

06
254

МІНІСТЕРСТВО ТРАНСПОРТУ УКРАЇНИ



ВІСНИК

Дніпропетровського національного
університету залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

Випуск 2

Дніпропетровськ
2003

Дніпропетровський національний університет
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

В І С Н И К

*Дніпропетровського національного університету
залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна*

Випуск 2

Дніпропетровськ
2003

ББК 39.2
В53
УДК 625.1+626.2

Редакційна колегія:

Доктори технічних наук: Пшінько О. М. (головний редактор), Блохін Є. П., Коротенко М. Л., Браташ В. О., Боднар Б. Є., Савчук О. М., Разгонов А. П., Гетьман Г. К., Дубинець Л. В., Доманський В. Т., Костін М. О., Рибкін В. В., Данович В. П., Даніленко Е. І., Біляєв М. М., Петренко В. М., Казакевич М. І., Пунагін В. М., Босов А. А., Жуковицький І. В., Хандецький В. С., Загарій Г. І., Шафіт Є. М.; доктори фізико-математичних наук: Кравець В. В., Гаврилук В. І.; доктор хімічних наук Плахотнік В. М; доктори економічних наук: Покотілов А. А., Крамаренко В. Д., Бабіч В. П., Драгун Л. М., Зайцева Л. М; канд. техн. наук Корженевич І. П. (відповідальний секретар).

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації КВ № 7704. Вида-
не Державним комітетом телебачення і радіомовлення України 08.08.2003 р.

Друкується за рішенням вченої ради Дніпропетровського національного університету
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.

В статьях отражены научные исследования, выполненные в авторами в Днепропетровском национальном университете железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, а также в других научно-исследовательских и учебных заведениях Украины, Российской Федерации, Белоруссии, Германии. Статьи посвящены разработке и внедрению новых конструкций железнодорожного пути, вопросам взаимодействия пути и подвижного состава, совершенствованию системы содержания железнодорожного пути.

Сборник представляет интерес для инженерно-технических работников, работников научно-исследовательских организаций, преподавателей высших учебных заведений, аспирантов, магистрантов и студентов изучающих вопросы: железнодорожный путь, путевое хозяйство, строительство железных дорог.

**Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна. – Вип. 2. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн.**

В53 трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2003. – 200 с.

У статтях відображені наукові дослідження, виконані авторами в Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, а також в інших науково-дослідних і навчальних закладах України, Російської Федерації, Білорусії, Німеччини. Статті присвячені розробці і впровадженню нових конструкцій залізничної колії, питанням взаємодії колії і рухомого складу, удосконалюванню системи утримання залізничної колії.

Збірник становить інтерес для інженерно-технічних працівників, працівників науково-дослідних організацій, викладачів вищих навчальних закладів, аспірантів, магістрантів і студентів вивчаючих питання: залізнична колія, колійне господарство, будівництво залізниць.

ББК 39.2

© Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн.
трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2003

**Памяти
нашего учителя**

профессора

**Фришмана
Моисея Абрамовича**



БИОГРАФИЧЕСКИЙ ОЧЕРК О МОИСЕЕ АБРАМОВИЧЕ ФРИШМАНЕ

Моисей Абрамович Фришман родился 27 января 1913 года в г. Великие Луки. Трудовую деятельность начал с 15 лет, был техником-землеустроителем. Затем несколько лет работал техником на железнодорожном транспорте. В 1937 г. после окончания МИИТа был оставлен в аспирантуре, и в 1940 г. защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук, в которой рассматривались явления угона пути.

С ноября 1940 г. М. А. Фришман работает на кафедре «Путь и путевое хозяйство», одновременно он становится деканом строительного факультета ДИИТа.

С 1941 по 1944 г. М. А. Фришман – доцент НИИЖТа. В июне 1944 г. он возвращается в ДИИТ и возглавляет кафедру пути до 1946 г.

В 1949 г. Моисей Абрамович защищает диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук. Его диссертация и первая монография посвящены исследованию взаимодействия пути и подвижного состава расчетными и экспериментальными методами, в том числе с применением высокочастотной киносъемки.

С 1950 года М. А. Фришман – профессор, а с 1955 г. заведующий кафедрой пути и путевого хозяйства ДИИТа.

В 1958 г. он был организатором научно-исследовательской путеиспытательной лаборатории и бессменным её научным руководителем до кончины. Кафедра и лаборатория под руководством М. А. Фришман стали крупным научным центром, изучающим вопросы взаимодействия подвижного состава и пути.

Здесь были проведены значительные работы по совершенствованию расчета пути на прочность, в том числе по изучению расчетных характеристик пути и применению ЭВМ.

Кафедра и лаборатория принимали активное участие в испытаниях по воздействию на путь нового подвижного состава, в исследованиях и внедрении железобетонных подрельсовых оснований. Для выполнения этих задач под руко-

водством профессора М. А. Фришман была создана мощная исследовательская база.

За исследования в области внедрения пути с железобетонными шпалами М. А. Фришман был удостоен серебряной медали ВДНХ. Под руководством М. А. Фришман его ученики защитили более 30 кандидатских диссертаций.

Основные научные разработки, выполненные на кафедре и в лаборатории под руководством М. А. Фришмана:

- впервые в мире был применен метод аналогового моделирования для исследования взаимодействия пути и подвижного состава;
- впервые в мире разработана и изготовлена колесная пара для непрерывного измерения контактных сил между колесом и рельсом;
- проведены натурные испытания взаимодействия пути и подвижного состава при скорости 250 км/ч (рекорд СНГ до сих пор);
- разработаны, уложены в путь и испытаны новые конструкции железобетонных подрельсовых оснований, блочные для обычного пути, для стрелочных переводов, для туннелей (впервые в странах СНГ);
- разработано и изготовлено устройство для измерения модуля упругости подрельсового основания (сегодня – единственное в странах СНГ);
- разработан и изготовлен опытный экземпляр устройства для бесконтактного измерения геометрических неровностей железнодорожного пути (впервые в странах СНГ);
- велись теоретические и лабораторные исследования по проектированию транспортной системы на магнитном подвешивании (впервые в странах СНГ).

М. А. Фришман был автором и соавтором более 200 научных трудов. Среди них хорошо известные монографии и учебные пособия: «Взаимодействие пути и подвижного состава», «Земляное полотно железных дорог», «Железнодорожные пути металлургических заводов».

Большой популярностью среди путейцев заслуженно пользовалась его книга «Как работает путь под поездами», которая выдержала шесть изданий, в том числе два за рубежом.

Под руководством М. А. Фришман, начиная с 1953 г., в ДИИТе стал выходить сборник научных трудов, посвященный вопросам путевого хозяйства. В дальнейшем он превратился в межвузовский сборник трудов по исследованию взаимодействия пути и подвижного состава. Выпускается он до настоящего времени и является одним из наиболее известных изданий в этой области.

М. А. Фришман был известен как блестящий педагог, лектор и воспитатель молодежи. Он придавал большое значение техническим средствам обучения. Оборудованная по его за-

мыслам аудитория получила бронзовую медаль ВДНХ.

Моисей Абрамович очень любил юмор. В его записных книжках можно найти анекдоты и описанные различные комические ситуации. На шутки студентов и преподавателей Моисей Абрамовичем никогда не обижался. В студенческих общежитиях ДИИТа большой популярностью пользовались аудиокассеты с записями анекдотов, наговоренные лично Моисеем Абрамовичем.

М. А. Фришман и созданная им научная школа оказали большое влияние на развитие путейской науки, подготовили сотни ученых и специалистов в области путевого хозяйства. Моисей Абрамович относится к числу тех немногих ученых, вклад которых в развитие науки сложно переоценить.

Материал подготовили В. В. РЫБКИН, Е. А. КУТНЫЙ

ВОСПОМИНАНИЯ ПРОФЕССОРА Т. Г. ЯКОВЛЕВОЙ (МИИТ)

Я познакомилась с этим обаятельным человеком в 1953 году – он был вторым оппонентом по моей кандидатской диссертации. Но особенно дружеские отношения у нас установились с 1962 года, когда Моисей Абрамович пригласил меня быть его соавтором при создании нового учебного пособия «Земляное полотно железных дорог», которое было выпущено издательством «Транспорт» в 1964 году. Когда мы работали над этой книгой, Моисей Абрамович часто приезжал в Москву, бывал у нас дома и подружился с моим мужем. В это время мы часто вели душевные беседы на самые разнообразные темы, при этом Моисей Абрамович показывал незаурядную эрудицию и свой мягкий и вместе с тем настойчивый характер.

Когда у Моисея Абрамовича должен был родиться внук (или внучка) он попросил нас купить в Москве и прислать в Днепропетровск набор вещей для новорожденного. Мы с мужем долго гадали, какой надо покупать конверт: голубой или розовый и в конце концов послали с проводником конверт бледно-сиреневого цвета.

О Моисее Абрамовиче у меня сохранились самые теплые, добрые воспоминания.

Когда я защищала докторскую диссертацию, он очень меня поддержал своим объективным и великолепным отзывом на автореферат.

Образ милого, отзывчивого, умного, обаятельного человека и отличного специалиста-путейца останется со мной на всю оставшуюся жизнь.

ВОСПОМИНАНИЯ ДОЦЕНТА Р. С. ЛИПОВСКОГО (ДИИТ)

Человечество делится условно на людей ведущих и ведомых. Моисей Абрамович относился к числу явных лидеров. Поэтому когда он стал заведующим кафедрой «Путь и путевое хозяйство» ДИИТа, все его устремления были направлены на то, чтобы и кафедра стала одной из ведущих среди кафедр транспортных вузов страны. Это свое желание ему удалось реализовать. Так, например, до него на кафедре не было защищено ни одной диссертации, в его же бытность заведующим кафедрой было защищено более 30 кандидатских диссертаций. Он понимал, что выполнения научных работ только лишь за счет наблюдений за работой конструкции в пути и сбора статистического материала явно недостаточно. Необходимы исследования прочностных и других характеристик элементов пути, возникающих при его взаимодействии с подвижным составом. А такие данные возможно получить лишь в результате выполнения экспериментальных исследований. Поэтому он много своей кипучей энергии потратил на создание лаборатории, позволяющей изучить условия взаимодействия подвижного состава и пути.

Возможности создания такой лаборатории во многом способствовали личные качества Моисея Абрамовича – его коммуникабельность, доброта, целеустремленность. Созданная под его руководством путепытательная лаборатория при кафедре «Путь и путевое хозяйство» по ряду параметров превосходила единственную в то время лабораторию на железнодорожном транспорте Советского Союза, имевшуюся в отделении пути ЦНИИ МПС. Работа путепытательной лаборатории послужила основой ряда исследований, которые в дальнейшем легли в основу диссертаций, выполненных на кафедре. Создание лаборатории и ее оснащение современными на то время измерительными средствами и пополнение высококвалифицированными кадрами было сопряжено с преодолением невероятных трудностей в условиях фондируемого и планируемого народного хозяйства.

На передовых позициях находился Моисей Абрамович и в организации учебного процесса. Под его руководством была создана лекционная аудитория, оборудованная прогрессивными техническими средствами обучения. Также был создан класс программного обучения. Учебная лаборатория по путевому хозяйству была оснащена прогрессивными обучающими средствами, наглядными стендами и приборами, а также современным электроисполнительным инструментом.

Много внимания уделял Моисей Абрамович доходчивому, можно сказать, популярному изложению сложных вопросов взаимодействия подвижного состава и пути. Примером этому может послужить написанная им и неоднократно переиздаваемая книга «Как работает путь под поездами». Написанные им или изданные под его редакцией книги излагались доходчивым для линейных работников языком и сопровождались иллюстрациями, позволяющими составить объемное представление о конструкции.

Большое внимание уделял Моисей Абрамович организации тесной связи кафедры с производством.

Первым в СССР М. А. Фришман организовал защиту дипломных проектов на производстве. Благодаря ему, возникли ныне традиционные дни науки на производстве (на железных дорогах). Вся кафедра под его руководством принимала в них участие.

Большие усилия прилагал Моисей Абрамович для создания на кафедре дружеской и творческой атмосферы, и ему удалось создать коллектив единомышленников.

Вклад Моисея Абрамовича в дело становления кафедры «Путь и путевое хозяйство» поистине неоценим. И поэтому в результате единой оценки его труда сотрудники кафедры добились присвоения кафедре «Путь и путевое хозяйство» имени М. А. Фришмана.

В. В. РЫБКИН, К. В. МОЙСЕЕНКО (ДИИТ)

ИСТОРИЯ, ДОСТИЖЕНИЯ, ПЕРСПЕКТИВЫ ОТРАСЛЕВОЙ ПУТЕИСПЫТАТЕЛЬНОЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ ДНЕПРОПЕТРОВСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА ИМЕНИ АКАДЕМИКА В. ЛАЗАРЯНА

У статті подана історія розвитку і основні напрямки діяльності Галузевої колієвипробувальної науково-дослідної лабораторії Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.

В статье приведена история развития и основные направления деятельности Отраслевой путеепытательной научно-исследовательской лаборатории Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна.

The history and the basic research directions of Branch track testing research laboratory of Dnepropetrovsk national university of railway transport named after academician V. Lazarjan are given in the article.

Отраслевая путеепытательная научно-исследовательская лаборатория Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна была основана в 1958 году по инициативе доктора технических наук профессора Моисея Абрамовича Фришмана в соответствии с приказом МПС СССР № П-41805 от 17 декабря 1957 года в целях более эффективного использования научного потенциала сотрудников кафедры для решения практических проблем, возникающих перед железнодорожным транспортом.

Этим приказом (за подписью заместителя министра путей сообщения В. Гаврилова) при кафедре «Путь и путевое хозяйство» Днепропетровского института инженеров железнодорожного транспорта (ДИИТ) создавалась путеебследовательская станция, которой «... для ведения исследовательских работ непосредственно на линии» придавался путеизмерительный вагон № 72 Сталинской (сейчас Приднепровской) железной дороги, поручалось Главному управлению пути «... предоставить ДИИТу для организуемой станции необходимое оборудование из фондов, выделяемых для путевого хозяйства на 1958 год» и выделялись средства на содержание штата станции в количестве 6 человек.

Благодаря энергии заведующего кафедрой пути профессора М. А. Фришмана, первого руководителя станции кандидата технических наук доцента Рувима Самойловича Липовского, уже к середине 1958 года путеебследователь-

ская станция начала активно работать для путевого хозяйства железных дорог и других предприятий СССР.

Первые выполненные работы выявили основное направление научной деятельности кафедры и станции – исследование взаимодействия пути и подвижного состава экспериментальным путем и с помощью теоретических расчетов. Особенностью теоретических расчетов взаимодействия была автоматизация теоретических исследований, широкое применение сначала электроаналоговых моделей, а потом аналоговых электронных вычислительных машин (МН-7, «Аналог-1», АВК-2 и других). Тогда впервые в Советском Союзе были выполнены массовые расчеты взаимодействия пути и подвижного состава с помощью вычислительных машин – это был качественный рывок в исследованиях. Благодаря этому, в сжатые сроки были закончены работы по усовершенствованию продольного профиля острых крестовин, исследованию воздействия на путь 6-осных полувагонов, совершенствованию конструкции и продольного профиля тупых крестовин перекрестных стрелочных переводов.

К середине 60-х годов полностью сформировался коллектив лаборатории, была создана ее материальная база. Благодаря усилиям первых сотрудников лаборатории: Фаины Тевьевны Виногородской, Вячеслава Павловича Волкотруба, Леонида Яковлевича Воробейчика, Людмилы Дмитриевны Даниленко, Владимира Ивановича Климова, Владимира Ананьевича Маковского, Анатолия Петровича Трякина,

Залмана Александровича Шульмана под руководством нового заведующего лабораторией кандидата технических наук доцента Анатолия Николаевича Орловского было закончено проектирование и изготовление комплекса тензометрической аппаратуры для определения напряженно-деформированного состояния пути, оборудован вагон-лаборатория, разработаны новые на то время методы проведения исследований.

Объемы выполненных работ, их качество, значимость для путевого хозяйства и научный уровень послужили основанием для того, что в 1966 году путеобследовательская станция получила статус отраслевой научно-исследовательской лаборатории и получила сегодняшнее название «отраслевая путеиспытательная научно-исследовательская лаборатория», ее научным руководителем стал Моисей Абрамович Фришман.

В начале 70-х годов, в связи с появлением на сети железных дорог большого количества рельсов тяжелого типа, новых серий локомотивов и вагонов, необходимостью повышения скоростей движения поездов, особую остроту получил вопрос уточнения правил расчета пути на прочность. По инициативе профессора М. А. Фришмана коллектив сотрудников кафедры и лаборатории занялся исследованиями модуля упругости пути – одной из основных характеристик пути, влияющих на показатели его напряженно-деформированного состояния. Для решения этой задачи было спроектировано и изготовлено специальное гидравлическое устройство, с помощью которого можно измерять упругие характеристики пути в вертикальном и горизонтальном направлениях (это устройство смонтировано на базе крытого грузового вагона с автономным источником питания). В течение пяти лет был выполнен обширный комплекс исследований, результаты которого позволили в значительной мере улучшить качество расчетов за счет использования более достоверных исходных данных.

Еще в 1962 году в ДИИТе начались исследования конструкций пути и стрелочных переводов на железобетонных основаниях (плиты, рамы, брусья). А в 1971 году были проведены комплексные исследования напряженно-деформированного состояния первого в Советском Союзе стрелочного перевода на железобетонных брусьях; при испытаниях была достигнута скорость 160 км/ч. За 15 лет (с 1962 по 1977 г.) было исследовано более 10 конструкций пути и стрелочных переводов на железобе-

тонных основаниях, что позволило в значительной степени усовершенствовать конструкцию железобетонных оснований и ускорить внедрение в путевом хозяйстве оснований этого типа.

Очень интересной и значительной была работа (1972 г.) по исследованию воздействия на путь скоростного экипажа СВЛ с реактивной тягой. Сотрудниками конструкторского бюро авиаконструктора Яковлева совместно с учеными ДИИТа под руководством академика В. А. Лазаряна был сконструирован железнодорожный вагон, двигателем которого служили две авиатурбины. Путеиспытательная лаборатория выполнила комплекс экспериментальных и теоретических исследований пути под воздействием поездной нагрузки, движущейся с высокими скоростями. Во время испытаний на участке Березановка – Новомосковск Приднепровской железной дороги была реализована скорость 250 км/ч.

В 70-х–начале 80-х годов в лабораторию пришло второе поколение сотрудников: Василий Васильевич Андрашко, Вера Николаевна Бурчак, Василий Павлович Гнатенко, Нина Федоровна Додаток, Павел Павлович Змеул, Людмила Ивановна Савельева, Виктор Владимирович Савицкий, Нина Петровна Савицкая, Алла Ивановна Сорокопуд, Елена Александровна Торопина. Их усилиями усовершенствован и смонтирован на новом вагонелaborатории комплект тензометрической аппаратуры второго поколения, существенно автоматизирован процесс получения и обработки экспериментальных данных. Большую роль сыграл в этом заведующий лабораторией с 1983 по 1993 г. кандидат технических наук старший научный сотрудник А. П. Трякин.

Исследования воздействия на путь и стрелочные переводы нового подвижного состава – это отдельная страница деятельности лаборатории. За время существования лаборатории было испытано более 20 новых типов локомотивов и вагонов. Все без исключения транспортеры грузоподъемностью от 55 до 500 т были испытаны у нас. Ниже приведены основные из них:

- 1960 г. – 6-осн. полувагоны на тележках КУВЗ и УВЗ-10;
- 1965 г. – транспортеры грузоподъемностью 55, 120 и 150 т;
- 1969 г. – транспортеры грузоподъемностью 62 и 140 т;
- 1970 г. – транспортеры 110 и 400 т;
- 1972 г. – макет электровоза С-40;

- 1974 г. – транспортер грузоподъемностью 200 т;
- 1976 г. – транспортер грузоподъемностью 290 т;
- 1977 г. – транспортер грузоподъемностью 500 т;
- 1979 г. – тепловоз ЧМЭ-3Г;
- 1980 г. – электровоз ВЛ84;
- 1981 г. – тепловоз 2ТЭ121;
- 1981 г. – тепловоз ТЭП70;
- 1982 г. – тепловоз 2ТЭ116А;
- 1983 г. – транспортер грузоподъемностью 300 т (МАН ФРГ);
- 1984 г. – электровоз ВЛ85;
- 1988 г. – грузовые вагоны на унифицированных тележках с нагрузкой на ось 25 т;
- 1989 г. – электровоз ВЛ85 с нагрузкой на ось 230 кН;
- 1997 г. – первый украинский электровоз ДЭ1;
- 1998 г. – электровоз ДЭ1 в режиме рекуперации;
- 2001 г. – дизель-поезд ДЭЛ01 и электропоезд ЭПЛ2Т;
- 2002 г. – электропоезд ЭПЛ9Т;
- 2003 г. – скоростной электровоз ДС3.

На основании выполненных исследований разработаны условия обращения на сети железных дорог этих типов подвижного состава.

Не менее важной работой для путевого хозяйства является определение допустимых скоростей движения по новым конструкциям пути и стрелочных переводов. Ограничимся коротким перечнем конструкций, испытанных лабораторией:

- перекрестные стрелочные переводы типов Р65 и Р50 марки 1/9 с тупыми крестовинами жесткими и с непрерывной поверхностью катания;
- стрелочный перевод марки 1/11 типа Р65 с подуклонкой на железобетонных брусках;
- стрелочный перевод марки 1/7 типа Р50 на железобетонных плитах;
- стрелочный перевод марки 1/11 типа Р50 на железобетонных брусках;
- облегченные крестовины типов Р50 и Р65 марок 1/9 и 1/11;
- глухие пересечения на совмещенной колеи;
- путь с упругими скреплениями (БП, RN, КПП);
- стрелочные переводы типа Р65 марки 1/9 и 1/11 на железобетонных брусках различных проектов и производителей.

Последние десять лет много внимания кафедры и лаборатория отводят разработке нормативно-технической документации по заказу Главного управления путевого хозяйства Укрзализныци. За истекшие 12 лет разработано более 25 инструкций и других нормативных документов. В их числе: «Инструкция по устройству и содержанию пути железных дорог Украины», «Правила определения возвышения наружного рельса и установления допустимых скоростей в кривых участках пути», «Инструкция по снегоборьбе на железных дорогах Украины», «Классификация и каталог дефектов рельсов», «Инструкция по содержанию и ремонту деревянных шпал и брусьев», проект приказа Укрзализныци «Нормы допустимых скоростей движения подвижного состава по железнодорожных путях Государственной администрации железнодорожного транспорта Украины шириной 1520 (1524) мм».

С 1994 по 1997 год лабораторией заведовал кандидат технических наук доцент Александр Михайлович Патласов. При его активном участии в лаборатории начали широко применяться современные компьютерные технологии обработки экспериментальных данных, текстовых и графических материалов, получила дальнейшее развитие автоматизированная система управления путевым хозяйством АСУ-путь.

На сегодняшний день ОНИЛ активно сотрудничает с Главным управлением путевого хозяйства Укрзализныци, ГХК «Лугансктепловоз», Днепропетровским электровозостроительным заводом, Приднепровской, Одесской, Львовской и Юго-Западной железными дорогами, Днепропетровским и Керченским стрелочными заводами, поддерживает тесные контакты с Всероссийским научно-исследовательским институтом железнодорожного транспорта, другими предприятиями Украины и СНГ.

В лаборатории работает 17 человек, из них 2 кандидата технических наук. По совместительству в лаборатории работает вся без исключения кафедра «Путь и путевое хозяйство» нашего университета – а это 2 доктора технических наук и 9 кандидатов наук. В лаборатории имеется два вагона-лаборатории, современное оборудование для получения и обработки данных об напряженно-деформированном состоянии пути.

За время существования лаборатории выполнено более 450 научно-исследовательских работ, сотрудниками кафедры и лаборатории опубликовано свыше 1500 статей в научных и

практических изданиях, за результатами, полученными с участием сотрудников лаборатории, защищено 3 докторских и 41 кандидатская диссертации.

