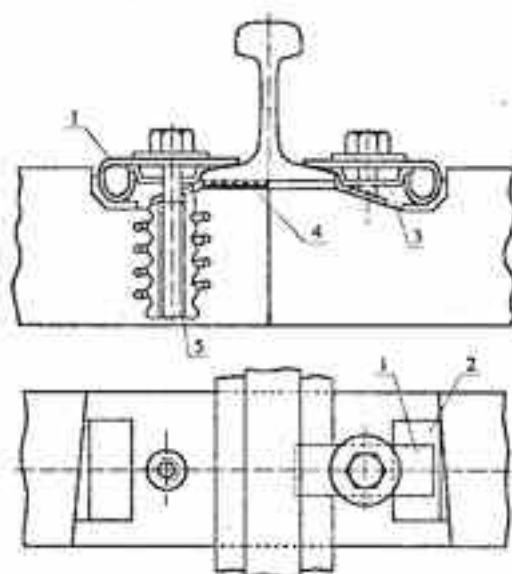


Рис. 5 — Средние значения продольных остаточных перемещений x середины рельсовых плетей в зависимости от пропущенного тоннажа, T



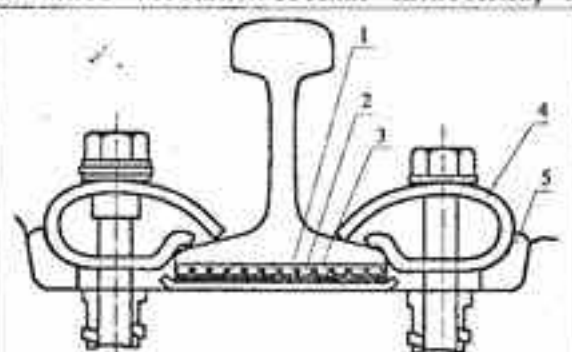
1 — верхняя упругая клемма; 2 — упругий подклемник; 3 — нижняя упругая клемма; 4 — подрельсовая резиновая прокладка.
Рис. 6 — Упругое промежуточное бесподкладочное крепление линии Синкансен (Япония)

требованиями к демпфированию многовекторного поля сил от динамического взаимодействия системы «колесо-рельс».

Дальнейшее развитие идей, заложенных в креплениях типов RN, Nabla (Франция) и ЖБР (СССР) получили крепления, используемые на скоростных линиях Японии. В одном из типовых креплений (рис. 6) использовались упругие клеммы и подрельсовая резиновая прокладка.

Использовались также крепления типа 4 (рис. 7), в которых непосредственно под подошвой рельса устанавливалась металлическая пластина, а ниже — подрельсовая резиновая прокладка и резиновая прокладка-регулятор. Для более точной регулировки положения рельсов по высоте использовались крепления (рис. 8), в которых имелся набор прокладок-регуляторов.

Для японских скоростных дорог (скорость до 250 км/ч) использовались также отдельные крепления типа 5 (рис. 9), которые снабжены двухреборчатой металлической подкладкой и резиновыми прокладками регулятора-



1 — металлическая пластина; 2 — резиновая прокладка; 3 — прокладка-регулятор; 4 — упругая клемма; 5 — упругий подклемник.
Рис. 7 — Упругое промежуточное бесподкладочное крепление типа 4 (Япония)

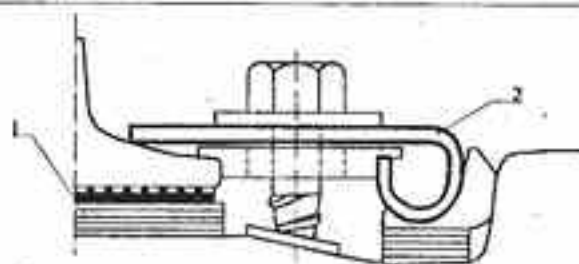
ми, поверх которых помещались металлические пластины; по мнению японских специалистов такие пластины повышают срок службы резиновых прокладок.

В более поздних модификациях креплений рассмотренной конструкции, в частности, в креплении типа 7 (рис. 10), рельс опирался непосредственно на резиновую прокладку, под которой была размещена резиновая прокладка-регулятор; обе они опирались на металлическую путевую подкладку. Такое крепление позволяло регулировать положение рельса по высоте до 50 мм и в плане до 30 мм.

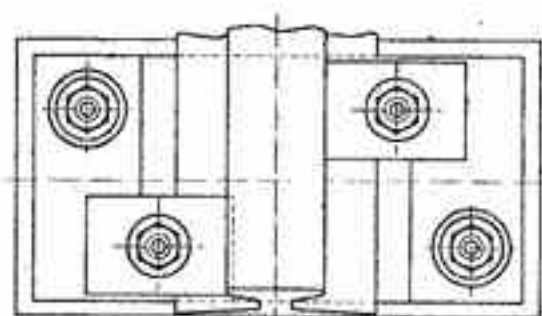
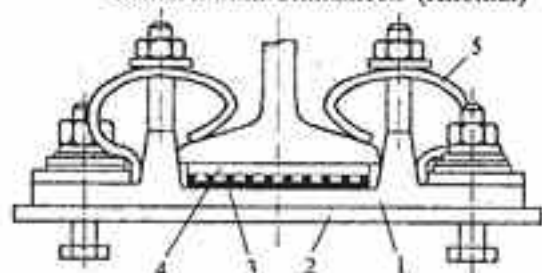
Конструкции креплений с упругими клеммами и резиновыми прокладками получили довольно широкое распространение и на европейских железных дорогах: в ФРГ использовалось упруго-дюбельное крепление типа Vossloh (рис. 11); в Польше безболтовое анкерное крепление типа СБ-3 (рис. 12). В этих креплениях использовались под-

рельсовые пластмассовые прокладки высокой вертикальной жесткости (250 т/см), что вызывало большое напряжение в прутковых клеммах и снижало их другие положительные качества и, прежде всего, малый объем монтажно-демонтажных работ.

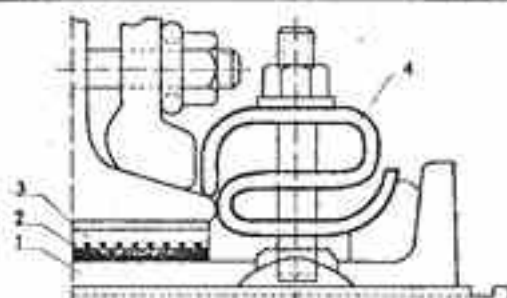
На английских железных дорогах, начиная с 1964 года, использовались крепления аналогичной конструкции типа Pandrol с резиновой подрельсовой прокладкой (рис. 13). В Англии это безболтовое анкерное крепление было принято как стандартная конструкция; оно также широко использовалось на железных дорогах США, Австрии, Канады, Финляндии и т.д. В СССР при высокой грузонапряженности железных дорог это крепление показало недостаточную прочность и устойчивость, особенно в кривых малых радиусов [5].



1 – прокладки-регуляторы; 2 – упругая клемма
Рис. 8 – Узел упругого промежуточного крепления линии Синкансен (Япония)

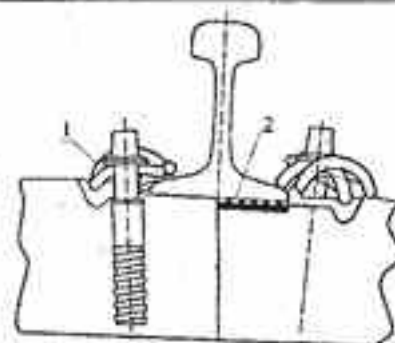


1 – двухреборчатая подкладка; 2 – изолирующая прокладка; 3 – резиновые прокладки-регуляторы; 4 – металлическая прокладка; 5 – упругие пластинчатые клеммы
Рис. 9 – Раздельное упругое промежуточное крепление типа 5 (Япония)



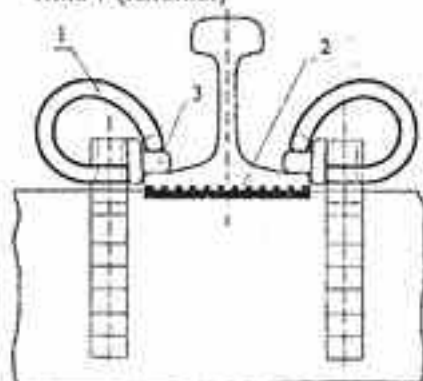
1 – путевая подкладка; 2 – резиновая прокладка-регулятор; 3 – подрельсовая резиновая прокладка; 4 – упругая клемма

Рис. 10 – Упругое промежуточное крепление типа 7 (Япония)



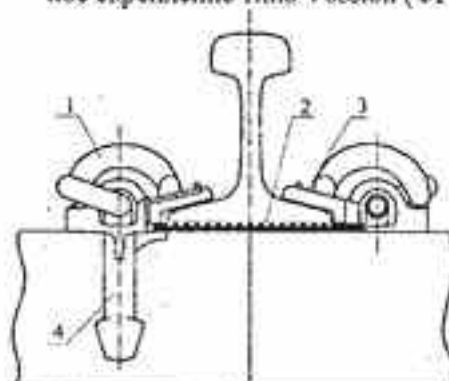
1 – упругая прутковая клемма; 2 – подрельсовая упругая прокладка

Рис. 11 – Упругое промежуточное бесподкладочное крепление типа Vossloh (ФРГ)



1 – упругая прутковая клемма; 2 – пластмассовая прокладка; 3 – пластмассовый изолятор

Рис. 12 – Упругое безболтовое бесподкладочное промежуточное крепление типа СБ-3 (Польша)



1 – упругая прутковая клемма; 2 – упругая прокладка; 3 – пластмассовый изолятор

Рис. 13 – Упругое безболтовое бесподкладочное промежуточное крепление типа Pandrol (Англия)

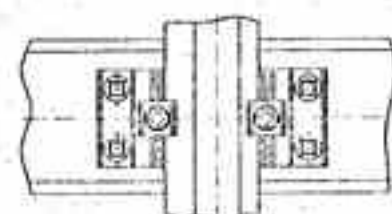
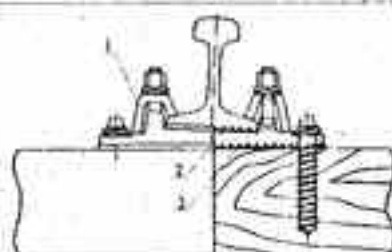
Проведенные во ВНИИЖТ [4] исследования показали, что общим недостатком креплений типов Vossloh, СБ-3, Pandrol является их малая надежность на восприятие боковых сил от рельса и отсутствие возможности регулировки положения рельса по высоте.

Поэтому в более поздних конструкциях этот недостаток был устранен и, например, в безболтовом креплении Pandrol Fastclip с помощью подрельсовых резиновых прокладок-регуляторов можно осуществлять регулировку рельса по высоте до 24 мм (рис. 14).

Для деревянных шпал железных дорог СССР в 70-х годах прошлого века широкое распространение получили отдельные крепления [5] типов Д2, Д4, Д4у, позволяющие осуществить достаточно сильное прижатие клеммами и вертикальными болтами рельсов к подкладкам. К достоинству этих креплений следует также отнести: возможность регулировки положения рельсов по высоте и в плане за счет различной толщины резиновых прокладок, возможность замены рельсов без изъятия из шпал крепежителей, пониженную вибрацию подкладок.

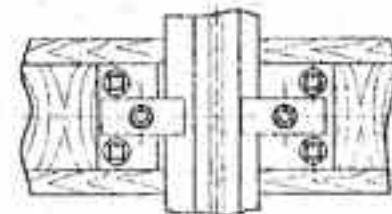
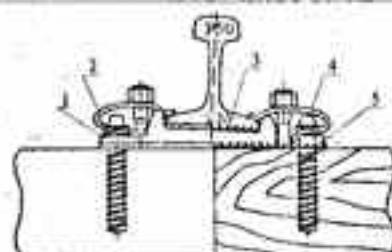


Рис. 14 — Упругое промежуточное бесподкладочное крепление типа Pandrol Fastclip (Англия)



1 — клемма; 2 — упругая подрельсовая прокладка; 3 — упругая напальная прокладка

Рис. 15 — Раздельное промежуточное крепление типа Д2



1 — подкладка; 2 — двухвинтовая шайба; 3 — подрельсовая резиновая прокладка; 4 — упругая клемма; 5 — напальная резиновая прокладка

Рис. 16 — Раздельное упругое промежуточное крепление типа Д4

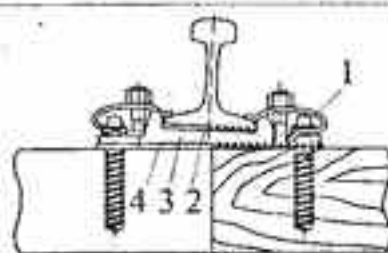
Раздельное крепление типа Д2 (по старой классификации типа К) показано на рис. 15. Упругие прокладки из пластмассы или резины в первых конструкциях имели минимальную толщину 4-5 мм [5] и большую вертикальную жесткость, что не позволяло достаточно эффективно снижать динамические нагрузки. Регулировка положения рельсов по высоте до 10 мм осуществлялось с помощью упругих прокладок.