Лаборатория жива и плодотворно работает по следующим направлениям:

- разработка условий обращения на сети дорог нового подвижного состава;
- определение допускаемых скоростей движения по новым конструкциям пути на основе динамико-прочностных испытаний и теоретических расчетов;
- совершенствование средств диагностики и системы мониторинга пути;
- разработка автоматизированной системы управления путевым хозяйством с исполь-

зованием современных компьютерных технологий;

- совершенствование системы ведения путевого хозяйства (разработка технологий выполнения ремонтов пути, определение рациональных нормативов содержания пути и т. д.);
- разработка нормативной документации;
- разработка и дальнейшее усовершенствование моделей взаимодействия колеи и подвижного состава и программных комплексов, которые реализуют эти модели;
- разработка и совершенствование методов экспериментальных исследований железнодорожного пути.

М. Д. КОСТЮК (Укрзалізниця), В. В. РИБКІН, І. О. БОНДАРЕНКО (ДПТ),
Н. М. ІВАНЧЕНКО (НКТБ ЦП УЗ)

ОЦІНКА ПАРАМЕТРІВ ПРУЖНОЇ КЛЕМИ МАРКИ КП-5.2

У даній роботі проведена чисельна оцінка параметрів працездатності пружної клеми марки КП-5.2. Визначені геометричні характеристики поперечного перерізу клеми, жорсткість клеми, а також виконані перевірні розрахунки клеми на міцність та витривалість.

В данной работе проведена численная оценка параметров работоспособности упругой клеммы КП-5.2. Определены геометрические характеристики поперечного сечения клеммы и жесткость клеммы, а также выполнены проверочные расчеты клеммы на прочность и выносливость.

The numerical rating of parameters of serviceability of the elastic plug КП-5.2 is carried out in this work. The geometrical characteristics of the plug cross section and rigidity of plugs are determined, and also the verifying calculations on strength and endurance are carried out.

Сучасні стандарти якості вимагають впровадження нових технічних засобів та конструкцій, якість яких доведена ще на стадії проектування. Таким доказом можуть бути авторитет підприємства та нагромаджений досвід створення подібних виробів, а також порівняльні розрахункові дані, що отримані при використанні сучасних технологій.

Основними параметрами, що визначають працездатність пружного скріплення, є:

- сила притиснення підшви рейки та коефіцієнт передачі монтажного навантаження;
- жорсткість клеми та здатність підвищувати її при профілактичних та ремонтних роботах (наявність другої жорсткості);
- пружний хід клеми;
- здатність чинити опір боковим навантаженням;
- монтажні та експлуатаційні максимальні навантаження;
- надійність та інші показники.

У даній роботі виконані перевірні розрахунки пружної клеми марки КП-5.2 на міцність та витривалість при експлуатаційних навантаженнях та розрахунки з визначення жорсткості клеми та моменту на ключі й зусилля на рукоятці ключа, потрібних для монтажу (демонтажу) клеми на анкер.

Фізичні та розрахункові моделі клеми пружного скріплення КП-5.2

Клема пружна марки КП-5.2 (рис. 1) – це брус з постійною геометрією поперечного перерізу, ділянками якого є плоскі та просторові криві. Конструкція клеми складається з двох симетричних гілок.

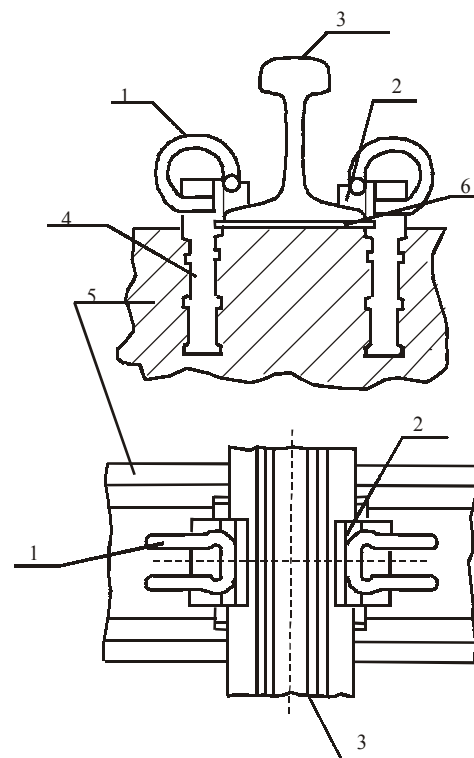


Рис. 1. Загальний вигляд скріплення КПП-5.2:
1 – клема марки КП-5.2; 2 – вкладиш; 3 – рейка; 4 – анкер закладний; 5 – шпала; 6 – підрейкова прокладка

У процесі експлуатації клема має два основних режими навантаження:

1. Монтажний режим навантаження. Під час монтажу клеми на закладний анкер «лапки» клеми (прямі ділянки гілок клеми) примусово розтискають на відстань, необхідну для подолання (обходження) найширшого місця головки анкера. Горизонтальне зусилля, з яким розтискають «лапки» клеми під час монтажу, надалі називатимемо монтажним зусиллям (P_m).

2. Робочий режим навантаження. Наявний при дії на клеми зусилля притиснення рейки P_r .

Якщо при повному базуванні клеми на анкер і відсутності зусилля притиснення рейки у посадці матимемо натяг, то окрім двох названих основних режимів навантаження клема може мати ще один – проміжний. Розрахункова схема при проміжному режимі навантаження відповідає схемі монтажного режиму навантаження, за винятком величини горизонтального зусилля, з яким розтискають «лапки» клеми.

Припущення, прийняті для спрощення розрахункових схем навантажень клеми:

1) зусилля, діючі на клеми при всіх режимах навантажень, розподіляються між гілками рівномірно;

2) гілки клеми ідентичні;

3) поперечні перерізи бруса клеми мають однакову геометрію та розміри;

4) матеріал, з якого виготовлено клеми, ізотропний та однорідний.

Прийняті припущення дозволяють вважати, що схеми навантаження клеми, як і конструкція самої клеми, є симетричними, тобто для проведення розрахунків достатньо розглянути лише одну з двох гілок клеми.

Для опису конструкції клеми у просторі використаємо дві системи координат:

1) глобальну (нерухому) систему прямокутних координат xuz ;

2) локальну (рухому) систему координат xzy : осі x, y розташовані у площині поперечного перерізу бруса, вісь z спрямована по дотичній до осі бруса.

На першому етапі було визначено геометричні характеристики поперечного перерізу клеми. Вони мають такі значення:

- граничні значення площі поперечного перерізу клеми, m^2 ,

$$F_{\min} = 0,000197; F_{\max} = 0,000201;$$

- граничні значення моментів інерції поперечного перерізу клеми відносно осей x та y відповідно, m^4 ,

$$J_{x\min} = 3,074 \cdot 10^{-9}; J_{x\max} = 3,217 \cdot 10^{-9};$$

$$J_{y\min} = 3,075 \cdot 10^{-9}; J_{y\max} = 3,217 \cdot 10^{-9};$$

- граничні значення моментів опору поперечного перерізу клеми відносно осей x та y відповідно, m^3 ,

$$W_{x\min} = W_{y\min} = 3,887 \cdot 10^{-7};$$

$$W_{x\max} = W_{y\max} = 4,021 \cdot 10^{-7}$$

- граничні значення полярного моменту інерції поперечного перерізу клеми, m^4 ,

$$J_{\rho\min} = 6,149 \cdot 10^{-9}; J_{\rho\max} = 6,434 \cdot 10^{-9};$$

- граничні значення моменту опору поперечного перерізу клеми при крученні, m^3 ,

$$W_{\rho\min} = 7,774 \cdot 10^{-7}; W_{\rho\max} = 8,042 \cdot 10^{-7};$$

- граничні значення геометричного фактора крутильної жорсткості поперечного перерізу клеми, m^4 ,

$$J_{\tau\min} = 6,149 \cdot 10^{-9}; J_{\tau\max} = 6,434 \cdot 10^{-9};$$

Для визначення геометричних характеристик ділянок клеми гілку клеми було поділено на ділянки ab, bc, cd, de, eg, gf (рис. 2). Для кожної з виділених ділянок визначили всі геометричні характеристики, що необхідні в подальших розрахунках.

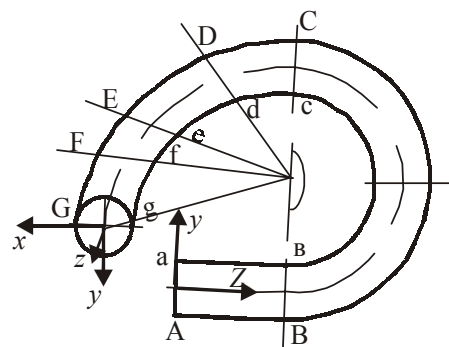


Рис. 2. Схема розташування ділянок та координатних осей

Ділянка ab – прямий брус. Одноіменні осі локальних (рухомих) та глобальних (нерухомих) координат на ділянці ab паралельні між собою. Осі x, y локальних координат розташовані у площині поперечного перерізу бруса.

Ділянка bc – плоский кривий брус з радіусом кривизни r_2 та кутовою координатою позиціонування φ_2 . Осі x, y локальних координат розташовані у площині поперечного перерізу бруса (вісь x перпендикулярна площині бруса; y спрямована по радіусу кривини r_2), вісь z спрямована по дотичній до осі бруса.

Ділянка cd – просторовий кривий брус з радіусом кривини r_3 та радіусом обертання $r_{3к}$. Положення довільного перерізу на ділянці cd

визначається центральним кутом вигину φ_3 та спряженим з ним кутом кручення $\varphi_{3к}$. Осі x , y локальних координат розташовані у площині поперечного перерізу бруса (вісь x спрямована по радіусу кручення $r_{3к}$; y – по радіусу кривини r_3), вісь z спрямована по дотичній до осі бруса.

Ділянка de – просторовий кривий брус з радіусом кривини r_4 та радіусом кручення $r_{4к}$. Положення довільного перерізу на ділянці de визначається центральним кутом вигину φ_4 та спряженим з ним кутом кручення $\varphi_{4к}$. Осі x , y локальних координат розташовані у площині поперечного перерізу бруса (вісь x спрямована по радіусу кручення $r_{4к}$; y – по радіусу кривини r_4), вісь z спрямована по дотичній до осі бруса.

Ділянка eg – просторовий кривий брус з радіусом кривини r_5 та радіусом кручення $r_{5к}$. Положення довільного перерізу на ділянці eg визначається центральним кутом вигину φ_5 та спряженим з ним кутом кручення $\varphi_{5к}$. Осі x , y локальних координат розташовані у площині поперечного перерізу бруса (вісь x спрямована по радіусу кручення $r_{5к}$; y – по радіусу кривини r_5), вісь z спрямована по дотичній до осі бруса.

Ділянка gf – просторовий кривий брус з радіусом кривини r_6 та радіусом кручення $r_{6к}$. Положення довільного перерізу на ділянці gf визначається центральним кутом вигину φ_6 та спряженим з ним кутом кручення $\varphi_{6к}$. Осі x , y локальних координат розташовані у площині поперечного перерізу бруса (вісь x спрямована по радіусу кручення $r_{6к}$; y – по радіусу кривини r_6), вісь z спрямована по дотичній до осі бруса.

Згідно з визначеними геометричними характеристиками поперечного перерізу клеми були встановлені геометричні розміри клеми.

Визначення величин примусових деформацій клеми

Під примусовими деформаціями розуміємо деформації, яких клема зазнає під час монтажу на анкер або при кінцевому складанні вузла проміжного скріплення, тобто при «заневолюванні» клеми у вузлі. Величини примусових

деформацій клеми залежать від складальних розмірів елементів вузла проміжного скріплення та матеріалів, з яких вони виготовлені.

Примусова горизонтальна деформація клеми, необхідна для здійснення монтажу клеми на анкер, – це відстань, на яку потрібно розтиснути «лапки» клеми, щоб під час монтажу обійти найширше місце в головці анкера.

Зусилля притискання рейки P_r створюється проміжним скріпленням завдяки попередньому «заневолюванню» клеми, тобто консоль клеми має монтажну вертикальну деформацію. Величина примусової вертикальної деформації клеми регулюється висотою вкладиша, на який спирається консоль клеми у даному проміжному скріпленні.

При дії на клеми зусилля притиснення рейки P_r лапки клеми отримають горизонтальне зрушення γ , яке буде визначене далі. Примусова горизонтальна деформація однієї гілки клеми при робочому режимі навантаження δ_R буде більша або менша за δ_{Π} (в залежності від знака δ_g) на величину δ_g . Для визначення величини додаткового розтискання «лапок» клеми δ_g скористались енергетичним методом, де потенціальна енергія деформованого бруса виражається через внутрішні силові фактори. При цьому будемо вважати, що виконуються такі умови:

- 1) матеріал клеми працює в межах закону Гука;
- 2) лінійні та кутові переміщення перерізів бруса достатньо малі;
- 3) як для внутрішніх силових факторів, так і для переміщень справедливий принцип незалежності дії та складання.

Після проведення розрахунків маємо такий результат:

- величина примусової горизонтальної деформації клеми, необхідної для здійснення монтажу клеми на анкер, $\delta_m = 0,0092$ м;
- середнє значення примусової горизонтальної деформації однієї гілки клеми при проміжному режимі навантаження, $\delta_p = 0,0092$ м;
- середнє значення натягу (зазору) у посадці клеми на анкер при робочому режимі навантаження $N_R = 0,0013$ м;
- середнє значення примусової вертикальної деформації клеми при робочому режимі навантаження $v_R = 0,0065$ м.

Визначення жорсткості клеми

Жорсткість є характеристикою пружності конструкції і визначається величиною навантаження, яке створює пружну (зворотну) деформацію, що дорівнює одиниці. Для клеми, яку виготовлено з пружинної сталі, залежність між навантаженням та пружною деформацією лінійна, оскільки клема повинна працювати в пружній стадії. Робота клеми в пружній стадії забезпечується прийнятим при проектуванні запасом міцності конструкції. Розрахунок жорсткості клеми виконуємо, використовуючи енергетичний метод.

Враховуючи, що клема має декілька схем навантаження, визначення жорсткості проводили за двома основними напрямками:

1) горизонтальний напрямок – напрямок дії монтажного зусилля P_m ;

2) вертикальний напрямок – напрямок дії зусилля притиснення рейки P_r .

Зусилля, що діє на клеми при проміжному режимі навантаження, збігається за напрямком з монтажним зусиллям P_m .

Визначення жорсткості клеми у горизонтальному напрямку виконуємо для випадку, коли замість P_m на клеми в заданому перерізі b діятиме допоміжна одинична сила, що має горизонтальний напрямок дії.

На клеми при робочому режимі навантаження окрім зусилля притиснення рейки P_r діятиме горизонтальне зусилля P_R – це зусилля від залишкового натягу при повному базуванні клеми на анкері. Тому при визначенні вертикальної жорсткості клеми та при перевірному розрахунку клеми на міцність вважаємо за необхідне врахувати вплив зусилля P_R . Для цього рівняння залежності внутрішніх силових факторів від складової зусилля притиснення рейки доповнюємо рівняннями залежності внутрішніх силових факторів від зусилля P_R та рівняннями залежності від допоміжних одиничних сил, розташованих у перерізах a , b і спрямованих у бік дії реакції опору R_a – вертикальний напрямок. На рис. 3 подано схему розташування сил при визначенні жорсткості. Вертикальне зрушення крайнього перерізу консолі клеми (переріз f), по якому регулюють величину зусилля притиснення рейки, тобто робочий хід клеми, утворюється з двох основних складових:

1) за рахунок деформації клеми при її навантаженні;

2) за рахунок вільного повороту «лапки» клеми в межах існуючого зазору між діаметром посадочних отворів анкера та діаметром прутка, з якого виготовлено клеми.

Але при визначенні жорсткості клеми у вертикальному напрямку приймається, що жорсткість клеми залежить лише від першої із означених складових.

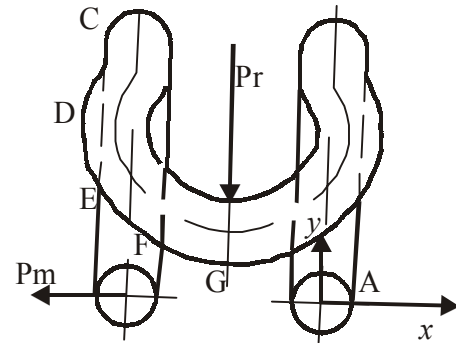


Рис. 3. Схема розташування сил при визначенні жорсткості

Таким чином, маємо такі результати:

- граничні значення горизонтальної жорсткості клеми, Н/мм,

$$\Gamma_{\min} = 328,96; \Gamma_{\max} = 482,75;$$

- середнє значення горизонтальної жорсткості клеми $\Gamma = 405,86$ Н/мм;
- діапазон допустимих відхилень ($\pm$) фактичних значень горизонтальної жорсткості клеми від її номінального (середнього) значення $\Gamma - 19\%$;
- середнє значення повного горизонтального зрушення однієї гілки клеми при дії допоміжної одиничної сили, м, $\delta_r = 1,28 \cdot 10^{-6}$ Н/мм;
- середні значення горизонтальних зусиль, що діють на клеми при різних режимах навантаження, Н:

– монтажний режим навантаження

$$P_m = 7584,12;$$

– проміжний режим навантаження

$$P_{II} = 925,99;$$

– робочий режим навантаження

$$P_r = 515,78;$$

- діапазон фактичних відхилень ($\pm$) значень горизонтальних зусиль, що діють на клеми при різних режимах навантаження, від їх номінальних (середніх) значень Γ , %:
- монтажний режим навантаження

$$P_m = 26;$$

– проміжний режим навантаження

$$P_{II} = 92;$$

– робочий режим навантаження

$$P_R = 172,6;$$

- середнє значення жорсткості клеми у вертикальному напрямку $V = 1547,58$ Н/мм;
- діапазон допустимих відхилень ($\pm$) фактичних значень вертикальної жорсткості $V = 12$ %;
- середнє значення фактичного зусилля притиснення рейки, що створюється у проміжному рейковому скріпленні з клемою марки КП-5.2, $P_{rf} = 10,27$ кН;
- діапазон фактичних відхилень ($\pm$) значення зусилля притиснення рейки, що створюється у проміжному рейковому скріпленні з клемою марки КП-5.2, – 28 %

Встановлення залежності між робочим ходом клеми та зусиллям притиснення рейки P_R

Під робочим ходом маємо на увазі примусове вертикальне переміщення крайнього перерізу консолі клеми (переріз f), тобто «заневолювання» клеми, при якому клема, намагаючись повернутися у первинне положення, створюватиме потрібне зусилля притиснення рейки $P_r = 10$ кН. У межах заданих допусків на виготовлення конструкції клеми та анкера робочий хід клеми для відповідних значень зусилля притиснення рейки P_r матиме не конкретне значення, а діапазон можливих значень. Найбільш імовірним вважаємо середнє значення робочого ходу. Графік залежності зусилля притиснення рейки від робочого ходу клеми наведено на рис. 4.

На рис. 4 показано: 1 – $\Delta \min(P_r)$ – робочий хід найбільш жорсткої клеми, тобто клеми, яка в межах заданих допусків на виготовлення має найменші лінійні розміри та найбільший діаметр заготовки, мм; 2 – $\Delta \max(P_r)$ – робочий хід найменш жорсткої клеми, тобто клеми, яка в межах заданих допусків на виготовлення має найбільші лінійні розміри та найменший діаметр заготовки, мм; 3 – $\Delta(P_r)$ – найбільш імовірний робочий хід клеми, тобто робочий хід клеми, яка в межах заданих допусків на вигото-

влення має середні значення лінійних розмірів та діаметра заготовки, мм.

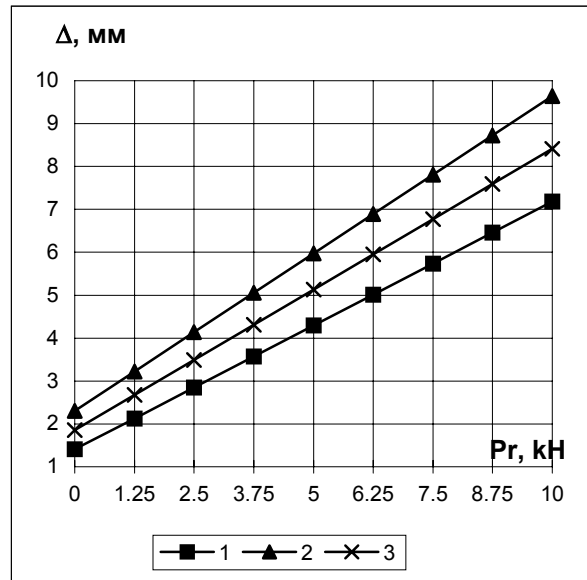


Рис. 4. Графік залежності зусилля притиснення рейки від робочого ходу клеми

Перевірний розрахунок клеми на міцність при експлуатаційних навантаженнях

Як уже вказувалось, під час експлуатації клема має два основних режими навантаження:

- 1) монтажний режим навантаження;
- 2) робочий режим навантаження.

Тому перевірний розрахунок клеми на міцність при експлуатаційних навантаженнях складатиметься:

- з перевірного розрахунку клеми на міцність при монтажному режимі навантаження;
- перевірного розрахунку клеми на міцність при робочому режимі навантаження.

Відомо, що клема пружна марки КП-5.2 – це брус, ділянками якого є плоскі та просторові криві. У зв'язку з складністю конструкції клеми зовнішні сили, що діють на неї у кожному з вказаних режимів навантаження, створюють одночасно декілька (або і всі шість) внутрішніх силових факторів. Внутрішні силові фактори (сили N_z , Q_x , Q_y ; моменти M_z , M_x , M_y) змінюють свої значення по довжині бруса клеми. Зростання або зниження величин кожного з шести внутрішніх силових факторів відбувається за індивідуальних законом, не завжди синхронно з іншими. Тому визначити найбільш небезпечний переріз, тобто переріз, у якому будуть зосереджені максимальні напруження, не визначивши попередньо напруження по всій довжині бруса клеми, досить складно, а інколи і неможливо. Таким чином, на першому етапі

перевірному розрахунку клеми на міцність визначаємо напруження у всіх виділених перерізах клеми. Також звернемо увагу на практичне підтвердження того, що при перевантаженні подібних конструкцій, перші ознаки руйнування спостерігаються на внутрішніх волокнах кривих, тобто, іншими словами, – напруження на внутрішніх волокнах перевищують напруження на зовнішніх волокнах. Означений факт має просте теоретичне обґрунтування: у кривих брусів нейтральний шар не збігається з віссю симетрії бруса. Як результат – радіус нейтрального шару перевищує радіус кривини бруса. Вказане свідчить про те, що фактична відстань між нейтральним шаром та зовнішніми волокнами в кривих брусах скорочується, а між нейтральним шаром і внутрішніми волокнами, навпаки, збільшується. Між значенням напружень та відстанню від відокремленого волокна до нейтрального шару існує практично лінійна залежність, за якою зростання напружень практично пропорційно зростанню відстані між відокремленим волокном та нейтральним шаром. Таким чином, збільшення напружень на внутрішніх волокнах конструкцій, що являють собою криві бруси, є результатом збільшення відстані між цим волокном та нейтральним шаром. Змінність значень напружень по площині довільного перерізу кривої ділянки клеми змушує нас напруження у кожному i -му перерізі визначати для 4 волокон: 1 і 2 – зовнішні волокна у площині вигину та кручення ділянок клеми відповідно; 3 і 4 – внутрішні волокна у площині вигину та кручення ділянок клеми відповідно.

Серед існуючих теорій міцності 4-та теорія міцності разом з теорією міцності Мору мають найкраще практичне підтвердження, тому вони визнані пріоритетними. 4-ту теорію міцності використовують при перевірних розрахунках конструкцій, виготовлених з матеріалів, що чинять однаковий опір при розтяганні та стисненні. Матеріал, з якого виготовлено клеми, має такі ж властивості, тому при перевірних розрахунках клеми на міцність будемо використовувати саме 4-ту теорію міцності.