В более поздних конструкциях вместо жестких клемм использовались упругие пластинчатые клеммы, а толщина резиновых прокладок была увеличена до 14 мм, например, в креплении типа Д4 (рис. 16).

В модификации этого крепления типа Д4у (рис. 17) применялись металлические подкладки и напальные резиновые прокладки толщиной 14 мм.

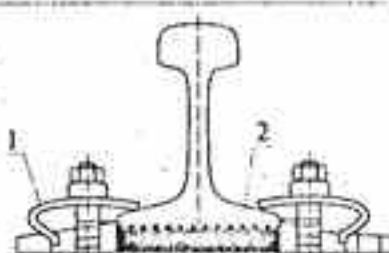
Идеи, заложенные в креплениях Д2, Д4 и Д4у были использованы в креплениях типов МЛ и НМ. В креплении МЛ (США), показанном на рис. 18 использовались упругие клеммы и подрельсовые резиновые прокладки; в бесподкладочном креплении типа НМ (Германия) использовались специальные упругие прутковые клеммы (рис. 19) и подрельсовые резиновые прокладки.

Частично эти же идеи были использованы и в нераздельном креплении типа БП (рис. 20) с двухребордчатой подкладкой, прутковыми упругими клеммами, подрельсовой и напальной резиновыми прокладками. Для повышения боковой устойчивости напальную резиновую прокладку размеща-

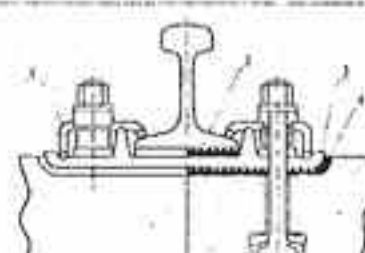


1 – упругая клемма; 2 – подрельсовая резиновая прокладка; 3 – металлическая подкладка; 4 – нащпальная резиновая прокладка

Рис. 17 – Раздельное упругое промежуточное скрепление типа Д4у

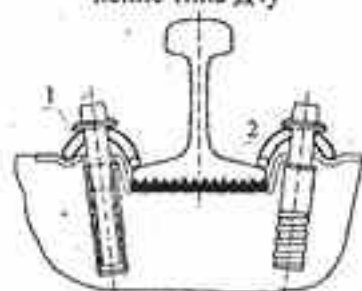


1 – пружинная шайба; 2 – подрельсовая резиновая прокладка
Рис. 18 – Раздельное упругое промежуточное скрепление типа ML (США)

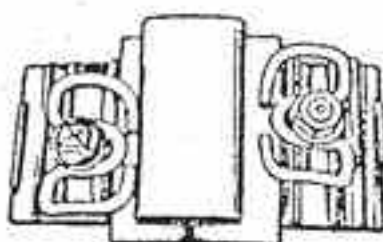


1 – упругие прутковые клеммы; 2 – подрельсовая резиновая прокладка; 3 – двухребордчатая подкладка; 4 – нащпальная резиновая прокладка

Рис. 20 – Нераздельное упругое промежуточное скрепление типа БП



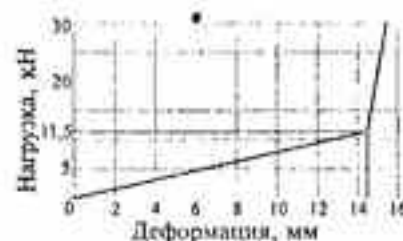
а)



б)

а – конструкция; 1 – упругая клемма; 2 – подрельсовая упругая прокладка; б – общий вид; в – упругая характеристика

Рис. 19 – Бесподкладочное упругое промежуточное скрепление типа NM



в)

ли в углублении в шпале; регулировка положения рельса по высоте осуществлялась подрельсовыми резиновыми прокладками-регуляторами.

Таким образом, длительная практика эксплуатации промежуточных рельсовых скреплений на многих железных дорогах мира в различных климатических условиях и различной степени грузонапряженности показала, что одним из наиболее эффективных конструктивных приемов повышения надежности рельсового пути является использование упругих элементов: упругих клемм и резиновых прокладок оптимальной жесткости.

Стало также очевидным, впрочем в научной литературе это отмечалось и ранее [3-6], что параметры скреплений в основном определяются жесткостью клеммных соединений и резиновых прокладок; важным при этом является соотношение вертикальных жесткостей этих силовых элементов.

Именно рациональные соотношения жестко-стных параметров упругих клемм и резиновых прокладок обеспечивают надежную работу рельсового пути, определяют оптимальные параметры вертикальной жесткости пути, особенно при использовании железобетонных шпал. В зависимости от условий эксплуатации – скорости

движения, климатических условий, осевых нагрузок, состояния шпально-рельсовой решетки и балластной призмы – выбирают и соотношения жестко-стных параметров упругих элементов.

Поэтому, начиная с 80-х годов прошлого столетия во многих зарубежных странах, в том числе в СССР, начались работы по созданию более перспективных конструкций промежуточных креплений с упругими клеммами высокой прочности и резиновыми прокладками, обладающими большими обратимыми деформациями и высокой диссипацией энергии.

В СССР было разработано универсальное крепление типа БПУ-65 (рис. 21), в котором использовались металлическая подкладка, подрельсовая и нащпальная резиновые прокладки и специальные резиновые конические втулки, фиксирующие закладные болты в требуемом положении по вертикали.

Это крепление выгодно отличалось, например, от традиционного КБ-65 (см. табл. 2) по долговечности, надежности и ремонтпригодности.

В более поздних модификациях аналогичных конструкций, например, в креплении типа ЖБР-3-65 (рис. 22) использовались упругие прутковые клеммы и резиновые прокладки ЦП-204 с улучшенными упругими свойствами; крепление было разработано в основном для использования в кривых участках пути.

Аналогичная конструкция резиновой прокладки типа ЦП-204 использовалась также и в шурупно-дюбельном креплении типа ВНИИЖТ-1 (рис. 23). По мнению авторов [4] крепление обладает рядом достоинств: простота конструкции, упрощенная технология монтажно-демонтажных работ, более низкие динамические воздействия на путь, уменьшение расстройств подшпального основания и т.д.