Перевірний розрахунок клеми на міцність при монтажному режимі навантаження

Клема сприйматиме монтажне зусилля P_m протягом усього терміну експлуатації обмежену кількість раз: лише під час монтажу та демонтажу проміжного рейкового скріплення. Час дії зусилля P_m в кожному з вказаних випадків становить всього декілька секунд. При

розрахунку вважаємо, що для перевірки клеми на міцність при монтажному режимі навантаження достатньо перевірити міцність матеріалу у найбільш небезпечному перерізі, тобто робимо припущення про статичний характер навантаження клеми. Умова міцності клеми формується так: клема вважатиметься міцною при монтажному режимі навантаження, якщо результуючі (еквівалентні) напруження у найбільш небезпечному перерізі конструкції не перевищуватимуть межі плинності матеріалу σ_{cl} , тобто клема після зняття дії зусилля P_m не повинна мати залишкових деформацій.

За результатами проведених розрахунків, встановлено, що при дії на клеми монтажного зусилля P_m найбільші напруження в клемі створюються в перерізі, який на рис. 2 позначено літерою С. Цей переріз найбільш небезпечний переріз клеми при монтажному режимі навантаження.

Для забезпечення умови міцності кожної придатної клеми (усі розміри конструктивних елементів клеми вказані у межах заданих допусків) при монтажному режимі навантаження ймовірні еквівалентні (результуючі) напруження у перерізі С не повинні перевищувати межі плинності матеріалу клеми σ_{cl} .

Граничні значення ймовірних еквівалентних напружень, зосереджених у перерізі С при монтажному режимі навантаження клеми, МПа,

$$\sigma_{m \min} = 1122,21; \sigma_{m \max} = 1666,42.$$

Середнє значення ймовірних еквівалентних напружень, зосереджених у перерізі С при монтажному режимі навантаження клеми, МПа,

$$\sigma_m = 1394,32.$$

Висновок: умова міцності при монтажному режимі навантаження виконується майже для всього діапазону придатних клем, тобто переважна більшість придатних клем після зняття дії монтажного зусилля P_m не матиме залишкових деформацій.

Перевірний розрахунок клеми на міцність при робочому режимі навантаження

Передбачається, що під час експлуатації проміжного рейкового скріплення зусилля притиснення рейки P_r змінюватиметься в належних діапазонах значень, тобто клема матиме циклічний характер робочого навантаження. Циклічний характер дії зусилля притиснення рейки P_r вимагає, щоб перевірний розрахунок

клеми на міцність при робочому режимі навантаження складався з двох етапів:

1) перевірного розрахунку клеми на міцність як статично навантаженої конструкції;

2) перевірного розрахунку клеми на витривалість.

Умова міцності клеми при робочому режимі навантаження формулюється так: клема вважається міцною, якщо виконуються одночасно умови міцності та витривалості матеріалу.

Перевірний розрахунок клеми на витривалість

Клема в залежності від розташування її у плані колії може мати різні цикли навантаження:

– зусилля притиснення рейки зменшуватиметься від свого первинного значення P_r до $P_{\min}$ при просіданні рейки під колесом рухомого складу;

– зусилля притиснення рейки зростатиме від свого первинного значення P_r до $P_{\max}$ при створенні клемою опору «перевертанню» рейки в результаті дії значної бічної сили в кривих ділянках колії.

Розрахунок клеми на витривалість виконували для циклу, що має найбільше середнє значення напружень та амплітуди циклу.

За результатами розрахунку маємо, що фактичний запас витривалості клеми при навантаженні циклом 2 більший за нормативний ($\eta_{k2} \eta >$). Напруження в клемі у разі зростання

зусилля притиснення рейки від P_r до $P_{\max}$ (при створенні клемою опору «перевертанню» рейки) не перевищуватимуть межу плинності матеріалу клеми ($\sigma_{\tau 1} \sigma_{\max} >$). Таким чином, кожна придатна клема, сприймаючи 1-й або 2-й цикли робочого навантаження при створенні зусилля притиснення рейки $P_{r\phi} = 10,27$ кН знаходитиметься в зоні пружних деформацій, тобто клеми вважаємо міцною і працездатною.

За нормативами з безпеки праці максимальне зусилля на рукоятці ключа при проведенні монтажних робіт на колії не повинно перевищувати 30 кгс (294,3 Н). Вказана умова виконується у разі використання при монтажі (демонтажі) клеми марки КП-5.2 на анкер ключа с довжиною рукоятки $L_{k2} = 1,2$ м.

Висновки:

1. Проведена чисельна оцінка параметрів працездатності пружної клеми марки КП-5.2.

2. Визначені геометричні характеристики поперечного перерізу клеми.

3. Визначена жорсткість клеми.

4. Встановлено залежність між робочим ходом клеми та зусиллям притиснення рейки P_r .

5. Проведено перевірений розрахунок клеми на міцність та витривалість.

6. Визначено момент на ключі та зусилля на рукоятці ключа, потрібні для монтажу (демонтажу) клеми на анкер.

DR.-ING. ULF GERBER (Dresden University of Technology, Faculty of Traffic and Transportation Sciences «Friedrich List», Institute for Traffic Infrastructure)

A RELATIONSHIP BETWEEN THE SERVICE LIFE OF THE PERMANENT WAY AND THE INHOMOGENEITY OF THE SUBSTRUCTURE

У даній статті неоднорідність складових елементів колії описана так званою дисперсією основи. Результатом буде отримання терміну служби верхньої будови колії як функції дисперсії субструктури. Приклад розрахунку включено для того щоб проілюструвати розрахунки.

В этой статье неоднородность составляющих элементов пути описана так называемой дисперсией основания. Результатом будет получение срока службы верхнего строения пути, как функции дисперсии основания. Пример расчета включен для того чтобы проиллюстрировать результаты расчетов.

The inhomogeneity of the substructure will be described by the so-called variance of the substructure in this paper. The result will be a formulation of the permanent way's service life as a function of the variance of the substructure. An example will be included to illustrate the results of the calculations.

1. Waviness of the permanent way

Due to the natural variation in the mechanical properties of the substructure, waviness occurs in

the trackway. This waviness is modeled as a trough in the track, which is characterized by the differential settling Δs and the wave length λ , (fig. 1):

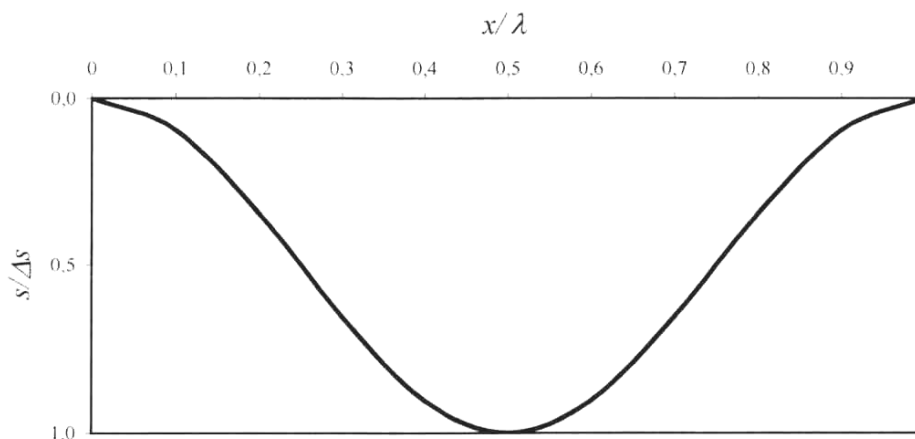


Fig. 1. The permanent way's waviness is modeled as a trough in the track, which is, according to (1), completely characterized by the differential settlement Δs and the length λ

$$s(x) = \frac{\Delta s}{2} \left(1 - \cos \left(2\pi \frac{x}{\lambda} \right) \right). \quad (1)$$

on the settling:

$$\dot{s} = \frac{F(T)}{\eta(s)}. \quad (2)$$

The differential settlement λ – develops in course of the time T , caused by the varying rate of settlement, s , of the trackway under the load $F(T)$ (fig. 2). Calculating it requires knowledge of the settling over the time, $s(T)$, which can be modeled by a damper with a viscosity $\eta(s)$ depending

Settling results from a consolidation of the substructure that is tied to an increase in viscosity. To describe the consolidation, the following exponential equation is used:

$$\eta(s) = \eta_0 \cdot e^{K \cdot s}. \quad (3)$$

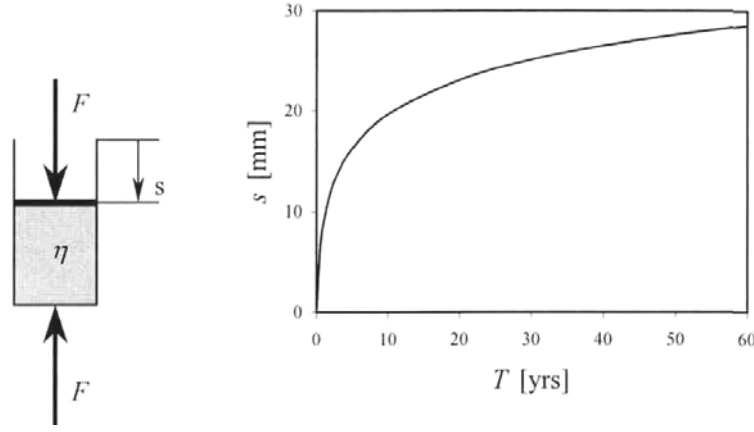


Fig. 2. Settling of the subgrade, s is modeled by damper with a settling-dependent viscosity η .
Adjusting the model to mimic real conditions leads to $s(T)$ the time-dependent settlement of the substructure

Assuming a time-constant load, F_0 , substituting (3) into (2) results in the following equation:

$$s(T) = \frac{1}{K} \cdot \ln \left(\left(\frac{K}{\eta_0} F_0 T \right) + 1 \right). \quad (4)$$

Matching (4) to a measured settling curve in accordance with [1. S. 25] leads to the time-dependent settling s [mm] defined for time T [yrs], as shown in fig. 2:

$$s(T) = 5 \cdot \ln(5T + 1). \quad (5)$$

The differential settling Δs is understood to be a variation from the mean settling s . Usually, the mechanical behavior of the substructure is characterized by the deformation modulus E . Assuming proportionality between settling and the deformation modulus, the so-called variance of the substructure is defined as follows:

$$Q = \frac{\Delta s}{s} = \frac{\Delta E}{E}. \quad (6)$$

The (long-term) time-dependent differential settling of the permanent way follows from inserting (6) into (5), (Δs [mm], T [yrs]):

$$\Delta s(T) = 5Q \cdot \ln(5T + 1). \quad (7)$$

In consideration of (1), the waviness of the permanent way can finally be stated by a place-dependent (x) and a (long-term) time-dependent (T) differential settlement $\Delta s(x, T)$:

$$\Delta s(x, T) = 2,5Q \ln(5T + 1) \cdot \left(1 - \cos \left(2\pi \frac{x}{\lambda} \right) \right). \quad (8)$$

2. Permanent way load model

Due to the waviness of the permanent way, an additional vertical acceleration will occur on a passing vehicle, which leads to an additional load ΔF on the rail track (Fig. 3). The effect of this additional load is usually expressed by the dynamic factor, f_D :

$$f_D = 1 + \frac{\Delta F}{F_0}. \quad (9)$$

The additional load is also proportional to the differential displacement $z = \bar{z} - \Delta s$ between coach body and permanent way. Therefore, according to (9):

$$f_D = \frac{z}{z_0}. \quad (10)$$

where z_0 is the differential displacement in the static case.

Of particular interest is the maximum load on the track and, therefore, the maximum differential displacement, $z_{\max}$, which is expressed by the maximum dynamic factor, $f_{D\max}$

$$f_{D\max} = \frac{z_{\max}}{z_0}. \quad (11)$$

For a rough determination of the maximum dynamic factor as the ratio of the most frequently occurring differential displacement $z_{\max}$ to the static differential displacement z_0 , the dynamic character of the oscillation system according to fig. 3 has to be considered.

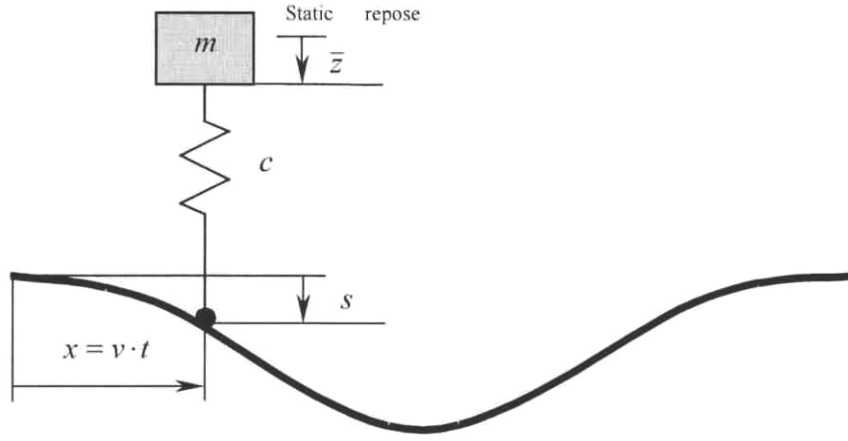


Fig. 3. The load on the permanent way is modeled by a single-mass system.

As a result of the permanent way's waviness, $s(x)$, the mass m is excited to vibration. The additional load on the permanent way caused by this vibration is proportional to the deflection of the single-mass system: $\Delta F = c(\bar{z} - s)$

The oscillation is determined to a decisive degree by the frequency ratio η between the applied frequency Ω and the eigenfrequency ω :

$$\eta = \frac{\Omega}{\omega}. \quad (12)$$

The waviness of the permanent way corresponds to the system's excitation with the applied frequency, Ω . If a vehicle is driving along the rail track (coordinate x) in a short time t with a constant speed v , x is determined by:

$$x = vt. \quad (13)$$

By inserting this relation into (8), the waviness of the permanent way can be stated both as short-term time-dependent (7) and as long-term time-dependent (7):

$$\Delta s(t, T) =$$

$$= 2,5Q \ln(5T + 1) \left(1 - \cos\left(2\pi \frac{v}{\lambda} t\right) \right) = \frac{\Delta s}{2} (1 - \cos(\Omega t)). \quad (14)$$

(14) corresponds to the short-term excitation caused by the permanent way's waviness. In consideration of (14), the following dynamic differential equation can be formulated to describe the oscillation system shown in fm. 3 [2, S. 553 f]:

$$m \cdot \ddot{\bar{z}} + c(\bar{z} - \Delta s) = 0. \quad (15)$$

Regarding the definition of the eigenfrequency

$$\omega = \sqrt{\frac{c}{m}} \quad (16)$$

as well as $z = \bar{z} - \Delta s$ resp. $\ddot{z} = \ddot{\bar{z}} - \ddot{\Delta s}$ and (14), it follows:

$$\ddot{z} + \omega^2 z = -\ddot{\Delta s} = -\frac{\Delta s}{2} \Omega^2 \cdot \cos(\Omega \cdot t). \quad (18)$$

Further consideration of the definition of the frequency ratio (12) leads to:

$$\ddot{z} + \omega^2 \cdot z = -\frac{\Delta s}{2} \omega^2 \cdot \eta^2 \cdot \cos(\omega \cdot \eta \cdot t). \quad (19)$$

We are looking for the most frequently occurring amplitude $z_{\max}$. Only the dip movement of a vehicle with an eigenfrequency of $\omega = 2\pi f = 2\pi \text{ [s}^{-1}\text{]}$ will be considered (this corresponds to a period of 1 s). The solution to the dynamic differential equation (18) with the initial conditions $z(t=0)=0$ and $\dot{z}(t=0)=0$ leads to the history of the differential displacement z relative to the differential settlement Δs , as shown in fig. 4.

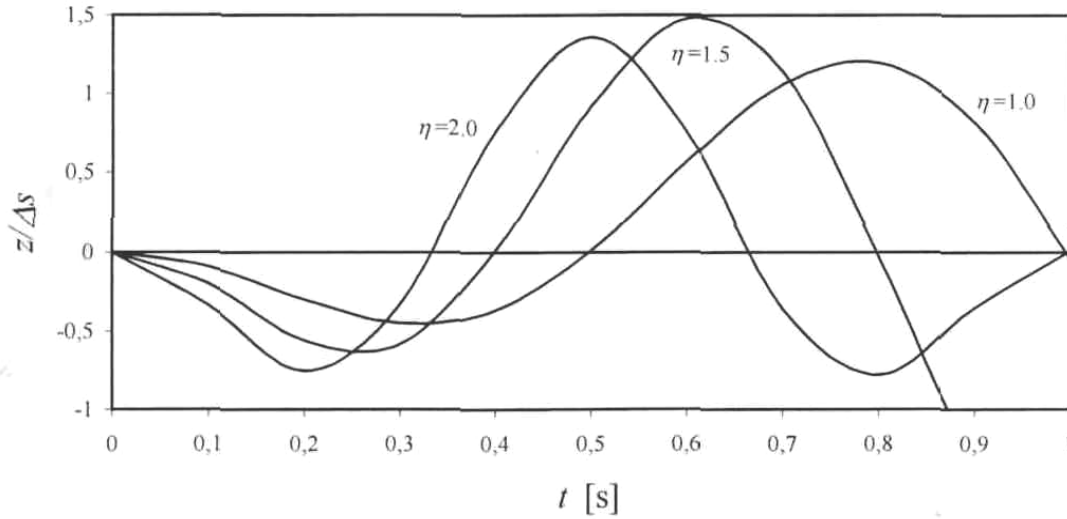


Fig. 4. The numerical solution to the dynamic differential equation (18) leads to the deflection z depending on the time $t (\omega = 2\pi \text{ s}^{-1})$. The maximum deflection $z_{\max}$ amounts to 150 % of the differential settlement of the settlement bowl Δs and occurs with a frequency ratio of $\eta = 1,5$

With the static differential displacement

$$z_0 = \frac{mg}{c} = \frac{g}{\omega^2} \quad (20)$$

and the maximum differential displacement

$$z_{\max} = z_0 + 1,5\Delta s \quad (21)$$

follows, for the maximum dynamical factor according to (11):

$$f_{D\max} = 1 + 0,006\Delta s. \quad (22)$$

(The differential settling Δs needs to be inserted in the dimension [mm]). It occurs with a frequency ratio of $\eta = 1,5$.

In consideration of the definitions (12), (13) $\omega = 2\pi \text{ [s}^{-1}\text{]}$, the frequency ratio η can be stated as follows, dependent on the speed of travel $v \text{ [m/s]}$, the wave length of the permanent way $\lambda \text{ [m]}$ and the differential settlement $\Delta s \text{ [mm]}$:

$$\eta = \frac{v}{\lambda}. \quad (23)$$

Regarding the critical frequency ratio, it appears that the critical wave length of the permanent way's waviness $\lambda_{krit} \text{ [m]}$ corresponds to 19 % of the travel speed $v \text{ [km/h]}$. With a travel speed of 80/120/160 km/h, the critical wave length of the permanent way therefore amounts to 15/22/30 m.

Knowing the maximum dynamic factor, the maximum trackway load is also known. It depends solely on the long-term time-dependent differential settlement of the permanent way. The place-

dependence of the differential settlement does not influence the maximum trackway load.

Considering (21) and (7), the maximum dynamic factor can finally be expressed dependent on the permanent way's lifetime $T \text{ [yrs]}$ and the variance of the substructure Q :

$$f_{D\max} = 1 + 0,006(5Q \ln(5T + 1)). \quad (24)$$

3. Service life of the permanent way

As a result of the famous AASHO – Street test, the 4th power rule was derived. This rule implies that the service life of a permanent way $L \text{ [yrs]}$ behaves inversely proportional to its load. In the present contemplation, the trackway load is expressed with the aid of the dynamic factor. The service life of a perfectly even permanent way (dynamic factor 1) amounts to L_0 , for dynamic factors >1 the service life will decrease to $L < L_0$. With regard to the 4th power rule, an average maximum dynamic factor $\bar{f}_D$ can be stated as:

$$\left(\frac{L}{L_0} \right) = \frac{1}{\bar{f}_{D\max}^4}. \quad (25)$$

The average maximum dynamic factor must consider the rise of the current maximum dynamic factor that increases with the time according to (23). Therefore, the average maximum dynamic factor is interpreted as the arithmetic mean of the current maximum dynamic factors over the whole service life of the permanent way:

$$\bar{f}_{D_{\max}} = \frac{\sum_{T=0}^L [1 + 0,006(5Q \ln(i+1))]}{L}. \quad (26)$$

L is the service life of the permanent way [yrs],
 T is the time since the commissioning of this trackway.

With regard to (24) and (25), the relative service life can be successively estimated as a function of the variance of the substructure. It can be replaced by a function of best fits with the form (fig.

5):

$$\left(\frac{L}{L_0}\right) = 0,1Q^2 - 0,45Q + 1. \quad (27)$$

With equation (26) a relation has been found which describes the relative service life of a permanent way solely by the variance of its substructure.

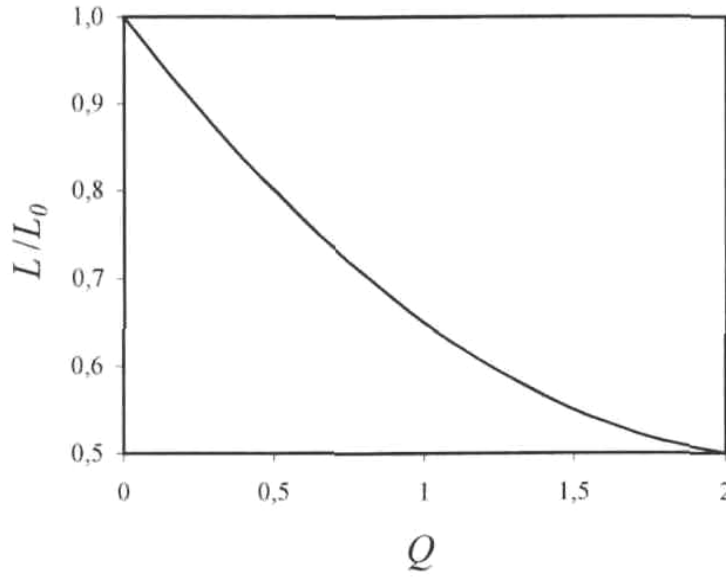


Fig. 5. In consideration of the 4th power rule, the relative service life L/L_0 of the permanent way can be described as a function of the variance of the substructure Q

4. Example

A practical example will clarify the influence of the variance of the substructure on the service life.

The quality of the substructure is usually judged by an experimental determination of its deformation modulus E in certain intervals. According to (6), the substructures quality is now quantified as the variance of the substructure. The variance of the substructure Q_i in the section i corresponds to the quotient of the difference and the mean value of two neighboring deformation modules E_i and E_{i+1} at the place x_i :

$$Q_i = \frac{|E_i - E_{i+1}|}{\left(\frac{E_i + E_{i+1}}{2}\right)}. \quad (27)$$

The influence of the substructure's quality on the service life of the permanent way is described by means of two track sections of the line Opole - Wrocław. Both the track section between kilometer 114–115 [3, S. 61, Rys. 5) before the modernization of the substructure and the track section between kilometer 142–146 [3, S. 63, Tab. 1) after the modernization of this section are inspected. The result of the modernization of the substructure is shown in fig. 6.

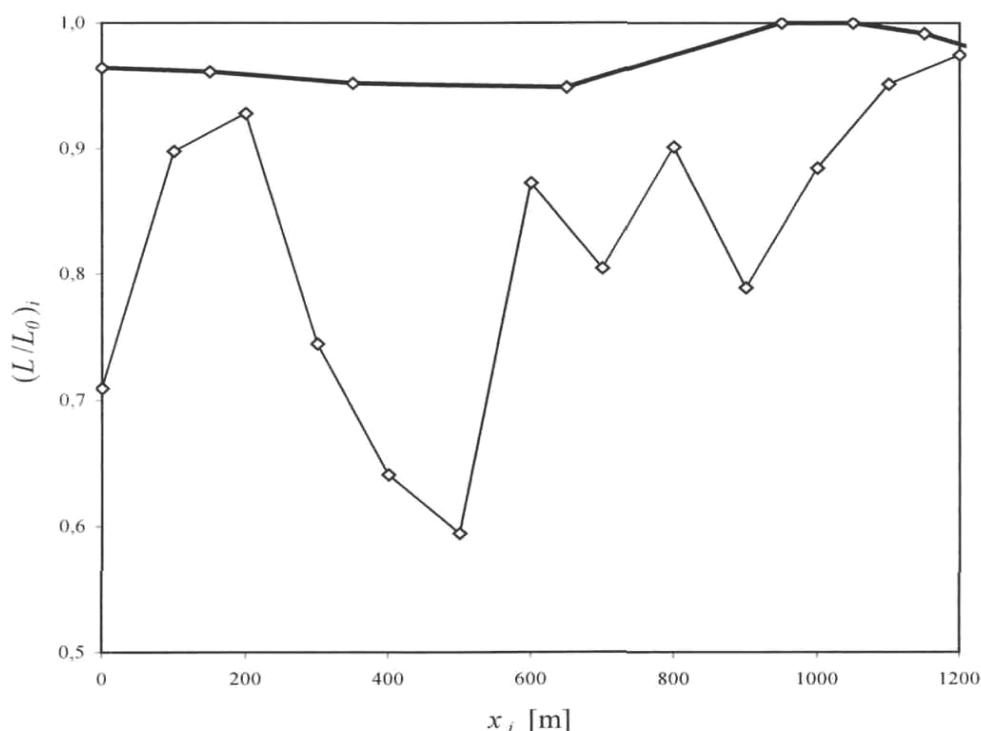


Fig. 6. The relative service life of the permanent way on old substructure (lower line) and on modernized substructure (upper line) along a track section of the line Opole–Wrocław

Summary

The substructures homogeneity causes a waviness of the permanent way. When traveling on an uneven surface, the inertia of the vehicles produces an additional load that reduces the service life of the trackway.

The parameter for the inhomogeneity of the substructure was described in this paper. The practical calculation example was done for the line Opole – Wrocław to show the results of the calculation.

LITERATURE

1. Dorr, P.; Christgau, E.: Setzungsbedingte Verformungen des Fahrweges an Hochgeschwindigkeitsstrecken nach Einbau der Festen Fahrbahn. Eisenbahningenieur (52) 2/2001, S. 24–28.
2. Goldner, H.; Holzweiffig, F.: Leitfaden der Technischen Mechanik. VEB Fachbuchverlag Leipzig, Leipzig, 1980.
3. Siwek, T.; Radziwill, A.: Modernizacja podtorza kolejowego na odcinku Opole–Wrocław Linii E30 z przystawaniem do prędkości 160 km/h. In: Problemy modernizacji i naprawy podtorza kolejowego. II Międzynarodowa Konferencja Naukowo - Techniczna, Wrocław - Zmigrod 5–7 czerwca 2003 r, S. 57–65.

ЗНАХОДЖЕННЯ ВЕРТИКАЛЬНОЇ НЕРІВНОСТІ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ ЗА ДАНИМИ ВАГОНА-КОЛІЄВИМІРНИКА

У статті пропонуються два способи знаходження вертикальної нерівності колії в залежності від вимірів вагона-колівимірника – на основі тригонометричних рядів і чисельний спосіб. Для оцінки точності вимірювань було визначено вертикальні нерівності по обох рейкових нитках і перекося, який було порівняно з вимірним перекосям.

В статті пропонуються два способи знаходження вертикальної неровности пути в зависимости от измерений вагона-путеизмерителя – на основе тригонометрических рядов и численный способ. Для оценки точности измерений были определены вертикальные неровности по обеим рельсовым нитям и перекося, который был сравнен с измеренным перекосям.

Two methods are proposed for the vertical roughness determination of railway track depending on data of the measuring carriage – trigonometric series method and numerical method. The vertical roughness and a warp were calculated on each rail. The warp was compared with the measured warp to estimate the precision of the measurement.

Загальні положення

Із усіх способів оцінки стану залізничної колії геометрична оцінка за даними вагона-колівимірника є найважливішою, оскільки дозволяє оперативно отримувати дані та знаходити кількісну характеристику стану колії – бальну оцінку [2]. Однак, як і при будь-яких вимірюваннях, у процесі оцінки стану колії існують недоліки, спричинені такими факторами:

- дані, зафіксовані на стрічці вагона-колівимірника в дійсності відображають не тільки вертикальну нерівність, а й прогин рейки, що виникає внаслідок дії вагона;
- при розшифровці стрічок вагона-колівимірника методика, яка в даний час використовується, є не достатньо точною і не дозволяє реально оцінити стан колії на різних ділянках;
- конструктивно у вагоні-колівимірнику для зняття осідань використовується база довжиною 2,7 м. Це означає, що нерівності періодичного характеру з довжиною 2,7 м або в цілу кількість раз менші фіксуватися на стрічці не будуть;
- при діаметрі колеса вагона (d) 0,95 м мінімальна довжина нерівності періодичного характеру, як показано на рис. 1, пов'язується залежностями кривини колеса і рейки в точці $x = T/2$:

$$k = \frac{1}{R} \approx \frac{d^2 y}{dx^2}, \quad (1)$$

де R – радіус колеса; $y(x) = \cos(x)$ – рівняння

нерівності.

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{d^2}{dx^2} \left[a \cos \left(\frac{2\pi}{T} x \right) \right] = -\frac{4\pi^2 a}{T^2} \cos \left(\frac{2\pi}{T} x \right)$$

при $x = T/2$

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = -\frac{4\pi^2 a}{T^2} \cos(\pi) = \frac{4\pi^2 a}{T^2}.$$

Тоді рівняння (1) спроститься:

$$T = 2\pi\sqrt{aR}. \quad (2)$$

Для нерівності амплітудою (a) 20 мм (0,02 м) мінімальний період нерівності, який можна зафіксувати при проходженні її колесом діаметром 1 м, становить, м,

$$T = 2\pi\sqrt{aR} = 2\pi\sqrt{0,02 \cdot 0,45} \approx 0,6.$$

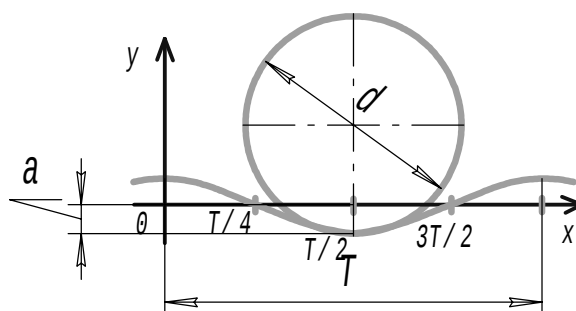


Рис. 1. Схема взаємодії колеса і рейки в синусоїдальній нерівності

- запис здійснюється на стрічку, товщина лінії запису становить 0,5...0,3 мм, тому точність запису не може бути більшою 0,2 мм,

що при врахуванні поздовжнього масштабу 1:2000 становить 0,4 м;

- вагон-колієвимірник являє собою механічну інерційну систему, тому крім усіх попередніх факторів додається ще похибка системи вимірювання. У загальному похибка при вимірюванні осідання становить ± 4 мм на можливому діапазоні вимірів $\pm (0...50)$ мм, що в середньому відповідає відносній похибці 16 %. Загальна похибка виміру рівня становить ± 6 мм на можливому діапазоні вимірів $\pm (0...150)$ мм, що в середньому відповідає відносній похибці 8 %;
- конічність коліс та горизонтальні вилання екіпажу.

Найбільшу похибку із усіх розглянутих факторів вносить процес розшифрування стрічки. Для того щоб виконати об'єктивну оцінку стану колії, потрібно розглядати динамічну взаємодію колії і рухомого складу. Для можливості проведення динамічних розрахунків потрібно знати вид вертикальної нерівності колії. У минулому цій меті уже було присвячено ряд наукових праць авторів О. П. Єршова, М. Г. Зак, М. Ф. Мітіна та ін. [1], проте знайдена у них вертикальна нерівність не достатньо точно відображала нерівність колії в профілі, оскільки для її знаходження із оцінки осідань бралось тільки два параметри – амплітуда та довжина вертикальної нерівності, сама нерівність приймалась синусоїдальною, а усі проміжні точки відкидались.

Метою даного дослідження є знаходження повного виду вертикальної нерівності за результатами запису вагона-колієвимірника. Розрахунок проводиться у два етапи:

1) розробка алгоритмів для розпізнавання графіків осідань і перекосів та перетворення їх у цифровий вигляд у вигляді вектора;

2) знаходження виду вертикальної нерівності за допомогою тригонометричних рядів Фур'є, а також перевірка розв'язку окремо розробленим чисельним алгоритмом знаходження вертикальної нерівності.

Для перевірки правильності розрахунку вертикальні нерівності знаходяться по кожній рейковій нитці й порівнюються із записами перекосів на стрічці.

Із врахуванням попередньо зазначених факторів приймаються такі припущення:

- нерівності довжиною менше 2,7 м до уваги не беруться;
- осідання вимірюється відносно горизонта-

льного рівня, а не відносно кузова, як це наявне в дійсності;

- прогин, що виникає внаслідок руху вагона, не враховується (колія вважається рівнопружною);
- для розгляду буреться пряма ділянка колії, горизонтальні нерівності не враховуються;
- зовнішні ділянки, які не потрапили в інтервал стрічки, що досліджується, вважаються симетричними до оцінки осідання для розрахунку з допомогою тригонометричних рядів, а для розрахунку з допомогою чисельного способу – нульовою лінією.

Прийняті такі визначення:

- оцінка осідань – відображення осідання на стрічці вагона-колієвимірника;
- вертикальна нерівність – відхилення положення рейкової нитки від прямої лінії;
- розклад у тригонометричні ряди та зворотне їх сумування за допомогою швидкого перетворення Фур'є – пряме швидке перетворення Фур'є и обернене швидке перетворення Фур'є;
- частоти, які відповідають нерівностям з довжиною менше 2,7 м, називаються вищими частотами, більшою довжиною – нижчими.

Програмною основою для проведення математичних розрахунків вибирається математична система матричного моделювання Matlab [3].

Перетворення відображення осідання на стрічці вагона-колієвимірника у цифровий вигляд у вигляді вектора

При виконанні перетворення у цифровий вигляд здійснюється сканування стрічки при роздільній здатності 301 dpi. Такий вибір роздільної здатності пояснюється забезпеченням необхідної точності перетворення у цифровий вигляд (середня товщина лінії становить 4...5 пікселів), а також вкладенням у довжину бази 2,7 м цілої кількості пікселів ($15,998 \approx 16$ пікселів) для спрощення розрахунків.

Знаходження вертикальної нерівності

В основі розрахунку лежить забезпечення виконання рівняння

$$y(x) - y(x - L) -$$

$$-\left\{\frac{L_b}{2L}\left[y(x+L_b)-y(x)+y(x-L)+L_b-y(x-L_b)\right]\right\}=f(x), \quad (3)$$

де $y(x)$ – функція вертикальної нерівності заліз-

ничної колії; L – довжина бази візка вагона-колієвимірника, $L = 2,7$ м; L_b – довжина бази вагона-колієвимірника, $L_b = 24$ м; $f(x)$ – функція, що відображає осідання на стрічці вагона-колієвимірника.

Як видно з формули (3), третя складова є порівняно невеликою (до 10 %), тому для спрощення розрахунку враховуються тільки дві перших складові:

$$y(x) - y(x - L) = f(x). \quad (4)$$

Пояснення рівняння (4) показано на рис. 2.

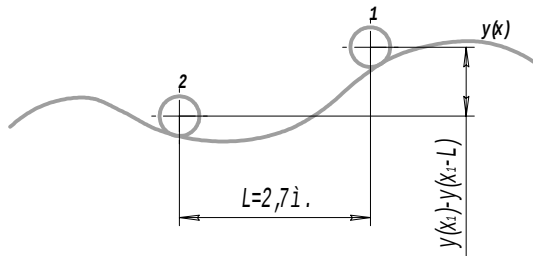


Рис. 2. Розрахункова схема

Вертикальна нерівність знаходиться двома способами: за допомогою тригонометричних рядів Фур'є та чисельним способом розрахунку.

Знаходження вертикальної нерівності за допомогою тригонометричних рядів Фур'є

В основі швидкого перетворення Фур'є лежать залежності:

– для прямого швидкого перетворення Фур'є

$$X(k) = \sum_{n=1}^N x(n) \cdot e^{-i2\pi(k-1)\left(\frac{n-1}{N}\right)}; \quad 1 \leq k \leq N; \quad (5)$$

– для оберненого швидкого перетворення Фур'є

$$x(n) = \sum_{k=1}^N X(k) \cdot e^{i2\pi(k-1)\left(\frac{n-1}{N}\right)}; \quad 1 \leq n \leq N, \quad (6)$$

де $x(n)$ – вектор, елементами якого є значення виразу на інтервалі $1 \leq n \leq N$, для якого потрібно здійснити пряме швидке перетворення Фур'є; $x(n)$ – вектор, елементами якого є комплексні числа, дійсна і уявна частина яких відповідає коефіцієнтам $a(k)$ і $b(k)$ в оберненому швидкому перетворенні Фур'є, розписаному, коли $x(n)$ дорівнює

$$x(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N a(k) \cos\left(2\pi \frac{n-1}{N} (k-1)\right) + b(k) \sin\left(2\pi \frac{n-1}{N} (k-1)\right), \quad 1 \leq n \leq N, \quad (7)$$

де $a(k) = \text{Re}(X(k))$, $b(k) = -\text{Im}(X(k))$.

Номер елемента k у векторі $X(k)$ пропорційний частоті. Спочатку здійснюється пряме швидке перетворення Фур'є отриманої оцінки осідання у числовому вигляді. Далі, маючи оцінку осідання у вигляді суми синусоїд, знаходиться розв'язок рівняння (4) для окремого члена тригонометричного ряду. Умова (4) для n -го члена ряду має вигляд

$$a_1 \cos(bx) + a_2 \sin(bx) - a_1 \cos(b(x-L)) - a_2 \sin(b(x-L)) = A \cos(bx) + B \sin(bx), \quad (8)$$

де A і B відповідають членам тригонометричного ряду, отриманого прямим швидким перетворенням Фур'є із функції осідань $f(x)$; a_1 і a_2 – члени тригонометричного ряду вертикальної нерівності $y(x)$.

Для знаходження a_1 і a_2 використовується метод невизначених коефіцієнтів, тобто записується умова (3) при $x=0$ і $x=\pi/2$:

– при $x=0$

$$a_1 - a_1 \cos(bL) - a_2 \sin(bL) = A; \quad (9)$$

– при $x=\pi/2$

$$a_1 \cos(0,5bp) + a_2 \sin(0,5bp) - a_1 \cos(b(0,5p-L)) - a_2 \sin(b(0,5p-L)) = A \cos(0,5bp) + B \sin(0,5bp). \quad (10)$$

Отримані два рівняння розв'язуються сумісно відносно a_1 та a_2 , і розв'язок має вигляд

$$a_1 = 0,5 \frac{-B + A \sin(bL) - B \cos(bL)}{\sin(bL)}; \quad (11)$$

$$a_2 = 0,5 \frac{A + A \cos(bL) + B \sin(bL)}{\sin(bL)}. \quad (12)$$

Далі, маючи розв'язок для загального члена тригонометричного ряду, формули (11) і (12) застосовуються для усіх членів, а після цього для знаходження вертикальної нерівності здійснюється обернене швидке перетворення Фур'є.

Дані для практичного розрахунку взято зі стрічки, що відповідає ділянці стикової колії довжиною 585 м для двох ниток. Оцінка осі-

дань після перетворення у цифровий вигляд для правої нитки показана на рис. 3. Оцінка осідань для лівої нитки показана на рис. 4

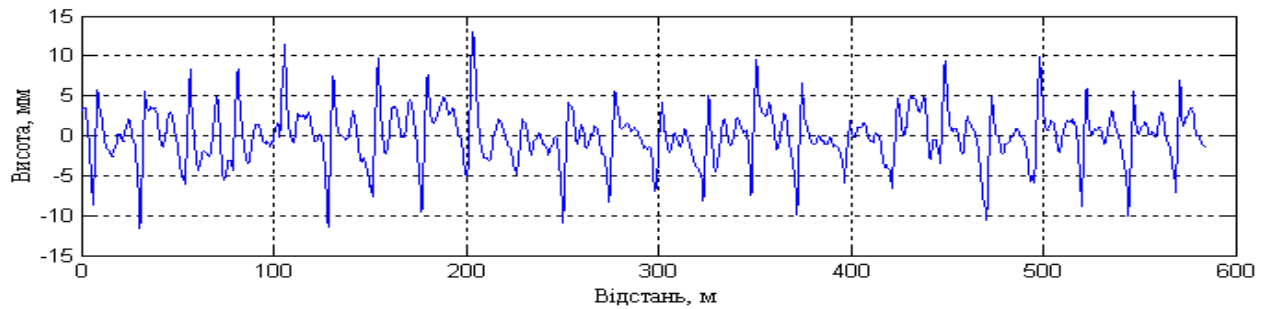


Рис. 3. Оцінка осідань для правої нитки

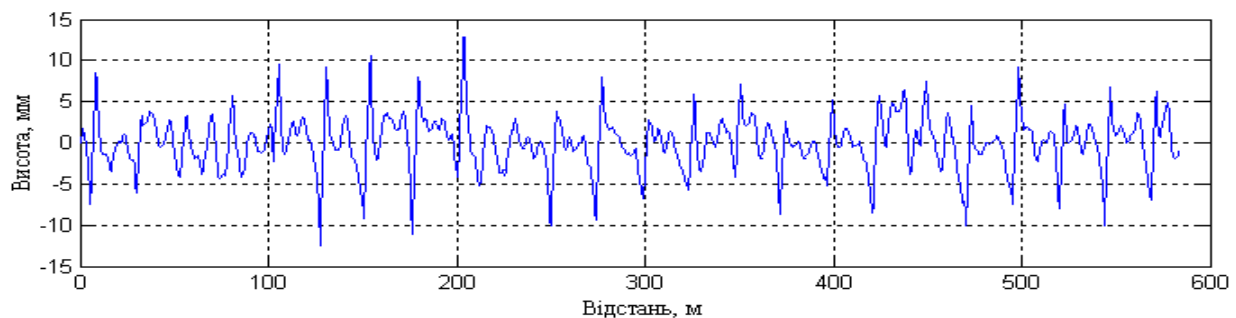


Рис. 4. Оцінка осідань для лівої нитки

Згідно з прийнятим припущенням нерівності з довжиною меншою 2,7 м відкидаються. Нерівності відкидаються фільтрацією відповідних частот. Внаслідок відкидання вищих частот утворюється певна похибка. Для отримання графіків похибки використовується залежність (4). Похибка для правої нитки показана на схемі рис. 5, похибка для лівої нитки – на схемі рис. 6. Із графіків похибок видно, що максимальні похибки становлять 7 % для правої нитки і 10 % для лівої, що значно менше похибки вихідних даних. Відносна середньоквадратична похибка становить 2 % для правої нитки і 3 % для лівої.

Для остаточної перевірки знаходимо розрахунковий переко́с (рис. 7) через різницю осідань і порівнюється з вимірними за даними (рис. 8). При визначенні похибки у знаходженні переко́су розрахунковим способом слід врахувати такі фактори:

- лінії осідань на стрічці у зонах стиків ма-

ють вигляд різких стрибків, у яких ширина запису в піку рівна товщині лінії. Це означає, що точність визначення положення піків різко залежить від графічної точності запису. Похибка визначення розміщення різких осідань (розміщення стиків) виявляє себе при обчисленні розрахункового переко́су, що показано на рис. 9 – у складі графіка похибки існує ряд різких стрибків;

- графік розбіжності розрахункового та виміряного переко́сів (рис. 9) має дещо викривлений вигляд – це наслідок приведення графіків порівняно незначної довжини до центральних осей.

Із врахуванням цих факторів можна вважати, що максимальна похибка (без врахування стикових зон та похибки центрування) становить 20–30 %, а відносна середньоквадратична – 8 %.