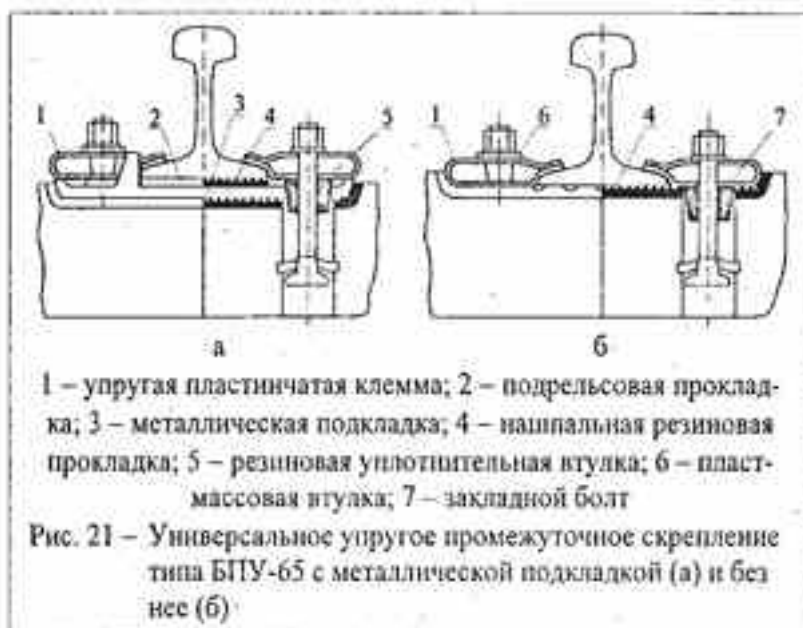


Рис. 21 – Универсальное упругое промежуточное крепление типа БПУ-65 с металлической подкладкой (а) и без нее (б)

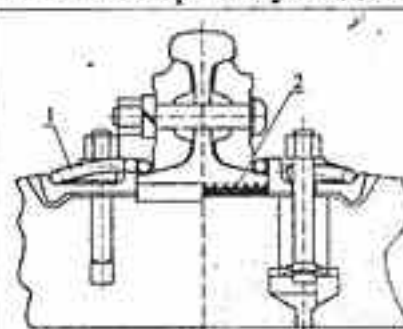
Таблица 2

Эксплуатационные характеристики	Среднее значение показателя для крепления	
	БТУ	КБ
Интенсивность уширения колес, мм/100 млн. т брутто груза	0,18-0,29	0,55
Интенсивность остаточных продольных перемещений рельсовых нитей, см/100 млн. т брутто груза	0,6-1,1	2,7-15,2
Износ подошвы рельса на контакте с клеммой, мм/100 млн. т брутто груза	0,03-0,1	0,59
период между сплошной подтяжкой болтов, млн. т. брутто груза	>150	50
Выход пружинных металлических элементов (клемм), %/100 млн. т брутто груза	1	3-5
Выход металлических подкладок, %/100 млн. т брутто груза	0,5	2-4
Предельный тоннаж для резиновых прокладок, млн. т брутто груза: подрельсовых нашпальных	600	400
	1200	800
	1200	600
Пролученный тоннаж до капитального ремонта пути с заменой шпал, млн. т брутто груза		

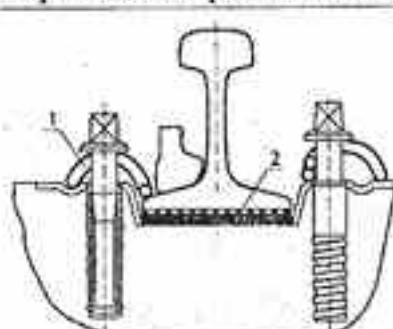
Как видно, в последнее время упругая система «упругие клеммы – резиновые прокладки» является доминирующей в промежуточных креплениях и ее жесткостные и диссипативные свойства определяют в основном пространственную жесткость всей рельсово-шпальной решетки и надежность элементов пути. Рис. 24 – рис. 29 дают общее представление о конструктивных особенностях промежуточных креплений с упругой системой, которые получили распространение на железных дорогах различных стран мира.

В последнее время предприятие НКТБ ЦП УЗ разработало ряд оригинальных конструкций промежуточных креплений для рельсового пути с деревянными и железобетонными шпалами, благодаря ряду ценных свойств такие крепления выгодно отличаются от традиционных (рис. 30 – рис. 33).

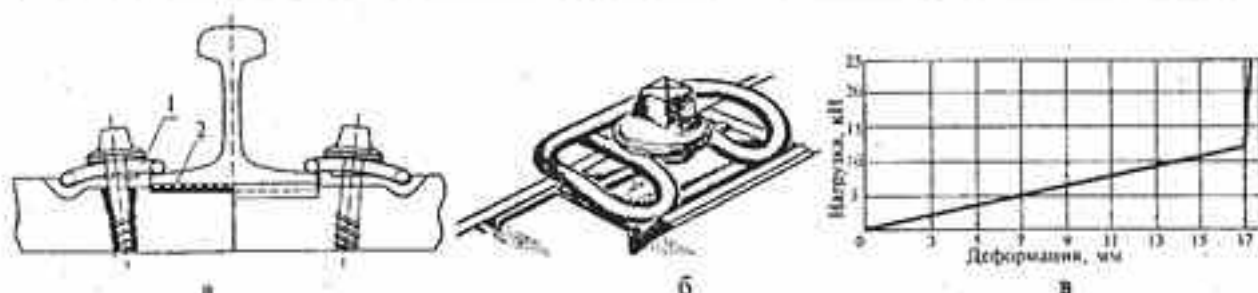
Наиболее целесообразное использование упругого крепления (рис. 33) для стрелочных переводов и повторной укладки старогодной рельсошпальной решетки с железобетонными шпалами, рассчитанными на крепление типа КБ, а также для других рельсовых путей на деревянных и железобетонных шпалах взамен жесткой клеммы типа ПК на упругую типа КП-2.



1 – упругая пружинная клемма; 2 – подрельсовая резиновая прокладка
Рис. 22 – Упругое промежуточное крепление типа ЖБР-3-65

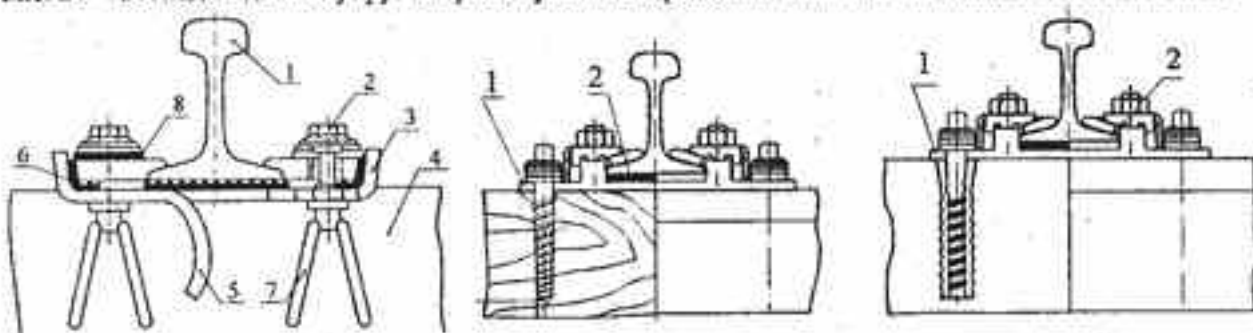


1 – упругая пружинная клемма; 2 – подрельсовая резиновая прокладка
Рис. 23 – Упругое шурупное промежуточное крепление типа ВНИИЖТ-1