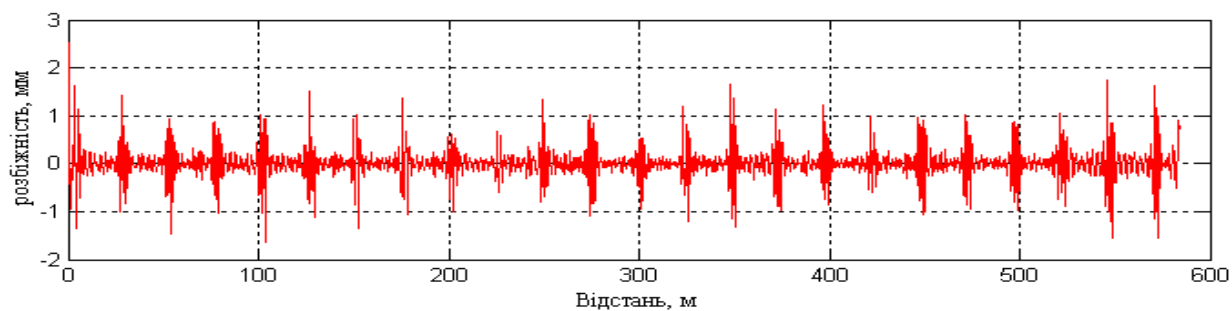


Рис. 5. Похибка для правої нитки

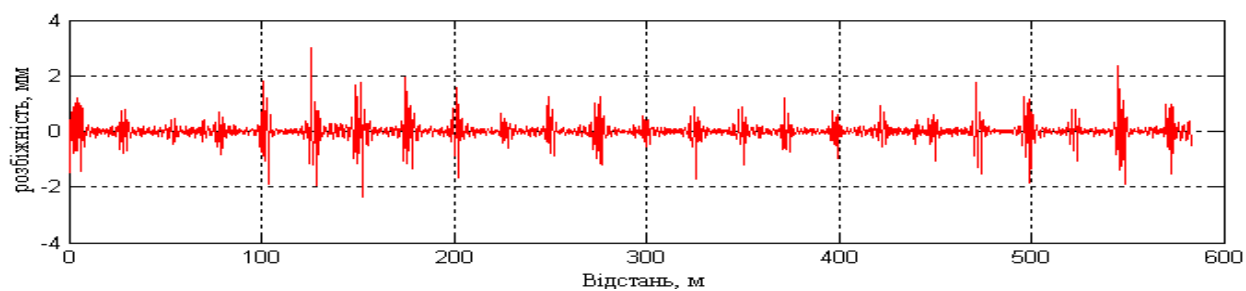


Рис. 6. Похибка для лівої нитки

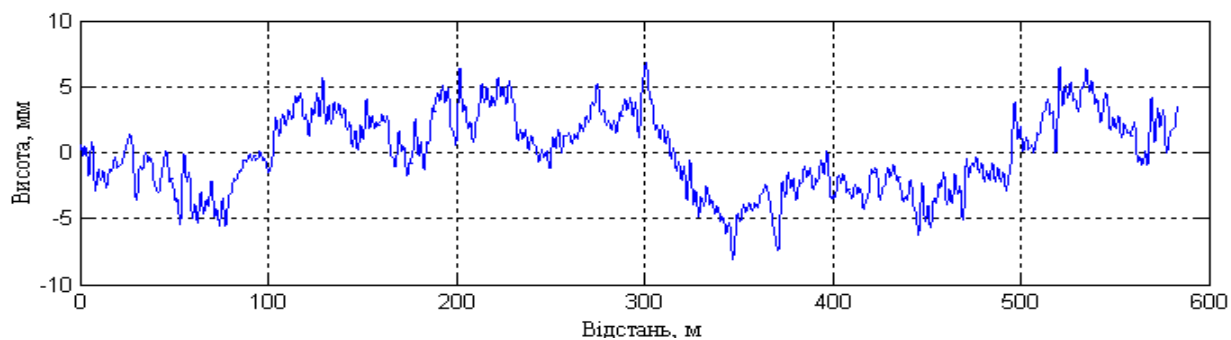


Рис. 7. Розрахунковий перехіс

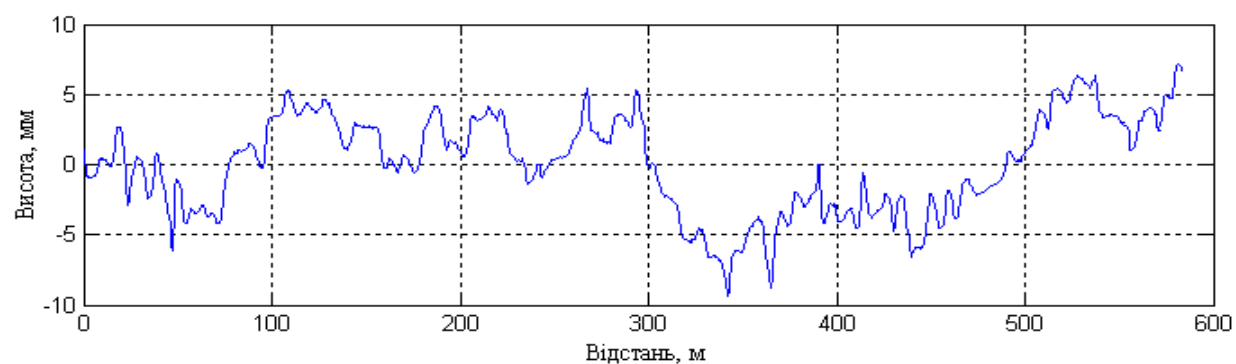


Рис. 8. Виміряний перехіс

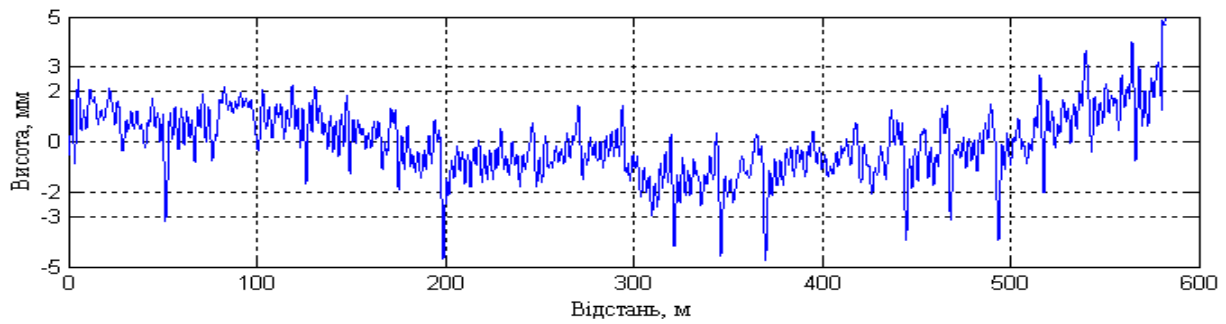


Рис. 9. Розбіжність між розрахунковим та вимірним перекосом

Знаходження виду вертикальної нерівності за допомогою чисельного способу

При використанні чисельного способу знаходження вертикальної нерівності заздалегідь приймається, що оцінка осідання поза межами досліджуваного інтервалу рівна нулю. На рис. 10 показана розрахункова схема.

Рівняння (4) у дискретному вигляді можна переписати так:

$$y_i - y_{i-N} = f_i, \quad (13)$$

де y_i – значення вертикальної нерівності в деякій i -й точці;

f_i – значення оцінки осідання в i -й точці;

Записуючи рівняння (13) для кожної точки на усьому досліджуваному інтервалі, одержимо систему рівнянь

$$\begin{aligned} y_0 - y_{-16} &= f_0, \\ y_1 - y_{-15} &= f_1, \\ y_2 - y_{-14} &= f_2, \\ &\text{-----} \\ y_n - y_{n-16} &= f_n. \end{aligned} \quad (14)$$

Згідно з раніше прийнятим припущенням вертикальна нерівність для точок з від'ємними

індексами (рис. 10) рівна нулю. Тому систему (14) можна записати так:

$$\begin{aligned} y_0 &= f_0, \\ &\text{-----} \\ y_{16} &= f_{16}, \\ y_{17} - y_1 &= f_{17}, \\ y_n - y_{n-16} &= f_n. \end{aligned} \quad (15)$$

Знаходячи в кожному рівнянні вертикальну нерівність, система (15) записується у вигляді:

$$\begin{aligned} y_0 &= f_0, \\ &\text{-----} \\ y_{16} &= f_{16}, \\ y_{17} &= f_{17} - y_1, \\ y_n &= f_n - y_{n-16}. \end{aligned} \quad (16)$$

Таким чином, цей підхід, на відміну від попереднього, дає можливість безпосередньо отримувати вертикальну нерівність. Результати знаходження вертикальної нерівності чисельним і тригонометричним способами з великою точністю збігаються.

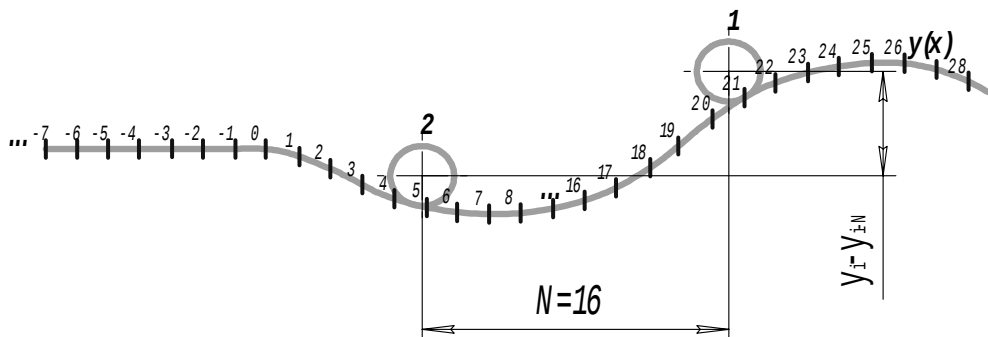


Рис. 10. Розрахункова схема для чисельного методу

Висновок

У цій роботі було з прийнятною точністю знайдено вертикальну нерівність колії в залежності від вимірів вагона-колієвимірника. Маючи вертикальні нерівності по обох рейкових нитках, обчислено розрахунковий перекис та порівняно його з вимірним.

Однак перед використанням отриманих результатів у динамічних моделях взаємодії колії та рухомого складу потрібно ще з'ясувати ряд додаткових питань:

- врахувати припущення про відносність вимірів відносно кузова вагона, введене у формулі (4);
- на стрічці вагона-колієвимірювача фіксуються осідання і перекося. З кожного із цих видів запису може бути знайдена вертикальна нерівність з різною точністю для різних видів нерівностей. Тому виникає питання знаходження остаточного виду вертикальної нерівності, у якій було б враховано як осідання, так і перекис. Для вирішення цієї проблеми можна поставити такі завдання:
 - збільшити точність знаходження вертикальної нерівності через осідання за рахунок врахування вищих частот;

– з'ясувати які типи нерівностей краще враховує осідання, а які перекося;

- знайдена будь-яким способом вертикальна нерівність містить складові прогину від динамічної взаємодії колії з вагоном-колієвимірником, залежить від модуля пружності колії та наявності люфтів між шпалою та баластом, зазорів між рейкою та шпалою. Тому перед вирішенням прямої задачі – знаходженням зусиль та прогину в залежності від вертикальної нерівності та будь-якого рухомого складу, потрібно вирішити обернену задачу – знайти реальну вертикальну нерівність в залежності від прогину та заданого рухомого складу, яким є вагон-колієвимірник.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Способ измерения геометрических характеристик пути. О. П. Ершков, М. Г. Зак, О. Г. Денисенко и др. – М.: АС 1749330 А1 // Сборник ЦНИИТЭИ. – 1971. – № 10. – С. 28.
2. Технічні вказівки до розшифрування записів колієвимірних вагонів / Під ред. В. Сушкова. – К.: Транспорт України, 1997.
3. Дьяконов В. Г. Matlab: Учебный курс. – СПб.: Питер-пресс, 2001.

МОДЕЛЮВАННЯ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ЗАЛІЗНИЧНИХ РЕЙОК В КОЛІЇ

В статті здійснюється моделювання життєвого циклу рейок в колії з метою визначення і прогнозування їх стану в будь-який момент часу.

В статье осуществляется моделирование жизненного цикла рельсов в пути с целью определения и прогнозирования их состояния в любой момент времени.

The life cycle modelling of rails in a track is carried out in the paper with the purpose of definition and forecasting of their condition at any moment.

Безперебійний і безпечний пропуск поїздів з встановленою швидкістю – основні функції, котрі повинна забезпечувати залізнична колія. Надійність колії – це її властивість зберігати значення цих параметрів. Перспективною і об'єктивною оцінкою стану колії є оцінка стану колії за показниками надійності: показники безвідмовності, довговічності, ремонтопридатності [1].

Залізнична колія – багатoelementний ремонтпридатний і відновлюваний об'єкт надійності. Основна вимога, яка повинна забезпечуватись – це безперервність роботи. Найважливішим елементом залізничної колії є рейки, тому що відмова однієї рейки приводить до відмови колії в цілому. Щоб забезпечити надійність залізничної колії перш за все потрібно змоделювати стан рейок.

Розробкою моделей відмов рейок займалися і займаються багато вчених ВНІЖТу, МПТу, НІЖТу, ДПТу [2–7]. Авторами запропоновані багато різноманітних моделей стану рейок, переважно це математичні моделі розрахунку контактно-втомленої довговічності рейок. В цих випадках дослідження основані на плоскій моделі Веллера або гіпотезі Майнера. Протиріч між вказаними гіпотезами і моделями не має і кожна може бути використана для розв'язку тої часткової задачі, яка ставиться перед ними.

Недоліком існуючих моделей є те, що надійність роботи рейок оцінюється за одним видом дефектів.

Необхідність розробки моделі життєвого циклу рейок основана на тому, що на сьогоднішній день ніякими нормативно-технічними документами не визначено показники надійності рейок. В наукових колах є різні думки навколо даної проблеми, наприклад Лисюк В. С. запропонував математичні моделі теорії масового обслуговування систем «бригада-колія», «залізнична колія», використовуючи п'ять основних

критеріїв на основі яких оцінюється граничне значення кількості одиночного виходу рейок [7], але вони не відображені в цих документах. Потрібно детально дослідити і розробити показники надійності на основі яких можна буде змоделювати життєвий цикл рейок. Це дозволить визначити і прогнозувати стан рейок в будь-який момент часу.

Ми пропонуємо загальну математичну модель життєвого циклу рейок, яка включає всі види дефектів і систему технічного обслуговування (поточне утримання колії і ремонти). Хоча дефекти контактно-втомленого походження займають основне місце, але звертаючи увагу на статистику по відмовах рейок за останні роки [8], також потрібно включати інші дефекти.

При розробці моделі життєвого циклу рейок керуємося наступними передумовами. Рейки, вкладені на конкретній ділянці, розглядаються як сукупність однакових елементів, кожний з яких характеризується випадково – закономірною невід'ємною величиною пропущеного тоннажу t .

На основі аналізу нормативно-технічної документації експлуатації рейок [9, 10] розроблено граф їх стану (рис. 1). На графі зображено всі можливі стани рейок. Справний стан для головних колій прийнято такий, при якому забезпечується швидкість пасажирських поїздів 140 км/год, а вантажних 90 км/год (стан 0 на рис. 1) Граничний стан рейок – є повною відмовою і рух по них заборонено (стани 5, 16, 17, 20, 30, 35).

Стани рейок з'єднані між собою потоками відмов і відновлення. Потоки відмов $\lambda_i(t)$ – це інтенсивність накопичення дефектів і пошкоджень в рейках, а потоки відновлення $\mu_i(t)$ характеризують інтенсивність виконання робіт по їх усуненню або попередженню. Головним

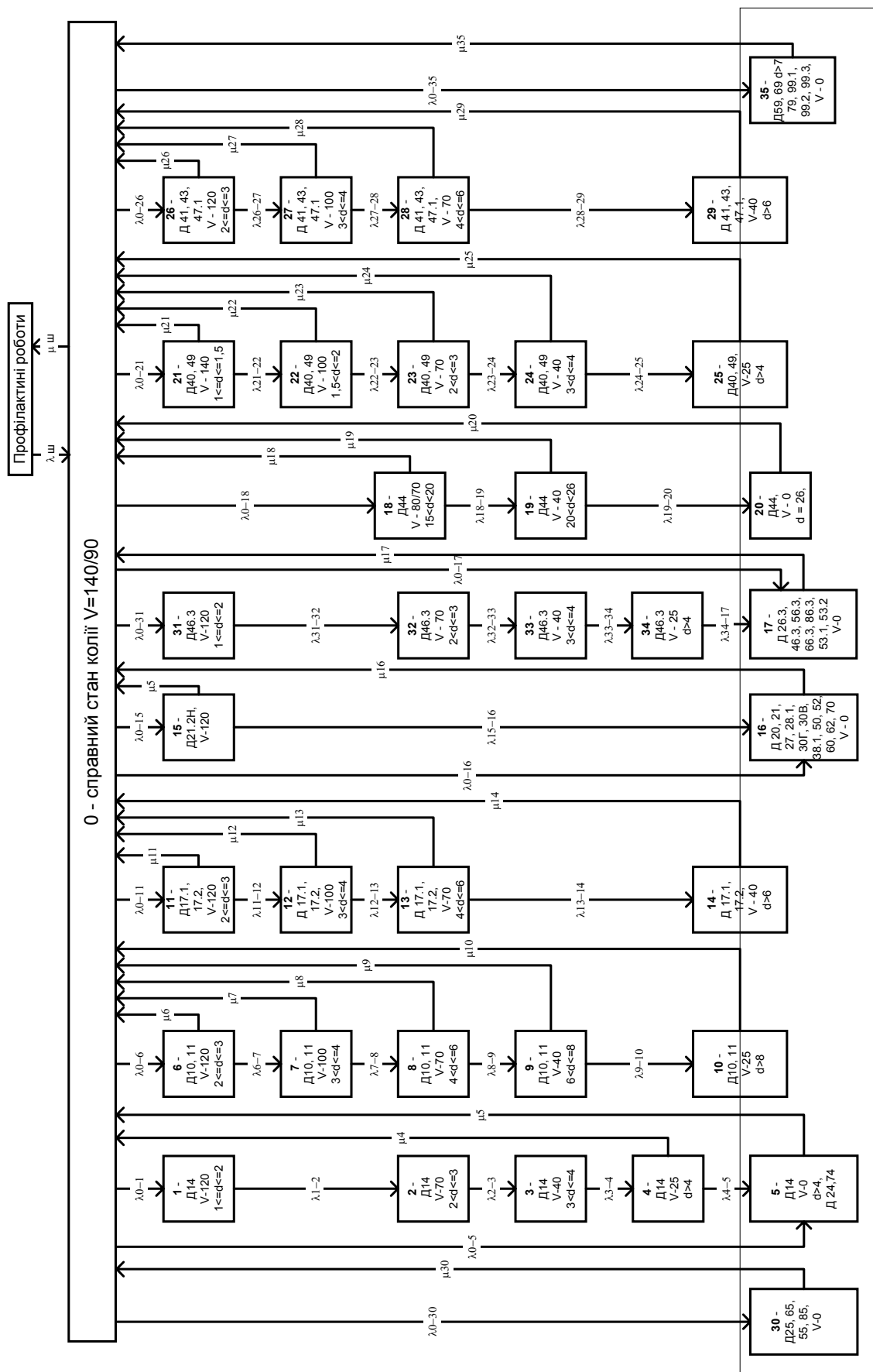


Рис. 1 . Граф станів рейок

методом отримання відомостей відносно надійності рейок є обробка статистичної інформації про відмови з визначенням їх інтенсивності. Обробка дозволяє визначити закон розподілу часу безвідмовної роботи і прогнозувати всі показники надійності об'єкта. Функція інтенсивності відмов залежить від пропущеного тону напруження, вантажонапруженості, осьового навантаження на вісь, швидкості, радіусу кривої, максимально-допустимих величин накопичуваль-

них пошкоджень чи деформацій, рівня напружень від динамічного навантаження. Функція відновлення залежить від системи утримання колій, яка прийнята на залізницях. Якщо показники від яких вона залежить постійні, то вона описується за експоненціальним законом.

В табл. 1 приведено перелік інтенсивностей потоків відмов і відновлення відповідно до дефектів рейок.

Таблиця 1

Інтенсивності відмов та відновлення рейок

Найменування інтенсивності відмов	Позначення	Найменування відповідної інтенсивності відновлення	Позначення
Поперечні тріщини в голівці рейки, тріщини в шийці, підшві, вигини внаслідок механічної дії (дефект 25, 55, 65, 85)	λ_{030}	Негайна заміна рейки. Планова заміна рейки при відсутності тріщини	μ_{30}
Поперечні тріщини в голівці та злами рейок внаслідок специфічної дії рухомого складу (дефект 24, 74)	λ_{05}	Негайна заміна рейки	μ_5
Впадини на поверхні голівки від дії коліс рухомого складу при буксуванні (дефект 14)	$\lambda_{01}, \lambda_{12}, \lambda_{23}, \lambda_{34}, \lambda_{45}$	Заміна в першу чергу рейок. Негайна заміна рейок	μ_4 μ_5
Відлущення і викришування металу на поверхні кочення голівки за дефектами 10, 11	$\lambda_{06}, \lambda_{67}, \lambda_{78}, \lambda_{89}, \lambda_{910}$	Шліфування рейок за встановленим графіком. Заміна рейок в першу чергу	$\mu_6, \mu_7, \mu_8, \mu_9$ μ_{10}
Відлущення і викришування металу на поверхні кочення голівки за дефектами 17.1, 17.2, 18	$\lambda_{011}, \lambda_{1112}, \lambda_{1213}, \lambda_{1314}$	Наплавлення рейок за типовим технологічним процесом. Заміна рейок в першу чергу	$\mu_{11}, \mu_{12}, \mu_{13}$ μ_{14}
Поперечні, повздовжні горизонтальні і вертикальні тріщини в голівці рейки (дефекти 20, 21, 27, 28.1, 30В, 30Г, 38.1, 50, 52, 60, 62, 70)	$\lambda_{016}, \lambda_{1516}$	Негайна заміна рейок	μ_{16}
Поперечні тріщини, що не виходять на поверхню рейки (дефект 21.2Н)	λ_{015}	Встановлення накладок на пошкоджене місце рейок	μ_{15}
Поперечні тріщини в голівці, тріщини в шийці, підшві, вигини рейок (дефекти 26.3, 56.3, 66.3, 86.3) а також зім'яття голівки понад 6 мм (46.3) внаслідок порушення технології зварювання рейок. Тріщини в шийці від болтових отворів (53.1, 53.2)	$\lambda_{017}, \lambda_{3417}$	Негайна заміна рейок	μ_{17}
Боковий знос голівки рейки (дефект 44)	$\lambda_{018}, \lambda_{1819}, \lambda_{1920}$	Змашування рейок, коліс. Планова заміна рейок. Негайна заміна рейок	μ_{18}, μ_{19} μ_{20}
Довгі та короткі хвилеподібні деформації на поверхні кочення голівки рейки (дефект 40 і 49)	$\lambda_{021}, \lambda_{2122}, \lambda_{2223}, \lambda_{2324}, \lambda_{2425}$	Шліфування рейкошліфувальним поїздом рейок. Заміна рейок в першу чергу	$\mu_{21}, \mu_{22}, \mu_{23}, \mu_{24}$ μ_{25}

Найменування інтенсивності відмов	Позначення	Найменування відповідної інтенсивності відновлення	Позначення
Зім'яття голівки рейки за дефектами 41, 43, 47.1. Зім'яття голівки через неоднорідність механічних властивостей металу в місці зварного стику (дефект 46.3)	$\lambda_{026}, \lambda_{2627}, \lambda_{2728}, \lambda_{2829}, \lambda_{031}, \lambda_{3132}, \lambda_{3233}, \lambda_{3334}$	Шліфування рейок повне і місцеве, планова заміна. Заміна в першу чергу	$\mu_{26}, \mu_{27}, \mu_{28}, \mu_{29}$
Корозія шийки, підшви рейки (59, 69) та інші дефекти (79, 99)	λ_{035}	Заміна рейок	μ_{35}

Для визначення ймовірностей знаходження рейок в кожному стані складено систему диференціальних рівнянь, на основі графа приведеного на рис. 1. Система приведена в матричному вигляді:

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{1,36} \\ a_{21} & a_{22} & a_{2,36} \\ a_{36,1} & a_{36,2} & a_{36,36} \end{pmatrix}, \quad (3)$$

$$\frac{\partial P}{\partial t} = A \cdot P, \quad (1)$$

де a_{mn} ($m = 1 \dots 36, n = 1 \dots 36$) – елементи матриці (табл. 2).

При цьому:

$$\sum_{i=0}^{35} P_i(t) = 1, \quad (4)$$

де P – матриця ймовірностей знаходження рейок в i -тому стані:

$$P = \begin{pmatrix} P_0 \\ P_1 \\ \dots \\ P_{35} \end{pmatrix}; \quad (2)$$

де $P_i(t)$ – ймовірності знаходження рейок в i -му стані; t – поточне значення пропущеного тоннажу.