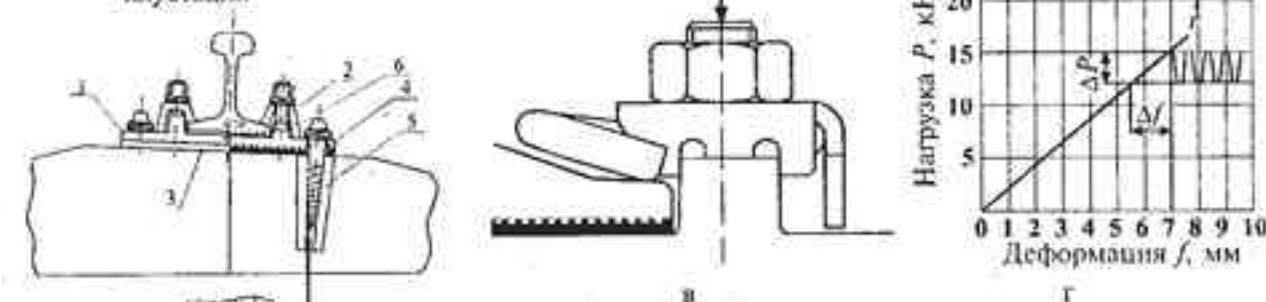
а – конструкция; б – общий вид; в – упругая характеристика креплений WS8; 1 – упругая клемма; 2 – подрельсовая резиновая прокладка

Рис. 24 – Бесподкладочное упругое промежуточное крепление типа WS8 для железобетонных шпал



1 – рельс; 2 – клеммный болт с гайкой; 3 – металлическая подкладка, «уплотненная» в верхнюю постель шпала; 4 – железобетонная шпала; 5 – элементы металлической подкладки, заделанные в бетон; 6 – резиновая рифленая прокладка; 7 – стержни (приваренные к болту), заделанные в бетон; 8 – резиновый элемент

Рис. 25 – Крепление типа Вайскинг для тяжелых условий эксплуатации

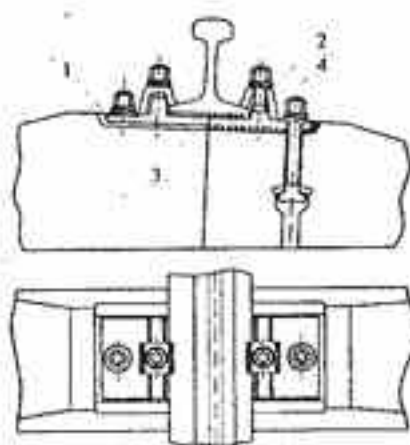


а – для деревянных шпал; б – для железобетонных шпал; в – схема действия вертикальных сил F ; г – упругая характеристика; 1 – металлическая подкладка; 2 – подрельсовая резиновая прокладка

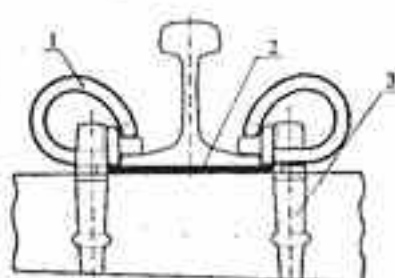
Рис. 26 – Подкладочное раздельное промежуточное крепление типа SKL-2

1 – подкладка; 2 – подрельсовая резиновая прокладка; 3 – напильная резиновая прокладка; 4 – шуруп; 5 – добель; 6 – жесткая клемма типа ПК

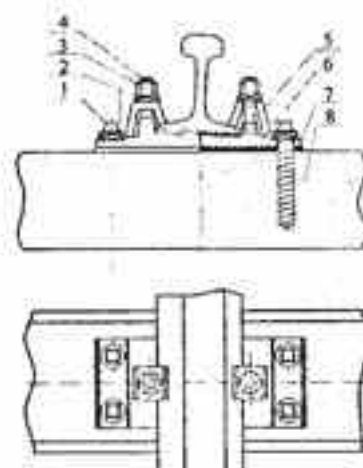
Рис. 27 – Раздельное промежуточное крепление типа К2



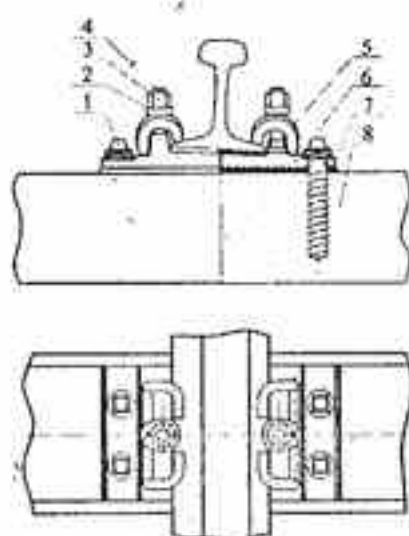
1 – подкладка; 2 – подрельсовая резиновая прокладка; 3 – нащипальная резиновая прокладка; 4 – жесткая клемма типа ПК
Рис. 28 – Раздельное промежуточное крепление типа КБ



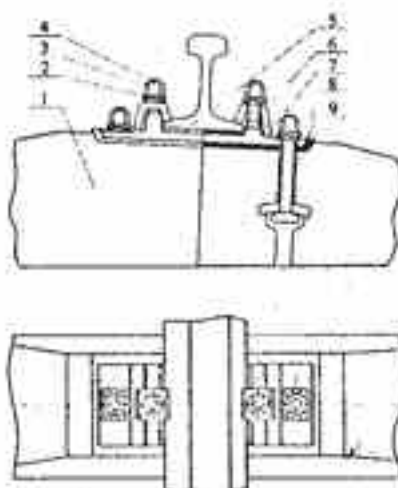
1 – упругая прутковая клемма; 2 – пластмассовая или резиновая прокладка; 3 – анкер
Рис. 29 – Нераздельное безболтовое крепление типа КПИ-1 с упругой клеммой типа КПИ-1