Початкові умови в момент пропущеного тоннажу $t = 0$:

$$P_0(0) = 1, P_i(0) = 0, i = 1 \dots 35. \quad (5)$$

A – матриця коефіцієнтів, які складаються з інтенсивностей відмов та інтенсивностей відновлення:

Таблиця 2

Значення елементів матриці A

Елемент матриці	Значення	Елемент матриці	Значення	Елемент матриці	Значення	Елемент матриці	Значення
a_{11}	$-(\lambda_{01} + \lambda_{05} + \lambda_{030} + \lambda_{06} + \lambda_{011} + \lambda_{015} + \lambda_{021} + \lambda_{026} + \lambda_{031} + \lambda_{035} + \lambda_{uu}) + \mu_{uu}$	$a_{1,10}$	μ_9	$a_{1,17}$	μ_{16}	$a_{1,23}$	μ_{22}
a_{15}	μ_4	$a_{1,11}$	μ_{10}	$a_{1,18}$	μ_{17}	$a_{1,24}$	μ_{23}
a_{16}	μ_5	$a_{1,13}$	μ_{12}	$a_{1,19}$	μ_{18}	$a_{1,25}$	μ_{24}
a_{17}	μ_6	$a_{1,14}$	μ_{13}	$a_{1,20}$	μ_{19}	$a_{1,26}$	μ_{25}
a_{18}	μ_7	$a_{1,15}$	μ_{14}	$a_{1,21}$	μ_{20}	$a_{1,27}$	μ_{26}

a_{19}	μ_8	$a_{1,16}$	μ_{15}	$a_{1,22}$	μ_{21}	$a_{1,28}$	μ_{27}
----------	---------	------------	------------	------------	------------	------------	------------

Закінчення табл. 2

Елемент матриці	Значення	Елемент матриці	Значення	Елемент матриці	Значення	Елемент матриці	Значення
$a_{1,29}$	μ_{28}	a_{99}	$-(\lambda_{89} + \mu_8)$	$a_{18,18}$	$-\mu_{17}$	$a_{28,28}$	$-(\lambda_{2728} + \mu_{27})$
$a_{1,30}$	μ_{29}	$a_{10,9}$	λ_{89}	$a_{19,1}$	λ_{018}	$a_{29,28}$	λ_{2728}
$a_{1,31}$	μ_{30}	$a_{10,10}$	$-(\lambda_{910} + \mu_9)$	$a_{19,19}$	$-(\lambda_{1819} + \mu_{18})$	$a_{29,29}$	$-(\lambda_{2829} + \mu_{28})$
$a_{1,36}$	μ_{35}	$a_{11,10}$	λ_{910}	$a_{20,19}$	λ_{1819}	$a_{30,29}$	λ_{2829}
a_{21}	λ_{01}	$a_{11,11}$	$-\mu_{10}$	$a_{20,20}$	$-(\lambda_{1920} + \mu_{19})$	$a_{30,30}$	$-\mu_{29}$
a_{22}	$-\lambda_{12}$	$a_{12,1}$	λ_{011}	$a_{21,20}$	λ_{1920}	$a_{31,1}$	λ_{030}
a_{32}	λ_{12}	$a_{12,12}$	$-(\lambda_{1112} + \mu_{11})$	$a_{21,21}$	$-\mu_{20}$	$a_{31,31}$	$-\mu_{30}$
a_{33}	$-\lambda_{23}$	$a_{13,12}$	λ_{1112}	$a_{22,1}$	λ_{021}	$a_{32,1}$	λ_{031}
a_{43}	λ_{23}	$a_{13,13}$	$-(\lambda_{1213} + \mu_{12})$	$a_{22,22}$	$-(\lambda_{2122} + \mu_{21})$	$a_{32,32}$	$-(\lambda_{3132} + \mu_{31})$
a_{44}	$-\lambda_{34}$	$a_{14,13}$	λ_{1213}	$a_{23,22}$	λ_{2122}	$a_{33,32}$	λ_{3132}
a_{54}	λ_{34}	$a_{14,14}$	$-(\lambda_{1314} + \mu_{13})$	$a_{23,23}$	$-(\lambda_{2223} + \mu_{22})$	$a_{33,33}$	$-(\lambda_{3233} + \mu_{32})$
a_{55}	$-(\lambda_{45} + \mu_4)$	$a_{15,14}$	λ_{1314}	$a_{24,23}$	λ_{2223}	$a_{34,33}$	λ_{3233}
a_{61}	λ_{05}	$a_{15,15}$	$-\mu_{14}$	$a_{24,24}$	$-(\lambda_{2324} + \mu_{23})$	$a_{34,34}$	$-(\lambda_{3334} + \mu_{33})$
a_{65}	λ_{45}	$a_{16,1}$	λ_{015}	$a_{25,24}$	λ_{2324}	$a_{35,34}$	λ_{3334}
a_{66}	$-\mu_5$	$a_{16,16}$	$-(\lambda_{1516} + \mu_{15})$	$a_{25,25}$	$-(\lambda_{2425} + \mu_{24})$	$a_{35,35}$	$-(\lambda_{3417} + \mu_{34})$
a_{71}	λ_{06}	$a_{17,1}$	λ_{016}	$a_{26,25}$	λ_{2425}	$a_{36,1}$	λ_{035}
a_{77}	$-(\lambda_{67} + \mu_6)$	$a_{17,16}$	λ_{1516}	$a_{26,26}$	$-\mu_{25}$	$a_{36,36}$	$-\mu_{35}$
a_{87}	λ_{67}	$a_{17,17}$	$-\mu_{16}$	$a_{27,1}$	λ_{026}	$a_{1,12}$	μ_{11}
a_{88}	$-(\lambda_{78} + \mu_7)$	$a_{18,1}$	λ_{017}	$a_{27,27}$	$-(\lambda_{2627} + \mu_{26})$		
a_{98}	λ_{78}	$a_{18,5}$	λ_{3417}	$a_{28,27}$	λ_{2627}		

Для кожного виду дефекту кількісною оцінкою надійності є функція інтенсивності відмов в залежності від пропущеного тоннажу, яка в загальному визначається за формулою:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)}, \quad (6)$$

де $f(t)$ – функція щільності розподілу напруження до відмови;

$R(t)$ – функція ймовірності безвідмовної роботи.

Інтенсивність відмов залежить від фізики процесу. На основі попереднього аналізу пропонуємо такі види розподілу для кожного дефекту:

- експоненціальний закон розподілу характеризує раптові відмови системи чи об'єкта, інтенсивність відмов постійна (Д14, Д24, Д74, Д25, Д55, Д65, Д85);
- для дефектів контактної-втомленого походження функція інтенсивності відмов описується за нормальним законом (Д10,

Д11, Д17.1, Д17.2, Д18, Д20, Д21, Д27, Д28.1, Д21.1Н, Д30В, Д30Г, Д38.1, Д50, Д52, Д60, Д62, Д70, Д56.3, Д26.3, Д86.3, Д66.3, Д53.1, Д53.2);

- закон розподілу Вейбула – для опису поступових відмов зносного характеру (Д44, Д40, Д49, Д41, Д43, Д47.1, Д46.3, Д59, Д69, Д79, Д99.1, Д99.2, Д99.3).

Розроблена математична модель життєвого циклу рейок дозволяє з використанням необхідних експериментальних даних розв'язувати питання пов'язані із забезпеченням надійності роботи рейок і прогнозувати зміни надійності в залежності від пропущеного тоннажу, умов експлуатації, характеристик рухомого складу, та їх стану, напружено-деформованого стану рейок $[\sigma]$ та їх нормативних значень. На подальших етапах роботи планується визначити вплив перелічених показників на життєвий цикл рейок. Потрібно дослідити вплив допустимих напружень на інтенсивність відмов. Однією з цілей є встановлення інтегрованого показника взаємодії колії і рухомого складу, оскільки рівень взаємодії колії і рухомого складу оцінюється тільки за допустимими напруженнями. Встановити інтенсивності відмов рейок та інтенсивності їх відновлення, в залежності від інтегрованого показника.

Це дасть змогу розв'язати систему диференціальних рівнянь і визначити ймовірність знаходження рейок в кожному стані.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 27.003–83. Надежность в технике. Выбор и нормирование показателей надежности. Основные положения. – М.: Издательство стандартов, 1985. – 17 с.

2. Крысанов Л. Г., Скворцов О. С., Филиппов В. М. Оценка усталостной долговечности рельсов // Вестник ВНИИЖТа, 1987 г. № 8, С. 44-46.

3. Тарнопольский Г. И. Расчеты усталостной долговечности конструкций (в частности железнодорожных рельсов) вероятностными методами. // Строительная механика. Труды НИИЖТа, вып. 62, Новосибирск, 1967.

4. Рыбкин В. В., Патласов А. М. Математическая модель отказов рельсов по усталостным дефектам // Вопросы взаимодействия пути и подвижного состава в условиях интенсификации работы железнодорожного транспорта. Сб.науч.тр.ДИИТа, вып. 278/31. Днепропетровск, 1990, 124 с.

5. Коган А. Я., Гаврилов В. М. Оценка одиночного удельного выхода рельсов по контактно-усталостным дефектам с использованием математической модели // Решение задач взаимодействия подвижного состава и пути реального очертания. / Под. ред А. Я. Когана: Сб.науч.тр., М.: Транспорт, 1985, 78 с.

6. Грищенко В. А. Оценка надежности рельсов бесстыкового пути участка железной дороги // Повышение надежности и эффективности железнодорожного пути / Под. ред. Н. И. Карпущенко. Межв. сб.науч.тр., Новосибирск, 1991, 122 с.

7. Надежность железнодорожного пути // В. С. Лысюк, В. Б. Каменский, Л. В. Башкатова; Под ред. В. С. Лысюка. – М.: Транспорт, 2001, 286 с.

8. Как повысить надежность пути . В. С. Лысюк, Г. Г. Желнин, В. В. Кузнецов // Путь и путевое хозяйство, № 4, 2002. – С. 8-15.

9. Класифікація і каталог дефектів і пошкоджень елементів стрілочних переводів та рейок залізниць України. – Д.: Арт-Прес, 2000. – 148 с.

10. Інструкція по устрою та утриманню колії залізниць України / Е. І.Даниленко, А. М. Орловський, А. П. Татуревич та інші. – К.: Транспорт України, 1999. – 248 с.

ПРИМЕНЕНИЕ НОМОГРАММ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗВЫШЕНИЯ НАРУЖНОГО РЕЛЬСА И ДОПУСКАЕМЫХ СКОРОСТЕЙ ДВИЖЕНИЯ В КРИВЫХ

У статті розглядається алгоритм побудови номограм для визначення підвищення зовнішньої рейки та допустимих швидкостей руху рухомого складу у кривих ділянках залізничної колії. Наводиться приклад використання номограм, побудованої за допомогою табличного процесора Microsoft Excel, для конкретних вихідних даних.

В статье рассматривается алгоритм построения номограммы для определения возвышения наружного рельса и допустимых скоростей движения подвижного состава в кривых участках железнодорожного пути. Приводится пример использования номограммы, построенной с помощью табличного процессора Microsoft Excel, для конкретных исходных данных.

The algorithm for building a nomogram is considered in this paper. The nomogram is used to determine the outer rail lifting and the permissible rolling stock speeds at track curves. Table processor Microsoft Excel was used to build the nomogram. The example is given to use the nomogram the for specific data.

Расчет возвышения наружного рельса в кривых обычно не представляет большой сложности, однако требует вычислений по нескольким формулам, проверок выполнения ограничений по боковым непогашенным ускорениям и в ряде случаев принятия решения по ограничению максимальных скоростей движения или увеличению минимальных скоростей. Все это отнимает значительное время у расчетчика и может приводить к субъективным ошибкам в расчетах.

Существенно сократить время расчетов можно, используя номограммы. Вопросам построения номограмм были посвящены работы Г. С. Хованского, Б. А. Невского, Л. С. Блоха и др. [1–3]. Номограммами называют графическое отображение заданных зависимостей между двумя и более переменными. Номограммы позволяют: сконцентрировать на сравнительно небольшой площади необходимые расчетные данные, наглядно представить ход решения, исключить досадные ошибки арифметических вычислений, задать и оценить необходимую точность вычислений, решать обратную и прямую задачу, прогнозировать изменение результатов при изменении исходных данных, облегчить процесс расчетов.

Как известно, возвышение наружного рельса в кривой определяется по следующим зависимостям [4]:

$$h_p = \frac{12,5V_{\text{cp}}^2}{R}; \quad h = h_p,$$

при условии

$$\begin{cases} h \geq \frac{12,5V_{\text{max п}}^2}{R} - 115; \\ h \geq \frac{12,5V_{\text{max гр}}^2}{R} - 49; \\ h \leq \frac{12,5V_{\text{min гр}}^2}{R} + 49, \end{cases} \quad (1)$$

где h_p – расчетное возвышение наружного рельса, мм;

V_{cp} – средневзвешенная скорость движения всех поездов на кривой, км/ч;

h – проектное возвышение наружного рельса, мм;

R – радиус кривой, м;

$V_{\text{max п}}$ – максимальная скорость движения пассажирских поездов, км/ч;

$V_{\text{max гр}}$ – максимальная скорость движения грузовых поездов, км/ч;

$V_{\text{min гр}}$ – минимальная скорость движения грузовых поездов, км/ч;

Анализ номографических форм различных типов [1] показал целесообразность использования Z-номограммы из выровненных точек (рис. 1) для описания зависимости вида

$$F_1 = F_2 / F_3. \quad (2)$$

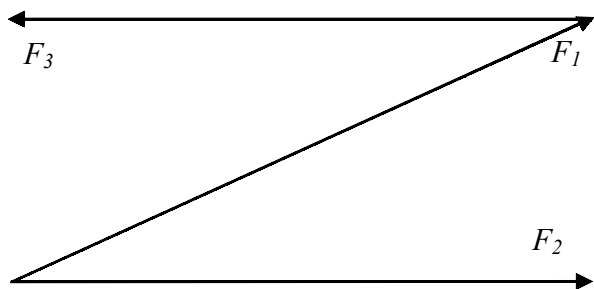


Рис. 1. Общий вид Z-номограммы

Приведем уравнения (1) к виду (2):

$$\begin{aligned} f_3(U_3) &= f_1(U_1) / f_2(U_2); \\ f_3(U_3) + 115 &= f_4(U_4) / f_2(U_2); \\ f_3(U_3) + 49 &= f_5(U_5) / f_2(U_2); \\ f_3(U_3) - 49 &= f_6(U_6) / f_2(U_2). \end{aligned} \quad (3)$$

В данных уравнениях принято следующее распределение носителей шкал

$$\begin{aligned} f_3(U_3) &= f_3(h) = h; \\ f_2(U_2) &= f_3(R) = R; \\ f_1(U_1) &= f_1(V_{\text{ср}}) = 12,5 V_{\text{ср}}^2; \\ f_4(U_4) &= f_4(V_{\text{max п}}) = 12,5 V_{\text{max п}}^2; \\ f_5(U_5) &= f_5(V_{\text{max гр}}) = 12,5 V_{\text{max гр}}^2; \\ f_6(U_6) &= f_6(V_{\text{min п}}) = 12,5 V_{\text{min п}}^2. \end{aligned} \quad (4)$$

Для удобства работы и рационального расположения на стандартном листе бумаги, а также объединения всех шкал номограмму представим в виде, показанном на рис. 2.

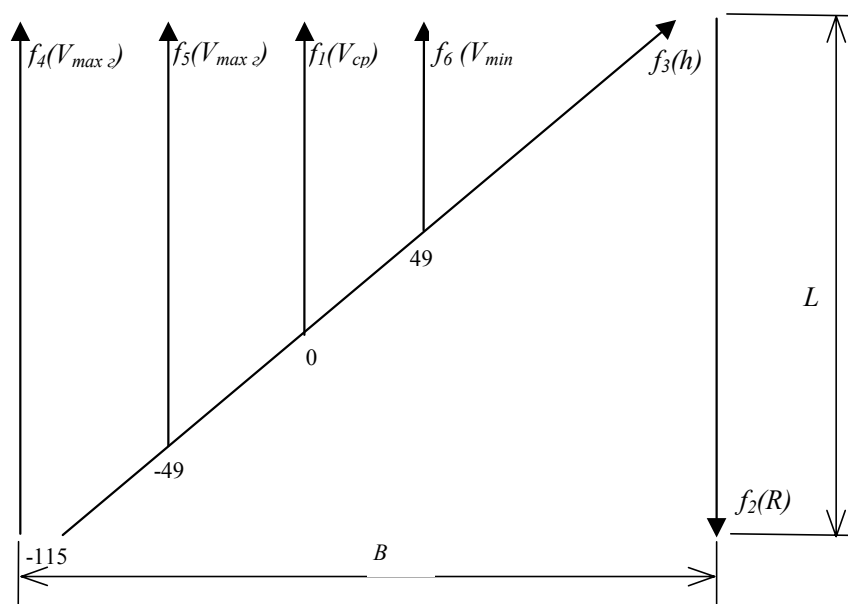


Рис. 2. Принципиальная схема построения номограммы

Назначим расчетные диапазоны для всех параметров U_i и соответствующих им функций $A_i \leq f_i(U_i) \leq B_i$

$$\begin{aligned} -115 \leq h \leq 200 \text{ мм} & \quad -115 \leq f_3(U_3) \leq 200 \\ 100 \leq R \leq 4000 \text{ м} & \quad 100 \leq f_2(U_2) \leq 4000 \\ 0 \leq V_{\text{max п}} \leq 160 \text{ км/ч} & \quad 0 \leq f_4(U_4) \leq 32000 \end{aligned}$$

Основные параметры номограммы задаются ее размерами. При формате листа А4 рациональные размеры будут равны: $L = 250$ мм, $B = 170$ мм.

Основываясь на принятых диапазонах параметров и на размерах номограммы, при расположении начала координат в левом нижнем углу уравнения шкал элементов номограммы примут следующий вид:

– шкала $V_{\text{ср.кв}}$	$x_1 = x_3(49);$ $y_1 = y_3(49) + \mu_1 f_1;$
– шкала R	$x_2 = L;$ $y_2 = L - \mu_2 f_2;$
– шкала h	$x_3 = B - B/(1 + \mu_3 f_3);$ $y_2 = L - L/(1 + \mu_3 f_3);$
– шкала $V_{\text{maxп}}$	$x_4 = 0; y_4 = \mu_4 f_4;$
– шкала $V_{\text{maxгр}}$	$x_5 = x_3(0);$ $y_5 = y_3(0) + \mu_5 f_5;$
– шкала $V_{\text{minгр}}$	$x_6 = x_3(-49);$ $y_5 = y_3(-49) + \mu_6 f_6;$

Учитывая то, что размеры номограммы и шкалы f_2 и f_3 постоянные для всех четырех совмещенных Z-номограмм, используемые значения масштабных коэффициентов шкал вычисляем по следующим зависимостям:

$$\begin{aligned}
 \mu_1 &= \mu_4 (L - y_3(0)) / (B_1 - A_1); \\
 \mu_2 &= L / (B_2 - A_2); \\
 \mu_3 &= \mu_4 / \mu_2; \\
 \mu_4 &= L / (B_4 - A_4); \\
 \mu_5 &= \mu_4 (L - y_3(-49)) / (B_1 - A_2); \\
 \mu_6 &= \mu_4 (L - y_3(49)) / (B_1 - A_1).
 \end{aligned} \tag{5}$$

По приведенному выше алгоритму составлена программа в табличном процессоре Microsoft Excel и выполнены расчеты, результаты которых выведены в графическом виде и представлены на рис. 3. Номограмма построена с зеркально отображенным расположением осей относительно рис. 2.

Пользоваться номограммой чрезвычайно просто. Например, при радиусе кривой $R = 800$ м и средневзвешенной скорости $V_{\text{ср}} = 80$ км/ч необходимо найти возвышение наружного рельса. Для этого через соответствующие точки на шкалах R и $V_{\text{ср}}$ проводим

прямую линию (рис. 3, линия 1) и по шкале h снимаем значение необходимого возвышения (100 мм). Такое возвышение обеспечит равномерный износ обеих рельсовых нитей и оптимальные затраты на содержание пути в кривой. При этом по шкалам $V_{\text{maxп}}$ и $V_{\text{minгр}}$ определяем, что максимальная скорость пассажирских поездов должна быть не более 117–118 км/ч, а минимальная скорость грузовых не менее 57–58 км/ч. Допустим, что при тех исходных данных необходимо обеспечить повышение скорости движения пассажирских поездов до 130 км/ч. Для этого прямую на номограмме проводим через точки $R = 800$ м и $V_{\text{maxп}} = 130$ км/ч (рис. 3, линия 2), а по шкале h определяем минимально допустимое возвышение (150 мм). При этом скорость грузовых поездов должна быть обеспечена не менее 80 км/ч (отсчет по шкале $V_{\text{minгр}}$). В этих условиях горизонтальные боковые непогашенные ускорения грузовых поездов по абсолютной величине будут не более $0,3 \text{ м/с}^2$, а пассажирских – не более $0,7 \text{ м/с}^2$. С такими ускорениями расстройство рельсовой колеи не будут интенсивно нарастать. Таким образом, с помощью предложенной номограммы можно оперативно решать задачи, связанные с определением возвышения и установлением минимальных и максимально допустимых скоростей движения поездов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хованский Г. С. Основы номографии. – М.: Наука, 1976. – 351 с.
2. Невский Б. А. Справочная книга по номографии. – М.: Гостехиздат, 1951. – 370 с.
3. Блох Л. С. Графические методы технических расчетов. (Номография). С предисловием проф. В. Э. Классена. – Х.: Универс. науч. изд-во, 1929. – 100 с.
4. Правила визначення підвищення зовнішньої рейки і встановлення допустимих швидкостей в кривих ділянках колії (ЦП/0056). – Д.: Арт-Пресс, 1999. – 44 с.

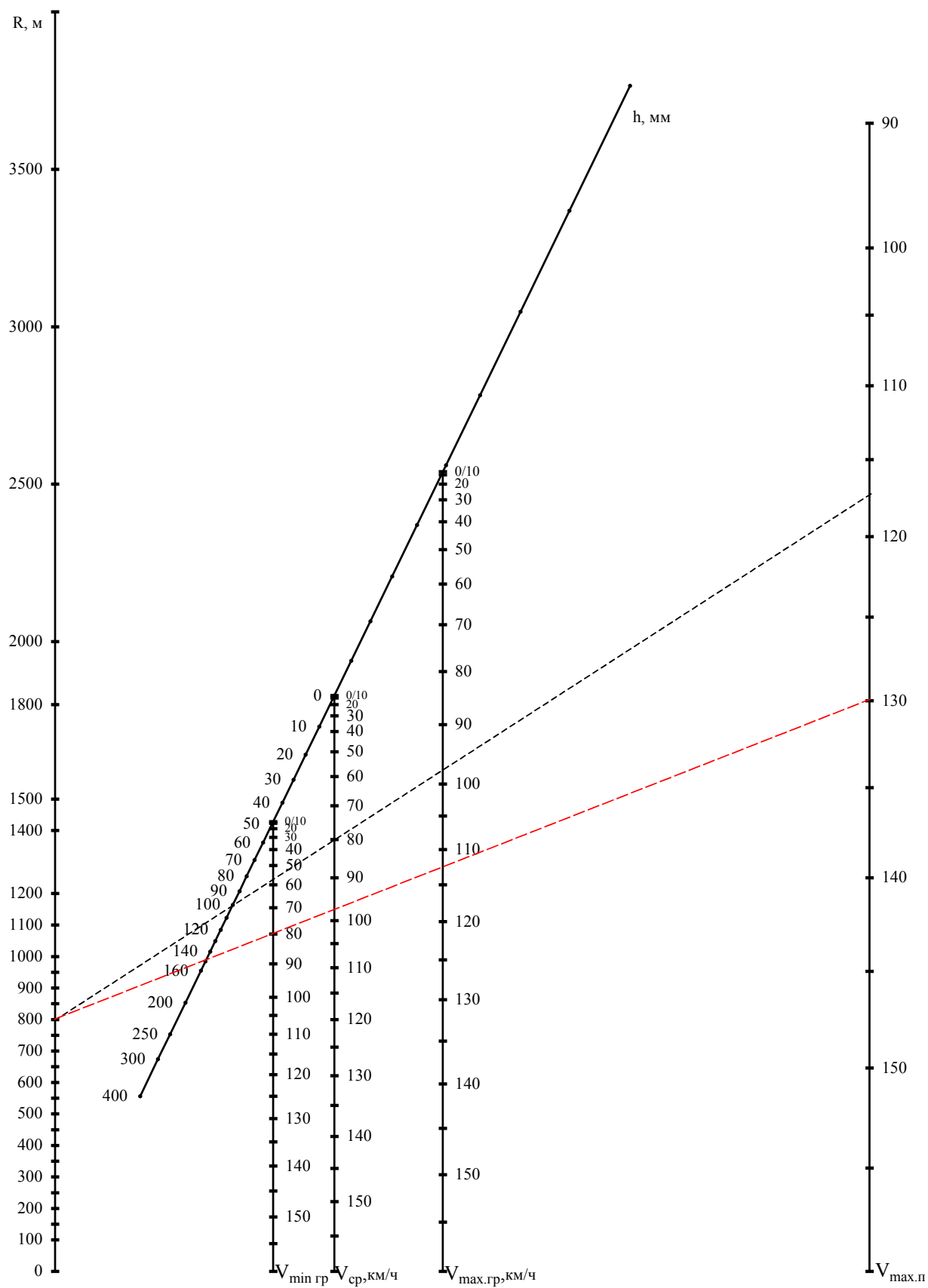


Рис. 3. Номограмма для определения возвышения наружного рельса:

..... — линия 1; - - - - - — линия 2;

ИЗНОС И СРОКИ СЛУЖБЫ РЕЛЬСОВ И КОЛЕС ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

У даній статті визначенні основні фактори, що визначають інтенсивність зносу рейок і коліс рухомого складу. У результаті аналізу, вимірів бокового зносу рейок у кривих ділянках колії, виявлені фактори, що впливають на інтенсивність зносу.