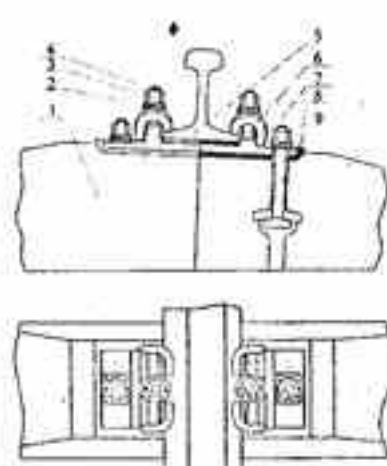
1 – шуруп путевой; 2 – шайба двухвитковая; 3 – гайка М22; 4 – болт клеммный; 5 – клемма ПК; 6 – подкладка КД; 7 – прокладка нащипальная; 8 – шпала деревянная
Рис. 30 – Раздельное промежуточное крепление с жесткими клеммами типа ПК для рельсового пути с деревянными шпалами



1 – шуруп путевой; 2 – шайба 22; 3 – гайка М22; 4 – болт клеммный; 5 – упругая клемма типа КИ-2; 6 – подкладка типа КД; 7 – прокладка нащипальная; 8 – шпала деревянная
Рис. 31 – Раздельное промежуточное крепление с упругими клеммами типа КИ-2 для рельсового пути с деревянными шпалами



1 – шпала железобетонная; 2 – шайба двухвитковая; 3 – гайка М22; 4 – болт клеммный; 5 – прокладка подрельсовая; 6 – жесткая клемма типа ПК; 7 – подкладка типа КБ; 8 – прокладка нащипальная; 9 – закладной болт
Рис. 32 – Раздельное промежуточное крепление с жесткими клеммами типа ПК для рельсового пути с железобетонными шпалами



1 – шпала железобетонная; 2 – шайба двухвитковая; 3 – гайка М22; 4 – болт клеммный; 5 – прокладка подрельсовая; 6 – упругая клемма типа КИ-2; 7 – подкладка КБ; 8 – прокладка нащипальная; 9 – закладной болт
Рис. 33 – Раздельное промежуточное крепление с упругими клеммами типа КИ-2 для рельсового пути с железобетонными шпалами

Для тоннелей и мостов требования к качеству креплений существенно повышаются и это обстоятельство заставляет создавать специальные конструкции с высокими динамическими и звукопоглощающими свойствами. Отличием таких конструкций является использование большого объема резиновых элементов в качестве демпфирующих прокладок и звукопоглощающих прослоек.

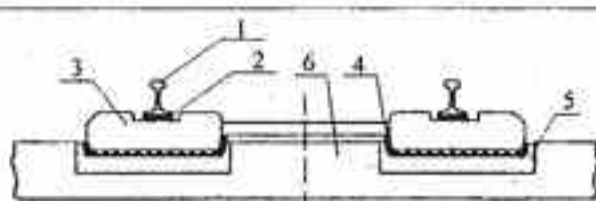
Так, в однопутном тоннеле (Швейцария) в устройстве рельсового пути (рис. 34) рельсы через резиновые прокладки опираются на железобетонные блоки, которые в свою очередь через резиновые прокладки-оболочки и цементную прослойку опираются на путевую железобетонную плиту.

На рис. 35 показано устройство плитного подрельсового основания (Япония): железобетонная плита через сплошную резиновую прокладку толщиной 20 мм опирается на цементно-асфальтовую прослойку и бетонное основание. Такое устройство позволяло существенно снизить вибрации и на 5-10 дБ снизить уровень звукового давления.

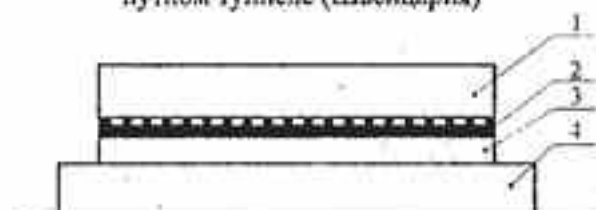
В Австрии для линий метрополитена использовались аналогичные конструкции. На рис. 36 показано устройство, в котором вместо деревянных шпал использованы полиуретановые брусья, которые через резиновую прокладку опираются на бетонную плиту. Между этой плитой помещена звукопоглощающая прослойка из стекловолокна. Такая конструкция позволяла снизить звуковое давление на 17 дБ [5].

На металлических мостах также широко используются плитные подрельсовые основания, уложенные на резиновые прокладки или резинометаллические виброизоляторы [5].

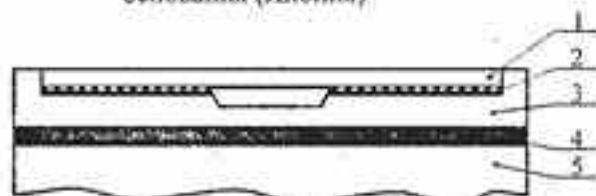
В метрополитенах стран СНГ, для которых характерны большие скорости подвижного состава и большая грузонагруженность, традиционно ис-



1 – рельс; 2 – резиновая прокладка; 3 – железобетонный блок; 4 – резиновая прокладка оболочки; 5 – путевая железобетонная плита
Рис. 34 – Устройство рельсового пути в однопутном тоннеле (Швейцария)



1 – железобетонная плита; 2 – резиновая прокладка; 3 – цементно-асфальтовая прослойка; 4 – бетонное основание
Рис. 35 – Устройство плитного подрельсового основания (Япония)



1 – полиуретановый брус; 2 – резиновая прокладка; 3 – бетонная плита; 4 – прокладка из стекловолокна; 5 – путевая бетонная плита
Рис. 36 – Устройство подрельсового основания (Австрия)

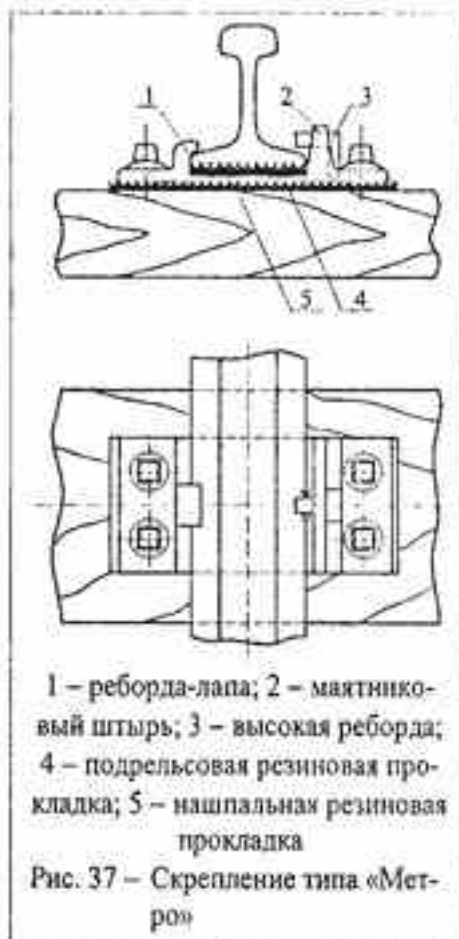
пользуются специальные раздельные крепления типа «Метро» (рис. 37). В этих креплениях подошва рельса внутренней кромкой находится под ребордой-лапой, а наружной – под маятниковым штырем, вставленным в отверстие высокой наружной реборды. Подрельсовая и напшальная резиновые прокладки повышали упругость пути и защищали деревянные шпалы от износа.