В данной статье определены основные факторы, определяющие интенсивность износа рельсов и колес подвижного состава. В результате анализа, измерений бокового износа рельсов в кривых участках пути, выявлены факторы, оказывающие влияние на интенсивность износа.

The major factors determining the intensity of deterioration of rails and wheels of a rolling stock are determined in the article. The measurements of lateral rails deterioration in curve sites of a way, the factors influencing intensity of deterioration are revealed as a result of the analysis.

Интенсивность износа рельсов и колес подвижного состава зависит от многих факторов. Между тем за последние 10 лет в конструкции пути и подвижного состава произошли существенные изменения, вызванные техническим прогрессом на железнодорожном транспорте. Протяжение термоупрочненных рельсов увеличилось на 50 %; а протяжение рельсов первой группы качества, имеющих повышенную твердость, возросло более чем в 2 раза. В то же время осуществлялся переход от чугунных на композиционные тормозные колодки, завершился переход с подшипников скольжения с открытыми буксами, на подшипники качения, в результате чего прекратилась естественная смазка колес и рельсов.

Согласно современным представлениям при контакте двух сопряженных поверхностей и их относительном перемещении в поверхностных слоях возникают механические и молекулярные взаимодействия, которые в конечном итоге и приводят к разрушению микрообъемов поверхностей, т. е. к их износу. Износ связан с многократным нарушением фрикционных связей. В зависимости от характера взаимодействия контактирующих поверхностей имеет место упругое или пластическое отеснение материала, микрорезание, разрушение окисных пленок или разрушение основного материала в результате адгезии (молекулярного взаимодействия) [1].

Анализ результатов исследований многих авторов и наших наблюдений показал, что интенсивный износ рельсов происходит в кривых радиусом 600 м и менее. Вид изношенных поверхностей боковых граней рельсов в кривых малых радиусов ($R < 400$ м) представляет собой бороздки и беспорядочно расположенные выемки и каверны различного размера и глуби-

ны, а также продукты изнашивания в виде чешуек. Это свидетельствует о преобладании здесь процессов, происходящих в зоне контакта, связанных с абразивным износом и глубинным вырыванием (задирам).

Анализ результатов наблюдений за износом рельсов на Западно-Сибирской железной дороге показал, что основным фактором, влияющим на интенсивность износа рельсов, является радиус кривых. Так на участках, где преобладают кривые радиусом 350...400 м интенсивность бокового износа в 2,5 раза выше, чем на участках, где преобладают кривые радиусом 550...600 м.

Получены убедительные данные о том, что ширина колеи в кривых в пределах от 1520 до 1540 мм не оказывает существенного влияния на боковой износ рельсов. Боковой износ на внутренних нитях отсутствует. На большинстве рабочих граней внутренних нитей кривых радиусом 600 м и менее отсутствуют даже следы касания гребней колес. Поэтому утверждения о недостатке ширины колеи в кривых не имеют под собой никаких оснований.

Анализ данных обточек бандажей колесных пар электровозов на дороге показал, что 55 % всех обточек производится по причине предельного износа гребней.

Анализ профилей колес локомотивов и вагонов показал, что они значительно отличаются по наклону (коничности) кругов катания, по величине радиуса выкружки гребня, углам наклона рабочей поверхности гребня, что неблагоприятно сказывается на условиях контактирования колес и рельсов и на интенсивности их износа. В каждой тележке электровоза находятся колеса, имеющие износ гребней существенно превосходящий износ других колес этой же

тележки.

Средняя интенсивность износа гребней отдельных колес тележек в 2 раза выше, чем остальных колес тех же тележек.

Объяснить это можно плохой развеской сцепного веса по осям электровоза и недостаточной твердостью отдельных колес.

Анализ дефектов колесных пар вагонов показал, что основными из них являются: 14 (тонкий гребень) – 41 %, 22 (выщербины) – 36 % и 20 (ползун) – 21 %, Другие дефекты, в частности 73 (разность диаметров колес) в вагонном депо не выявляются, но по данным нашей экспериментальной группы он достигает 19 %.

Прокат по поверхности катания колес увеличивается с наработкой в два раза менее интенсивно, чем износ гребней. Наибольшую величину прокат имеет по среднему кругу катания на расстоянии 70...100 мм от внутренних торцов колес.

Угол наклона рабочей поверхности гребня колеса на начальной стадии износа после обточки становится равным 65° и при дальнейшем нарастании износа остается практически без изменения. Угол наклона изношенной боковой грани наружного рельса в кривой также составляет 65° . Очевидно, что это оптимальный угол наклона гребней колес вагонов и локомотивов.

Одной из причин разной интенсивности износа левых и правых колес одной и той же колесной пары является разная их твердость. При этом если твердость колес по поверхности катания различается на 20...30 НВ, то разность средних значений по твердости гребня достигает 80...100 НВ.

Исследования рельсов не подтвердили, что является одной из основных причин износа гребней чрезмерную твердость рельсов. Твердость поверхности катания рельсов на опытных участках превышала твердость катания бандажей всего на 2...7 % [2].

Для оценки влияния параметров рельсовой колеи и ходовых частей подвижного состава на износ рельсов важно иметь обобщенный показатель. Часто используют так называемый фактор износа рельсов и гребней колес [3]. В этом случае интенсивность износа боковой грани рельса определяется выражением

$$\Phi_{\text{и}} = \frac{fNW}{G}, \quad (1)$$

где $\Phi_{\text{и}}$ – фактор износа; f – коэффициент

трения; N – нормальное давление в точке контакта гребня набегающего колеса и рельса; W – относительное скольжение гребня колеса по рельсу; G – площадь контакта гребня колеса и рельса.

Нормальное давление в точке контакта гребня колеса и рельса составляет

$$N = y_1 \sin \gamma, \quad (2)$$

где y_1 – направляющее усилие, действующее на первую ось тележки; γ – угол наклона рабочей поверхности гребня к горизонту.

Площадь контакта гребня колеса с боковой гранью рельса зависит от угла набегающего колеса на рельс и может быть определена в относительных единицах по формуле

$$G = 1 + 30 \frac{x_1}{R}, \quad (3)$$

где x_1 – расстояние от полюса поворота до геометрической оси первой колесной пары экипажа; R – радиус кривой.

Определим скольжение W гребня колеса по рельсу. При следовании подвижного состава по кривой действуют силы, которые поворачивают экипаж на необходимый угол. Поэтому экипаж находится в сложном поступательно-вращательном движении. Любая подвижная единица имеет больше одной оси, а в пределах жесткой базы (тележки) все оси параллельны между собой и поворачиваться относительно продольной оси этой базы не могут. Следовательно, движение, связанное с поворотом экипажа, возможно лишь при скольжении колес по рельсам [3].

Во время движения экипажа по кривой колеса скользят по рельсам не только за счет вращения жесткой базы вокруг полюса поворота C , но и в результате вращения колес. Относительная величина этого скольжения гребня составит

$$U_{\text{г}} = \frac{a}{r}, \quad (4)$$

где a – глубина касания гребня колеса и головки рельса; r – радиус колеса.

Суммарное относительное скольжение точки D , расположенной на рабочей поверхности гребня, по боковой грани рельса равно

$$W_D = \sqrt{\left(\frac{S}{2R} - \frac{a}{r}\right)^2 + \left(\frac{x_1}{R \cos \gamma}\right)^2 + \left(\frac{a}{r} \frac{x_1}{R \cos \gamma}\right)^2}, \quad (5)$$

где S – расстояние между осями рельсов.

Первый член формулы (5) представляет собой продольное скольжение точки D на гребне вдоль оси x , второй – поперечное скольжение в плоскости гребня вдоль оси y и третий – поперечное скольжение в плоскости гребня вдоль вертикальной оси z .

Такая модель вписывания жесткой базы экипажа в кривую со скольжением колес по рельсам – достаточно идеализированная, не учитывающая коничность колес, возможную разность их диаметров, люфты в буксовых направляющих тележки. Вместе с тем она позволяет анализировать влияние параметров рельсовой колеи на интенсивность износа рельсов.

Колеса локомотивов и мотор-вагонного подвижного состава подкальзывают из-за действия на них крутящего момента от двигателей. Это подкальзывание можно учесть коэффициентом, полученным С. М. Акурлевым [4]:

$$\delta = \frac{F_k}{4,1\sqrt{1-F_k}}, \quad (6)$$

где $F_k = \frac{F_{окр}}{F_c}$ – отношение окружного усилия

на ободе колеса к его предельному значению по сцеплению.

Формула (5) с учетом δ будет выглядеть так:

$$W_D = \sqrt{\left(\frac{S}{2R} - (1+\delta)\frac{a}{r}\right)^2 + \left(\frac{x_1}{R \cos \gamma}\right)^2 + \left((1+\delta)\frac{a}{r} \frac{x_1}{R \cos \gamma}\right)^2}. \quad (7)$$

Коэффициент δ в случае действия на колесо тормозного момента берется со знаком «плюс», а при действии тягового момента – «минус».

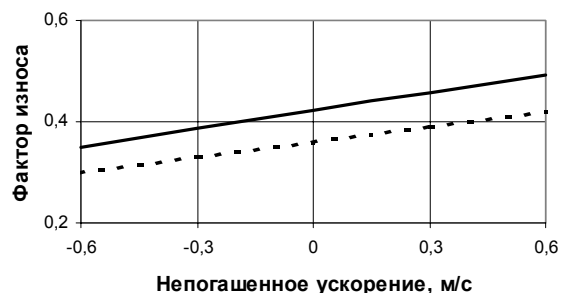
Действующие на первое набегавшее колесо направляющие усилия y_1 и полюсные расстояния x_1 можно определить по приближенным зависимостям О. П. Ершкова [5] в функции непогашенного центростремительного ускорения α_n .

Рассмотрим движение электроваза ВЛ-10 и грузового вагона с тележками ЦНИИ-ХЗ по кривой радиусом $R = 350$ м. Примем $S = 1,6$ м, $\gamma = 65^\circ$, $a = 0,01$ м, $r_b = 0,475$, $r_n = 0,625$ м, $\delta = 0,4$.

Результаты расчета направляющих усилий y_1 , полюсных расстояний x_1 , относительного скольжения гребня по рельсу W_D и фактора износа рельсов Φ_e в зависимости от непогашенных центростремительных ускорений приведены в табл. 1 и на рис. 1 и 2.

Изменение интенсивности бокового износа рельсов в зависимости от непогашенного центростремительного ускорения

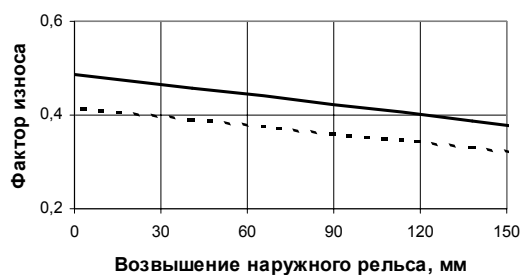
Непогашенное ускорение α_n , м/с ²	Направляющее усилие y_1 , кН	Полюсное расстояние x_1 , м	Относительное скольжение W_D	Фактор износа Φ_e
Грузовой вагон				
-0,6	61,5	2,77	0,0265	0,298
-0,3	69,0	2,64	0,0259	0,330
0	76,5	2,50	0,0252	0,360
0,3	84,0	2,36	0,0246	0,389
0,6	91,5	2,23	0,0241	0,418
Электроваз ВЛ10				
-0,6	62,8	3,79	0,0325	0,349
-0,3	70,5	3,64	0,0317	0,386
0	78,2	3,50	0,0310	0,422
0,3	85,9	3,36	0,0303	0,457
0,6	93,6	3,21	0,0295	0,491



— электроваз ВЛ-10
— грузового вагона

Рис. 1. Интенсивность бокового износа рельсов в кривой в зависимости от непогашенного ускорения

Из этих данных видно, что интенсивность износа рельсов как от воздействия электроваза ВЛ-10, так и от воздействия грузового вагона по мере увеличения непогашенного ускорения возрастает. Объясняется это большей чувствительностью направляющих усилий y_1 к росту непогашенных ускорений α_n по сравнению с относительным скольжением, которое слабо снижается по мере повышения α_n .



— электровоз ВЛ-10;
— грузовой вагон

Рис. 2. Интенсивность бокового износа рельсов в кривой в зависимости от возвышения

С увеличением возвышения наружного рельса (см. рис. 2) износ рельсов замедляется.

В результате многолетних исследований износа рельсов на Западно-Сибирской и Восточно-Сибирской железных дорогах получена следующая эмпирическая зависимость нарастания величины бокового износа рельсов h_δ (мм) от наработанного тоннажа T в миллионах тонн брутто (Мт)

$$h_\delta = 0,07 T K_R K_P K_T K_i K_c. \quad (8)$$

Интенсивность износа 0,07 мм/Мт получена в кривых радиусом 400 м при средней осевой нагрузке подвижного состава 170 кН, твердости рельсов 350 НВ на затяжных спусках $i_p = 9\text{‰}$ в отсутствии смазки рельсов.

Иные условия эксплуатации учитываются коэффициентами:

$K_R = (400/R)^2$ — учитывает изменение радиуса кривой R в м;

$K_P = (P/170)^{0,55}$ — учитывает изменение осевой нагрузки P в кН;

$K_T = (350/HB)^{3,5}$ — учитывает изменение твердости рельсов в единицах Бриннеля;

$K_i = (i_p/9)^{0,3}$ — учитывает изменение руководящего уклона i_p в промилле;

$K_c = 0,8 \dots 0,5$ — учитывает смазку рельсов.

Управляемыми факторами здесь являются твердость рельсов и их смазка.

В соответствии с полученными эмпирическими зависимостями, увеличение радиуса

кривой от 300 до 600 м приводит к снижению интенсивности бокового износа рельсов в 4 раза. Уменьшение осевых нагрузок от 170 кН до 90 кН приводит к снижению интенсивности износа на 30 %. Увеличение твердости рельсов с 320 до 400 НВ вызывает снижение интенсивности износа на 46 %. Увеличение уклонов затяжных подъемов и спусков в 2 раза приводит к возрастанию интенсивности износа на 23 %.

Периодичность замены рельсов по износу в наружных нитях кривых можно определять по зависимости:

$$T = \frac{h_\delta}{0,07 \cdot K_R \cdot K_T \cdot K_P \cdot K_i \cdot K_c}. \quad (9)$$

Подставив в (9)

$$h_\delta = 15 \text{ мм},$$

$$K_R = (400/R)^2,$$

$$K_T = (350/HB)^{3,5},$$

$$K_P = (P/170)^{0,55},$$

$$K_i = (i_p/9)^{0,3},$$

получим

$$T = 214,3 (R/400)^2 (HB/350)^{3,5} (170/P)^{0,55} \times (9/i_p)^{0,3} (1/K_c). \quad (10)$$

Определим тоннаж, который можно пропустить по кривым до смены наружной нити, при $P = 170$ кН и $P = 90$ кН.

Значение остальных коэффициентов примем равными единице.

В этом случае при $P = 170$ кН

$$T = 214,3 (R/400)^2 = 1,34 \cdot 10^{-3} R^2. \quad (11)$$

При $P = 90$ кН

$$T = 304,3 (R/400)^2 = 1,9 \cdot 10^{-3} R^2. \quad (12)$$

Тоннаж, который можно пропустить по кривым до смены наружной нити, приведен в табл. 2. При этом расчет угла при отсутствии лубрикации $K_c = 1$ и при наличии $K_c = 0,5$.

Тоннаж, млн т бр., который можно пропустить по кривой, до предельного износа рельсов наружной нити

Осевая нагрузка, кН	Радиус кривой, м								
	250	300	350	400	450	500	550	600	650
При отсутствии лубрикации									
170	83,7	120,5	164,1	214,3	271,2	334,8	406,2	482,2	565,9
90	118,9	171,1	230,0	304,3	385,2	475,4	576,8	684,7	803,6
При наличии лубрикации									
170	167,4	241,0	328,2	428,6	542,4	669,6	812,4	964,4	131,8
90	237,8	342,2	460,6	608,6	770,4	950,8	1153,6	1369,4	607,2

В соответствии с положением о системе ведения путевого хозяйства на железных дорогах Российской Федерации, утвержденной министром путей сообщения 27.04.2001 г. в кривых участках пути в период между усиленными капитальными ремонтами пути предусматривается дополнительная сплошная смена рельсов с периодичностью, приведенной в табл. 3.

Таблица 3

Периодичность дополнительных сплошных замен рельсов в кривых участках пути

Группа пути	Количество дополнительных сплошных смен рельсов в кривых в зависимости от радиуса кривой при наличии лубрикации рельсов	
	351–650 м	350 м и менее
Б, В	1 раз	2 раза
Г, Д	–	1 раз

Подсчитаем количество дополнительных смен рельсов в кривых, используя данные таблицы 2 при нормативном тоннаже для звеньевого пути на деревянных шпалах $T_H = 600$ млн т брутто.

$$n = T_H / T - 1. \quad (13)$$

Результаты расчета приведены в табл. 4.

Приведенная здесь методика определения периодичности смены рельсов в кривых по износу более адекватно по сравнению с существующими нормативами отражает реальную действительность.

Таблица 4

Количество дополнительных замен рельсов по износу в кривых в межремонтный период ($T_H = 600$ млн т брутто)

Осевая нагрузка, кН	Радиус кривой, м								
	250	300	350	400	450	500	550	600	650
При отсутствии лубрикации									
170	6	4	3	2	1	1	1	0	0
90	4	3	2	1	1	0	0	0	0
При наличии лубрикации									
170	3	2	1	0	0	0	0	0	0
90	2	1	0	0	0	0	0	0	0

Выводы

1. Как показали исследования, основным фактором, определяющим интенсивность износа рельсов и колес подвижного состава, является затрудненное вписывание экипажей в кривые малого радиуса на перегонах и станциях.

Анализ результатов измерений бокового износа рельсов в кривых участках пути показал, что наибольшее влияние на интенсивность износа оказывают:

- радиус кривой;
- твердость рельсов;
- осевые нагрузки подвижного состава;
- уклон продольного профиля;
- смазка рельсов.

Управляемыми факторами здесь являются твердость рельсов и их смазка.

2. Для получения положительного эффекта количество проходов рельсосмазывателей по участкам с интенсивным износом должно быть не менее одного, двух в сутки с подачей смазки типа РП в количестве 500...700 г/км.

Необходимо также установить напольные лубрикаторы в горловинах всех станций, где значительные вагонопотоки отклоняются на боковые направления. В первую очередь это должны быть участковые, сортировочные и пассажирские станции.

3. В связи с тем, что твердость рельсов является важнейшим фактором, определяющим их износостойкость, рекомендуется укладывать в кривые малого радиуса рельсы типа Р65К, категории качества «В» с твердостью не менее 363–401 единиц по Бриннелю.

4. Периодичность замен рельсов по износу в наружных нитях кривых существенно зависит от радиуса кривых, осевой нагрузки подвижно-

го состава, наличия или отсутствия лубрикации рельсов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Крагельский И. В. Трение и износ. – М.: Машиностроение, 1968. – 480 с.
2. Износ рельсов и колес подвижного состава / Под ред. К. Л. Комарова, Н. И. Карпущенко. – Новосибирск, СГАПС, 1997. – 153 с.
3. Андриевский С. М. Боковой износ рельсов в кривых / Тр. ВНИИЖТа. – М.: Трансжелдориздат, 1961. Вып. 220. – С. 4-32.
4. Ершков О. П. Вопросы подготовки железнодорожного пути к высоким скоростям движения. – М.: Трансжелдориздат, 1959. – 126 с.

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ СРАВНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ СКРЕПЛЕНИЙ

У даній статті зроблене порівняння техніко-економічних показників сучасних проміжних скріплень і проаналізована перспектива їхнього подальшого розвитку.

В данной статье произведено сравнение технико-экономических показателей современных промежуточных скреплений и проанализирована перспектива их дальнейшего развития.

The comparison of technical and economic parameters of modern intermediate fastenings is made and the prospect of their further development is analysed in this article.

Типовым промежуточным скреплением для Западно-Сибирской железной дороги, как и для всей России, является подкладочное скрепление КБ-65 с жесткой клеммой. Сильные и слабые стороны этого скрепления хорошо известны и уже давно ведутся работы по созданию более совершенного скрепления с упругими элементами.

Анализ существующих и перспективных конструкций промежуточных рельсовых скреплений показал, что основным направлением дальнейшего развития является переход на пружинные упругие малообслуживаемые скрепления.

Сибирский государственный университет путей сообщения совместно с Горновским заводом спецжелезобетона в течении ряда последних лет ведет работу по совершенствованию конструкций рельсовых скреплений и шпал. Результатом этой работы явилось создание ряда скреплений типа КН-65, КБ-65И, ГС-2, ГС-65, БАРС, БАРС-Б и другие [1].

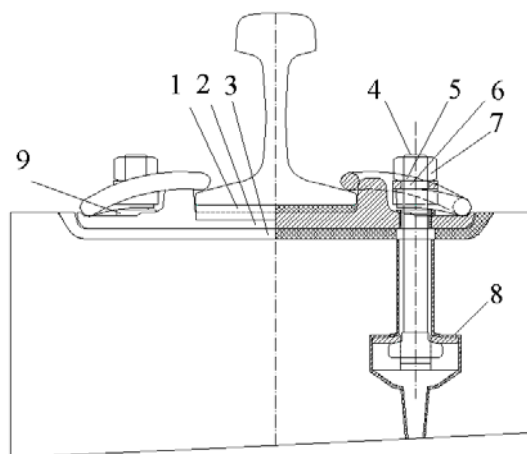


Рис. 1. Скрепление КН-65:

1 – упругая подрельсовая прокладка; 2 – металлическая подкладка; 3 – нащпальная прокладка; 4 – болт закладной; 5 – упругая прутковая клемма; 6 – скоба; 7 – гайка; 8 – изолирующий пустотообразователь; 9 – заглушка пластмассовая

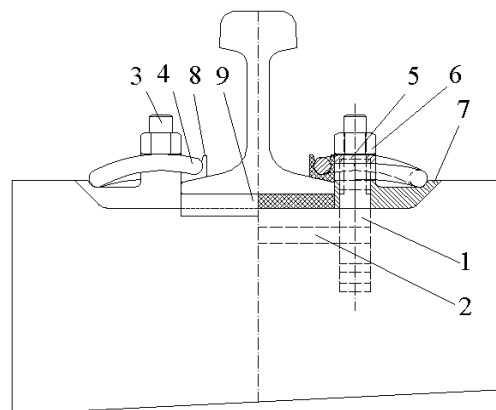


Рис. 2. Скрепление ГС-65:

1 – анкер; 2 – стержень; 3 – болт клеммный; 4 – упругая прутковая клемма; 5 – прижимная шайба; 6 – гайка; 7 – изолятор нащпальный; 8 – изолятор нарельсовый; 9 – упругая подрельсовая прокладка

Переход на рыночные отношения, расширение полигона бесстыкового пути дал новый толчок к разработке и внедрению рельсовых скреплений с упругими элементами.

На Горновском заводе железобетонных изделий – «Спецжелезобетон» начиная с 2000 года изготавливаются опытные партии нового перспективного упругого подкладочного скрепления КН-65 (СГУПС). А с 2001 года на заводе налажено производство бесподкладочного упругого скрепления ЖБР-65 (ВНИИЖТ, ПТКБ).

С 2000 года осуществляются наблюдения за эксплуатационной работой скрепления КН-65 на Инской дистанции пути. В 2001 году на нескольких дистанциях пути Западно-Сибирской железной дороги впервые было уложено упругое скрепление ЖБР-65. В 2002 году объемы укладки ЖБР-65 выросли до 120 км.

Однако в 2003 году, в связи с неоднозначными отзывами на эту бесподкладочную конструкцию, Горновский завод сократил объемы производства скрепления ЖБР-65 и в 2003 году

они составили около 26 км, в то же время производство скрепления КН-65 составило 10 км.

Для выявления сильных и слабых сторон скреплений КБ-65, ЖБР-65, КН-65, ГС-65 необходимо проведение всестороннего сравнительного технико-экономического анализа этих конструкций.