В последние годы на метрополитенах используются железобетонные рамы, установленные на путевом бетоне через резиновые виброизоляторы (г. Москва); используется также вариант виброзащитного пути с лежневым железобетонным подрельсовым основанием, установленным на путевом бетоне через специальные виброизоляционные прокладки (г. Киев).

Интересными с точки зрения снижения динамических нагрузок являются конструкции пути с железобетонными шпалами и присоединенными к ним (обычно методом приклеивания) резиновыми прокладками. Исследования [3], проведенные в России и Японии показали, что за счет установки между шпалами и балластной призмой резиновых прокладок на 50 % снижается уровень виброускорений призмы и в 1,5–2 раза уменьшается накопление в ней остаточных деформаций.

На рис. 38 показана железобетонная шпала с приклеенной к ней резиновой прокладкой толщиной 20 мм и вертикальной жесткостью примерно 100 кН/мм. Исследования [2] показали, что благодаря установке прокладок коэффициент передачи виброускорений от шпал к балласту снизился с 0,33 до 0,23; полоса частот существенно сузилась (до 140 Гц), а уровень динамических сил, передаваемых на балластную призму, снизился в 1,4 раза.

Помимо этого, использование пути с виброзащитными шпалами привело к следующим положительным эффектам: вертикальная жесткость рельсового пути на опытном участке в летнее и зимнее время изменялось не более чем на 10 % против 20 % в типовой конструкции; путь



по протяжению и во времени стал более равноупругим и стабильным.

Для крепления рельсов к безбалластному эстакадному основанию предложены [7] двухподкладочные крепления с резиновыми прокладками; крепление отличается повышенными вибропоглощающими свойствами.

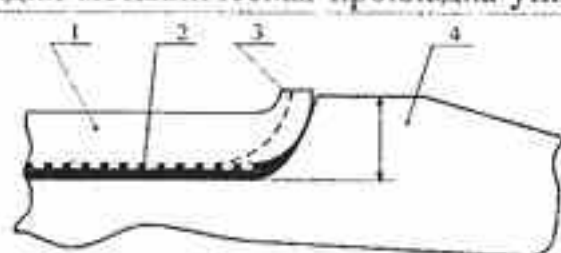
Для аналогичных безбалластных оснований предложен [8] также контейнерный вариант рельсовых креплений, в котором рельс вместе с упругим соединением укладывается в специальный металлический или пластмассовый короб. Упругое соединение состоит из двух резиновых прокладок толщиной 12 мм, разделенных фанерной прокладкой, и деревянного бруса. Вертикальный модуль такого крепления находится в пределах 50-100 Н/мм².

Некоторые особенности разрушения элементов промежуточных креплений на железобетонных шпалах. К промежуточным креплениям рельсового пути на железобетонных шпалах предъявляются повышенные требования, связанные прежде всего с большой вертикальной жесткостью пути по сравнению с подрельсовым основанием на деревянных шпалах. В летнее время вертикальный модуль упругости вместо оптимального может достигать до 2000 МПа, а в зимнее время до 4900 МПа [5].

Несмотря на стабильность ширины колеи на железобетонных шпалах на участках кривых радиусом меньше 600 мм вследствие повышенной боковой жесткости пути в месте контакта с наружной кромкой подкладки может происходить разрушение резиновой прокладки (рис. 39). Это явление характерно для таких промежуточных креплений как КБ, БПУ и других, в которых после разрушения резиновой прокладки металлическая прокладка упирается в шпалу и скалывает часть бетона.

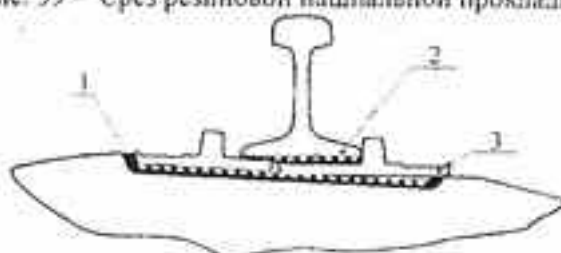
В дальнейшем, как правило, наблюдается отжатие рельса и подкладка, двигаясь в поперечном направлении, выползает из углубления в шпале. В конечном итоге, может произойти излом подкладки (рис. 40) и, как следствие, недопустимое уширение колеи [3].

Излом металлических подкладок под средней частью подошвы рельса (рис. 41) может произойти и вследствие больших динамических нагрузок. При этом излом подряд трех подкладок, например, в креп-



1 – подкладка; 2 – нащипальная резиновая прокладка; 3 – положение подкладки до среза прокладки; 4 – шпала

Рис. 39 – Срез резиновой нащипальной прокладки



1 – резиновая прокладка; 2 – рельс; 3 – подкладка

Рис. 40 – Сдвиг подкладки по наружной нити кривой после скола бетона шпалы

лении КБ-65 может вызвать периодическое упругое отжатие рельса, что, в свою очередь, может привести к расстройству соседних скреплений, к разрушению железобетонных шпал и, в конечном итоге, к недопустимому уширению колеи.

Рассмотренные промежуточные скрепления с упругими клеммами и резиновыми прокладками далеко не исчерпывают всего многообразия конструкций, существующих в мировой инженерной практике. Помимо них существует довольно много оригинальных конструкций, описанных в литературе, которые в силу своей сложности, металлоемкости, недостаточной надежности или чисто по экономическим соображениям не вышли за пределы опытных образцов.

Коммерческий рынок диктует свои правила и такие особенности скреплений как простота конструкции, надежность, высокие динамические и вибропоглощающие свойства, низкая цена, ремонтпригодность, возможность применения специальных устройств для механизации монтажно-демонтажных работ и т.д. играют доминирующую роль. Свою долю, и далеко не малую, вносят и климатические условия.

Среди многообразия конструкций промежуточных скреплений для железных дорог разных стран мира трудно выделить обобщенные тенденции дальнейшего их развития. Вопрос развития железных дорог сомнения не вызывает: скорости поездов и грузонагруженность пути безусловно будут возрастать. Вследствие этого в системе «колесо-рельс» будут увеличиваться динамические нагрузки, сопровождающиеся повышением амплитуд высокочастотных колебаний, ростом уровня звукового давления, увеличением передачи усилий на подрельсовое основание и т.д.

Без введения в силовую цепь скреплений специальных упруго-диссипативных звеньев типа упругих клемм и резиновых прокладок эти крайне нежелательные явления вряд ли удастся устранить, а без этого интенсификация движения подвижного состава практически невозможна.

Поэтому бесспорным остается тот факт, по крайней мере для европейских стран, что упругая система «упругие клеммы – резиновые прокладки» на ближайшее время (ориентировочно на 20 лет) будет преобладающей. Этому будут способствовать как чисто конструктивные особенности системы – простота конструкции, малая металлоемкость, надежность, хорошие вибропоглощающие свойства, доступная цена, ремонтпригодность и т.д., позво-



ляющие существенно снизить динамические нагрузки и повысить надежность пути, так и наличие уже разработанных конструкционных материалов – высокопрочных сталей и высокодемпфирующих резин, а также новых технологий их изготовления.

На железных дорогах Украины используются в большинстве случаев такие же промежуточные скрепления как и в России и в других странах СНГ. Большинство из них рассмотрено выше; к ним относятся скрепления типов КБ, Д2, Д4, Д4у, К2, ЖБ, ЖБР, БП, СБ-3 и другие.

Выводы. Как видно из приведенного обзора, универсальных конструкций рельсовых скреплений практически не существует; связано это с различными условиями эксплуатации, различным состоянием подвижного состава и рельсового пути, климатическими условиями и, далеко не в последнюю очередь, с экономическими возможностями.

На взгляд автора, такие универсальные скрепления для всех существующих железных дорог вряд ли возможно создать. Тем не менее уже сегодня со всей очевидностью определился класс скреплений, которые являются явно предпочтительными по своим динамическим характеристикам, ремонтпригодности, малоэлементности, экономичности и т.д.

Для создания таких скреплений с высоким индексом качества длительная инженерная практика выработала ряд конструктивных и технологических правил, и установила границы изменения параметров из числа тех, которые наиболее существенно влияют на процессы взаимодействия подвижного состава и рельсового пути. Эти правила и параметры в дальнейшем могут использоваться в разработках новых конструкций скреплений. В обобщенном виде их можно свести к следующему.

1. Скрепление должно быть по возможности малоэлементным, обладать простой конструкции, надежностью, иметь оптимальные динамические и вибропоглощающие свойства, быть ремонтпригодным, обеспечивать наибольшую точность по ширине колеи, позволять использовать специальные устройства для механизации монтажно-демонтажных работ, быть экономически выгодным.
2. В силовую схему скреплений должны быть включены упруго-диссипативные звенья типа упругих клемм и резиновых прокладок, как наиболее соответствующих современным требованиям по скорости и грузонапряженности; статические и динамические параметры клемм и прокладок должны находиться в оптимальном соотношении.
3. Конструкции скреплений за счет различной высоты резиновых прокладок и специальных прокладок-регуляторов должны позволять регулировку положения рельсов по выюте и в плане.

4. Конструкции скреплений должны обеспечить однородность пути по его протяжению, для чего следует обеспечить постоянство усилий натяжения прикрепителей.
5. Скрепления должны обеспечить пространственную упругость рельсового пути – по вертикали, горизонтали, поперек и вдоль пути – при любых динамических нагрузках, при этом общая вертикальная жесткость скрепления должна изменяться в пределах допустимых значений от степени загрузки рельса (осевых нагрузок на колеса), климатических условий, состояния подвижного состава и рельсового пути.
6. Физико-механические параметры скреплений должны быть такими, чтобы уменьшить до минимума высокочастотные колебания, обеспечить оптимальные свойства рельсового пути, надежность и стабильность его функционирования в течение всего времени эксплуатации. Для этого основные параметры должны быть следующими:
 - вертикальная жесткость узла скрепления должна находиться в пределах 40-60 МН/м;
 - жесткость узла скрепления при поперечном отжатии рельса должна быть 20-25 МН/м, а при кручении рельса 100-200 кН · м/рад;
 - прижатие рельса к опоре должно быть таковым, чтобы суммарное прижатие одного рельса на опоре было не ниже 20 кН;
 - регулировка положения рельса по высоте должна быть не менее 15-20 мм и в плане в среднем до 20-15 мм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вершиг М.Ф., Коган А.Я. Взаимодействие пути и подвижного состава. – М.: Транспорт, 1986. – 559 с.
2. Управление надежностью бесстыкового пути / Под ред. В.С. Лысаюка. – М.: Транспорт, 1999. – 373 с.
3. Бесстыковой путь / Под ред. В.Г. Альбрехта и А.Я. Когана. – М.: Транспорт, 2000. – 408 с.
4. Куницын В.В. Современные конструкции и параметры промежуточных рельсовых скреплений для железобетонных шпал // Повышение надежности работы верхнего строения пути. – М.: Интекст, 2000. – С. 100-129.
5. Шахуняц Г.М. Железнодорожный путь. – М.: Транспорт, 1987. – 408 с.
6. Инструкция по устройству и удержанию колій залізниць України / Е.І. Даниленко, А.М. Орловський, А.П. Татуревич та інші. – К.: Транспорт України, 1999. – 248 с.
7. Хвостик Г.С. Крепление рельсов к безбалластному эстакадному основанию // Применение железобетона в верхнем строении железнодорожного пути. Сб. научн. Тр.; под ред. И.В. Амеличева. – М.: Транспорт, 1984. – 120 с.
8. Иванюк И.А., Амеличев И.И. Новый тип крепления рельсов к стабильному основанию // Применение железобетона в верхнем строении железнодорожного пути // Сб. научн. Тр.; под ред. И.В. Амеличева. – М.: Транспорт, 1984. – 120 с.
9. Проспекты фирмы «Vossloh» (системы рельсового скрепления).
10. Проспект фирмы «Fiskars».
11. Материалы Международной выставки «Железнодорожный транспорт'86» в Москве, 1986.
12. Ермаков В.М., Федин В.М., Борн А.И. Оценка качества и совершенствование элементов верхнего строения // Путь и путевое хозяйство. – М.: МК-Полиграф, 2000. – № 3. – С. 20-23.
13. Афанасьев В.Ф. Упругие скрепления для деревянных и железобетонных шпал // Путь и путевое хозяйство. – М.: МК-Полиграф, 2000. – № 3. – С. 23-25.