Проведенные статические и динамические лабораторные испытания разработанных СГУПС и Горновским заводом «Спецжелезобетон» скреплений КН-65, ГС-65 не выявили разрушений их деталей и остаточных деформаций, показав свою работоспособность.

В [2] представлены результаты, проведенных специалистами СГУПС лабораторных испытаний, характеризующие работу существующих и разработанных упругих промежуточных рельсовых скреплений.

Основные технические характеристики скреплений

Основные технические характеристики промежуточных рельсовых скреплений представлены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики конструкции рельсовых скреплений

Показатели	Тип скрепления			
	КБ-65	ЖБР-65	КН-65	ГС-65
Общее количество деталей в комплекте скрепления, шт	23	17	17	16
Регулировка по высоте, мм	12	10	10	15
Количество болтов в комплекте, шт	4	2	2	2
Масса узла скрепления, кг	13,0	8,5	12,4	9,5
Жесткость клеммы (кН/мм) по оси болта, в диапазоне монтажного натяжения 10-25 кН	13-16	4-6	5-9	4-6
Стоимость скрепления, руб. / шпалу	368,0	293,5	332,4	252,0

Данные табл. 1 показывают, что бесподкладочное скрепление ЖБР-65 имеет ряд преимуществ по сравнению с подкладочными скреплениями КБ-65 и КН-65. Масса металлических элементов скрепления ЖБР-65 меньше КБ-65

на 35 %; количество деталей меньше на 26 %. Масса металла скрепления ЖБР-65 меньше чем у скрепления КН-65 на 30 %.

Подкладочное скрепление КН-65 так же имеет ряд преимуществ по сравнению с подкладочным скреплением КБ-65. Масса металла скрепления КН-65 меньше КБ-65 на 3 %; количество элементов меньше на 26 %.

Относительно высокая металлоемкость скрепления КН-65 определяется зависимостью его конструкции от металлопроката под скрепление КБ-65. При создании проката непосредственно под требования КН ряд технико-экономических показателей значительно улучшится. Специалистами СГУПС уже разработан вариант с оригинальной металлической подкладкой – скрепление КНУ-65.

В результате первого этапа эксплуатации опытных шпал со скреплением КН-65 были получены данные, говорящие о хорошем состоянии обследуемого пути. Ширина колеи находится в пределах 1518–1525 мм, прижатие рельсов к шпалам стабильно, угон пути отсутствует, рельсовые цепи работают безотказно.

По полученным результатам было представлено положительное заключение в ЦП МПС и принято решение о дальнейшем изготовлении опытных партий и расширении эксплуатационных испытаний.

Экономическое сравнение промежуточных скреплений

Сравнение затрат на изготовление шпал и скреплений.

Цены промежуточных скреплений типа КБ-65, ЖБР-65, КН-65 и ГС-65 по Горновскому заводу спецжелезобетона, на май 2003 года, представлены в табл. 1. Стоимость шпалы равнялась 390 руб.

Стоимость шпал со скреплениями составит для прямого участка, тыс. руб.:

- со скреплением КБ-65
 $1840 \cdot 758 = 1394,7$;
- со скреплением ЖБР-65
 $1840 \cdot 683,5 = 1257,6$;
- со скреплением КН-65
 $1840 \cdot 722,4 = 1329,2$;
- со скреплением ГС-65
 $1840 \cdot 642 = 1181,3$.

Сравнение затрат на сборку рельсошпальной решетки

Технологические процессы сборки рельсошпальной решетки (РШР) рассчитаны на осно-

ве УТНВ и откорректированы в соответствии с технологическими процессами, применяемыми на производственных базах путевых машинных станций (ПМС) Западно-Сибирской ж. д.

Сравнивались затраты труда и стоимость сборки звеньев путевой решетки с железобетонными шпалами для трех типов промежуточных рельсовых креплений – КБ-65, КН-65 и ЖБР-65.

В расчете учитывались два возможных варианта сборки. Наиболее распространенный вариант – с предварительной частичной сборкой шпал на заводе-изготовителе и без нее.

В результате расчетов определено, что применение упругих креплений КН-65 и ЖБР-65, в сравнении с КБ-65 уменьшает затраты труда на сборку одного звена рельсошпальной решетки на 20 % и 27 %, соответственно для двух названных вариантов сборки, что влечет за собой увеличение годовых объемов производства ПМС.

Сравнение затрат на замену элементов верхнего строения пути

При всестороннем сравнении промежуточных креплений интерес представляет сравнение затрат на одиночную замену дефектных элементов.

Применение крепления КН-65 влечет за собой значительное снижение расходов и уменьшение трудозатрат на одиночную смену элементов верхнего строения пути.

Снижение трудозатрат на смену элементов крепления КН-65 в сравнении с КБ-65 составит: железобетонных шпал на перегоне – 9 %; на станции – 8 %; подкладок – 12 %; прокладок под подкладку – 5 %; смазка болтов – 43 %; подтягивание гаек болтов – 50 %.

Увеличение трудозатрат на смену упругих клемм КН-65 составит – 6 %.

Применение промежуточного крепления КН-65 позволит отказаться от ряда работ имеющих место при использовании крепления КБ-65 (смена клеммных болтов, пружинных шайб, изолирующих втулок).

Трудозатраты по остальным работам, таким как смена подрельсовых прокладок и многим другим значительно не изменятся и останутся прежними.

Сравнение затрат межремонтного периода

Для сравниваемых вариантов отличающихся друг от друга только размерами капитальных вложений и текущих затрат, наиболее эффек-

тивным будет являться вариант с минимумом приведенных затрат $ЗП_i$.

$$ЗП_i = \sum (K_{ii} + \mathcal{E}_{ii} + C_{ii}) \beta_t \rightarrow \min, \quad (1)$$

где K_{ii} – капитальные расходы по i -му варианту, руб.;

$\mathcal{E}_{ii}$ – эксплуатационные расходы по i варианту, руб.;

C_{ii} – периодические затраты на средние, плановопредупредительные ремонты по i варианту, руб.;

β_t – коэффициент приведения.

Коэффициент приведения разновременных затрат, с учетом процесса инфляции

$$\beta = \frac{\left(1 + \frac{p}{100}\right)^t}{(1 + E)^t}, \quad (2)$$

где p – годовой уровень инфляции, 12 %;

t – период времени приведения, лет;

E – норма дисконта разновременных затрат, минимальное коммерческое значение, соответствует банковскому депозитному проценту $E = 0,18$.

Эксплуатационные расходы на содержание железнодорожного пути

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{\text{тс}} + \mathcal{E}_{\text{м}} + \mathcal{E}_{\text{р}} + \mathcal{E}_{\text{ср}} + \mathcal{E}_{\text{сд}} + \mathcal{E}_{\text{о}}, \quad (3)$$

где $\mathcal{E}_{\text{тс}}$ – расходы на оплату труда работников, занятых текущим содержанием пути, руб./км в год;

$\mathcal{E}_{\text{м}}$ – расходы на смену элементов верхнего строения пути, руб./км в год;

$\mathcal{E}_{\text{р}}$ – расходы на реновацию (возобновление), руб./км в год;

$\mathcal{E}_{\text{ср}}$ – расходы на проведение средних ремонтов пути, руб./км в год;

$\mathcal{E}_{\text{сд}}$ – расходы, связанные с сопротивлением движению поездов в доле, зависящей от пути, руб./км в год;

Затраты на проведение ремонтов пути на Западно-Сибирской железной дороге за 2002 год представлены в табл. 2.

Эксплуатационные расходы

Применение новых промежуточных креплений с упругими элементами влияет на изменение затрат труда на периодическое подтягивание болтов, выправочные работы и регулировку ширины рельсовой колеи.

Таблица 2

**Затраты на ремонты верхнего строения пути,
тыс. руб./км**

Вид ремонта	Тип скрепления		
	КБ-65	КН-65	ЖБР-65
Усиленный капитальный	4105	4102	4077
Капитальный	3080	3077	3052
Средний	567		566,5
Планово-предупредительный	180		

Трудовые затраты на периодическое подтягивание болтов скрепления КБ-65 достигают 25–30 % общих трудовых затрат на содержание бесстыкового пути [3]. Применение скреплений ЖБР-65 и КН-65 с упругими клеммами, за счет увеличения стабильности прикрепления и уменьшения количества болтов, уменьшает эти затраты в 3–4 раза, что определяет уменьшение общих трудозатрат в среднем на 15 %.

Затраты труда на выправку бесстыкового пути с железобетонными шпалами составляют 40–50 % [3] и достигают 55–65 % [4]. При подкладочной конструкции 60 % выправочных работ выполняются за счет регулировочных прокладок. Применение этих прокладок, в сравнении с подбивкой шпал ЭШП, снижает трудоемкость работ не менее чем в 3 раза [5]. Бесподкладочному скреплению ЖБР-65, имеющему возможность выправки прокладками, рекомендовано применение их в исключительных случаях [6]. В соответствии с исследованиями [7], использование бесподкладочных конструкций в бесстыковом пути в среднем увеличивает трудоемкость выправочных работ в 1,17 раза,

Следовательно, общее увеличение трудозатрат на выправку пути и регулировку ширины колеи для бесподкладочного скрепления составит в среднем 10 %.

Сравнение эксплуатационных затрат

Амортизационные отчисления являются лидирующими в составе эксплуатационных затрат. Общая величина амортизационных отчислений складывается из двух частей: отчислений на полное восстановление (реновацию) основных фондов по истечении срока их службы и отчислений на ремонты, т. е. частичное возмещение износа верхнего строения пути.

При выборе верхнего строения пути расходы на полное восстановление можно определить по срокам между капитальными ремонтами пути, которые являются решающими при определении амортизационных отчислений, а следовательно и приведенных расходов.

Результаты расчета экономической эффективности вариантов верхнего строения пути с различными скреплениями приведены на рис. 3.

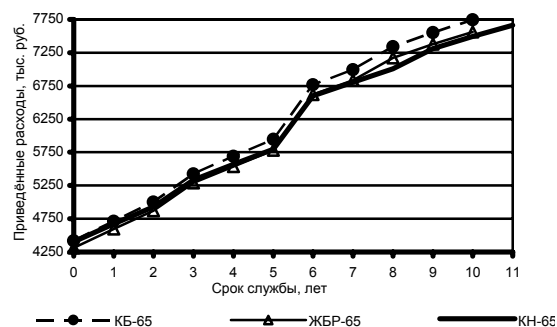


Рис. 3. Экономическая эффективность скреплений на грузонапряженном участке

Анализ экономических расчетов показал, что дополнительные затраты на подкладочные скрепления КН-65 при его укладке окупаются по сравнению со скреплением ЖБР-65 на участках с грузонапряженностью более 50 млн т км/км бр. в год – через 4–5 лет, и на менее грузонапряженных участках (25–30 млн ткм/км бр. в год) – через 8–12 лет.

Экономическая эффективность внедрения в типовую конструкцию бесстыкового пути упругого подкладочного скрепления КН-65 составит за межремонтный цикл на грузонапряженных участках (более 50 млн ткм/км бр. в год) – не менее 300 тыс. руб./км, на менее грузонапряженных участках – 30–200 тыс. руб./км.

Выводы

1. На основании проведенных расчетов и сделанных выше промежуточных выводов установлена для различных аспектов эксплуатации значительная эффективность промежуточных рельсовых скреплений с упругими элементами.

Для увеличения эффективности современных рельсовых скреплений с упругими элементами необходимо расширение исследований.

2. В результате сравнения основных технико-экономических характеристик скреплений КБ-65, ЖБР-65, КН-65 и ГС-65 определено, что новые современные скрепления отличаются

значительно меньшим количеством элементов и большей экономией металла. Их применение уменьшает стоимость одного километра пути, значительно снижает затраты труда на сборку звеньев РШР и на одиночную смену элементов верхнего строения.

3. На участках бесстыкового пути с бесподкладочной конструкцией креплений ограничены возможности выправки пути в профиле за счет смены подрельсовых регулировочных прокладок. Так как выправка пути в профиле одна из основных работ текущего содержания железных дорог Сибири, то на участках, имеющих высокую грузонапряженность и осевые нагрузки, рациональней применять подкладочные промежуточные рельсовые крепления.

Существующие подкладочные конструкции не в полной мере отвечают требованиям бесстыкового пути в условиях Сибири. Для реализации перспективных возможностей увеличения эффективности бесстыкового пути необходимо расширение исследований, и на их основе продолжить конструкторские и технологические усовершенствования подкладочных креплений с упругими элементами.

4. В результате первого этапа эксплуатации опытных шпал с новым упругим подкладочным креплением КН-65 были получены данные, говорящие о хорошем состоянии обследуемого пути. Ширина колеи находится в пределах допуска, прижатие рельсов к шпалам стабильно, угон пути отсутствует, рельсовые цепи работают безотказно.

5. Относительно высокая металлоемкость крепления КН-65, в сравнении с ЖБР-65, объясняется зависимостью его конструкции от металлопроката под крепление КБ-65. При создании проката непосредственно под требования

КН многие технико-экономических показателей значительно улучшатся. Специалистами СГУПС уже разработан вариант с оригинальной металлической подкладкой – крепление КНУ-65.

В результате проведенных исследований определены перспективы повышения эффективности подкладочных креплений с упругими элементами, выработаны рекомендации к внедрению нового упругого подкладочного крепления КНУ-65.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чижев А. В. Совершенствование малообслуживаемых рельсовых креплений для железобетонных шпал бесстыкового пути: Автореф. дис. канд. техн. наук. – Новосибирск, 2001. – 26 с.
2. Карпущенко Н. И., Антонов Н. И. Разработка и исследования новых рельсовых креплений для железобетонных шпал // Экспериментальное кольцо – 70: Тезисы междунар. конф. – М., 2002. – С. 241–243.
3. Бесстыковой путь / В. Г. Альбрехт, Н. П. Виногоров и др.; под ред. В. Г. Альбрехт. – М.: Транспорт, 2000. – 408 с.
4. Евдокимов Б. А. Техничко-экономическая эффективность снижения жёсткости пути с железобетонными шпалами // Тр. ВЗИИТ: Совершенствование норм устройства рельсовой колеи. – М., 1972. – Вып. 60. – С. 54–63.
5. Андреев Г. Е., Липидус Т. А. Бесстыковому пути – надёжное крепление // Железнодорожный транспорт. – 1972. – № 3. – С. 60–64.
6. Ермаков В. М. Перспективы внедрения упругих креплений // Путь и путевое хозяйство. – 2002. – № 5. – С. 2–5.
7. Липидус Т. А. Исследование работы элементов крепления КБ-65 в пути: Автореф. дис. канд. техн. наук. – Л., 1983. – 24 с.

УСТОЙЧИВОСТЬ БЕССТЫКОВОГО ПУТИ ПОД ДВИЖУЩИМСЯ ПОЕЗДОМ

У статті викладається новий принцип розрахунку безстыкової залізничної колії на стійкість з урахуванням фактору часу і впливу поїздів.

В статье излагается новый принцип расчета бесстыкового железнодорожного пути на устойчивость с учетом фактора времени и воздействия поездов.

In article the new principle of calculation of a railway track without joints at stability is stated in view of the factor of time and influence of trains.

В 30–50-е годы в Германии, Венгрии, Великобритании и в СССР на стендах проводились испытания бесстыкового пути на устойчивость при действии в рельсах продольных сжимающих сил, возникающих при искусственном подогреве.

Главный недостаток этих экспериментов заключается в том, что стенды представляли собой участок бесстыкового пути, по которому не двигались поезда.

Считалось, что под поездом путь более устойчив, поскольку при вертикальном нагружении сопротивление балласта перемещениям рельсошпальной решетки и вдоль, и поперек оси пути будут значительно большими, чем при отсутствии поезда.

Выброс на стенде происходил в доли секунды. Кривая изгиба рельсов, потерявшей устойчивость путевой решетки имела большую стрелу (до 40 см) при длине не менее 20 м, предполагалось, что эти факты также свидетельствуют о невозможности выброса под поездом, поскольку между тележками вагонов значительно меньше расстояние.

Однако, известные результаты анализа сходов подвижного состава из-за потери устойчивости на дорогах США свидетельствовали о том, что возможна потеря устойчивости под поездом и даже более вероятное место – под 10-тым вагоном с головы состава.

На дорогах СССР и СНГ многие сходы подвижного состава были по причине отнесены к выбросу под поездом, и ряд самых опытных работников-путейцев при служебных расследованиях сходятся во мнении, что выброс под поездом возможен.

Не исключено, что в некоторых случаях причина – потеря устойчивости бесстыкового пути под поездом при действии продольных сжимающих сил – была определена ошибочно, так как выброс может быть не причиной, а

следствием схода допущенного по иной причине.

Перечисленные выше факты и соображения заставили нас более глубоко исследовать законы изменения сил и деформаций, происходящих в бесстыковом пути во время движения поезда.

Лабораторией бесстыкового пути ВНИИЖТа был проведен эксперимент с нагревом короткого участка рельсов на испытательном кольце в Щербинке с измерением возникающих поперечных оси пути деформации рельсошпальной решетки. Этот эксперимент показал, что даже при незначительных продольных силах, под поездом происходят перемещения путевой решетки в поперечном направлении, а при отсутствии поезда таких перемещений нет.

Тогда экспериментаторы посчитали, что эти перемещения, составлявшие малые доли миллиметра, незначительны и не существенно влияют на устойчивость пути.

Нами проведены на различных эксплуатируемых участках не одна сотня экспериментов, в которых испытаниям подвергались шпалы, перемещаемые в балласте под действием горизонтальной силы (вдоль или поперек оси пути) постоянной величины. Величина сил в различных опытах была от минимальной, при которой еще возможно было измерять перемещения, до максимальной, реально передаваемой от рельса на шпалу. Постоянство силы за время проведения каждого опыта являлось необходимым условием общепризнанной методике «эксперимента на ползучесть». Эти эксперименты показали, что между величиной силы и скоростью деформации имеется прямо пропорциональная зависимость. Коэффициент пропорциональности в этой зависимости называется коэффициентом вязкости балласта сдвигаемого шпалой.

С учетом этой зависимости была выдвинута гипотеза о законах изменения продольных сил

и деформаций бесстыкового пути с учетом фактора времени. Эта гипотеза была подтверждена различными экспериментами на действующих участках бесстыкового пути. Таким образом была создана теория – реология бесстыкового пути. Эта теория способствовала созданию и широкому внедрению бесстыкового пути со сверхдлинными рельсовыми плетями. Соответствующее учебное пособие [1] было издано с грифом МПС РФ. Это пособие было обсуждено и одобрено на одном из заседаний Путьской секции Научно-технического совета МПС РФ. Было рекомендовано результаты исследований внедрить в учебный процесс ВУЗов, использовать новые исследования в переиздаваемых учебниках, в методиках исследовательских работ и при переквалификации руководителей путевых подразделений.

Из реологии бесстыкового пути следует, что при некоторых достаточно больших, но реально возможных продольных силах, передаваемых от рельсов на шпалы, возможно накопление деформаций и вдоль и поперек оси пути. Это накопление деформаций в виде стрелы изгиба рельсошпальной решетки в плане может под поездом привести к сходу подвижного состава из-за вползания гребня колеса на головку рельса. Вероятнее всего это может произойти с порожним вагоном при недопустимой скорости движения по образовавшейся неровности рельсов в плане. Неровность в плане образуется и растет во время движения поезда и возможно при достаточно длинном составе может быть не замечена машинистом начальная стрела f_0 .

В соответствие с реологией бесстыкового пути интенсивность роста стрелы определяется следующей функцией

$$f = f_0 \exp \frac{F^2 \tau}{4EI\xi}, \quad (1)$$

где F – продольная сила в двух рельсах;

τ – время;

E – модуль упругости рельсовой стали;

I – приведенный момент инерции рельсошпальной решетки в горизонтальной плоскости.

ξ – коэффициент вязкости балласта, сдвигаемого шпалой поперек оси пути.

Чем больше стрела f_0 , тем интенсивнее ее рост f во время движения состава (рис. 1).

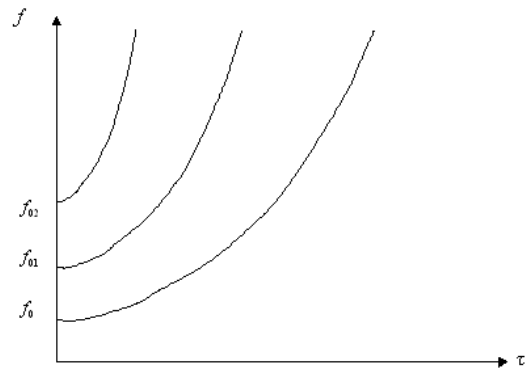


Рис. 1. Зависимость роста стрелы во времени

Как видно из (1), интенсивность роста f более всего зависит от продольной силы F^2 . Жесткость EI рельсошпальной решетки влияет в меньшей степени, она может в некоторой степени быть увеличена за счет более сильного прижатия рельсов к шпале. Сопротивление балласта ξ , если балластная призма в нормальном состоянии достаточно, чтобы интенсивность роста не была катастрофической. Нельзя считать причинами выброса отсутствие балласта в шпальных ящиках или плеча балластной призмы. Более существенно влияние связи шпалы с балластом по ее подошве (до 90 %). Скорее всего, причиной потери устойчивости может быть провес рельсошпальной решетки. В этом случае на длине провисания рельсов $\xi \approx 0$, тогда интенсивность роста стрелы будет опасной, но потеря устойчивости возможна только в сочетании с достаточно большой продольной силой.

Продольная сжимающая сила, как известно, зависит от температуры закрепления, которую для обеспечения устойчивости бесстыкового пути следует делать достаточно высокой. Тогда интенсивность роста стрелы будет ничтожно малой при любых состояниях верхнего строения пути, допускающих безопасность движения поездов по остальным параметрам.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Новакович В. И. Бесстыковой путь со сверхдлинными рельсовыми плетями. Учебное пособие с грифом МПС. – Ростов-на-Дону: РГУПС, 2001.

АНАЛИТИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ СТАБИЛЬНОСТИ ОБЪЕКТОВ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

У статті розглянуті функції напруженого стану, міцності і стійкості, що характеризують стабільність земляного полотна, алгоритми їхньої оптимізації і визначення.

В статье рассмотрены функции напряженного состояния, прочности и устойчивости, характеризующие стабильность земляного полотна, алгоритмы их оптимизации и определения.

The functions of the intense condition, durability and the stability describing stability of the subgrade, algorithms of their optimization and definition are considered in the article.

Стабильность земляного полотна, как сложной геотехнической системы, характеризуется комплексом (множеством) критериев качества, которые имеют аналитическую интерпретацию: напряженное состояние K_σ , прочность грунтовой среды подбалластной зоны $K_{пб}$, устойчивость от смещений $K_{ус}$, от пластических деформаций $K_{пд}$ и др. Функционируя во внешней среде объекты земляного полотна (ОЗП) под влиянием факторов силового воздействия поездной нагрузки $S_{св}$, природно-климатической среды $S_{пкс}$ должны сохранять необходимое состояние грунтовой среды $S_{гс}$, структуру St , форму и размерные параметры $R_{озп}$ в пределах нормативных значений критериев качества $\{K_{ki} \leq K_k^H\}$

$$Cm(ОЗП) = \langle (St, R_{озп}, S_{гс}) = f(S_{св}, S_{пкс}) \rangle = \{K_k^H\}.$$

$$\text{Здесь } \{K_{\Theta}\} = [K_\sigma, K_{\text{I}\dot{A}}, K_{\text{O}\ddot{H}}, K_{\text{I}\ddot{A}} \dots].$$

Напряженное состояние ОЗП характеризуется величиной вертикальных сжимающих напряжений σ_y и главных σ_1 и σ_2 . При решении плоской задачи (в поперечном профиле) для точек полупространства напряжения определяются на аддитивном принципе от всех нагрузок: поездной $\rho_{п}$, верхнего строения пути $\rho_{вс}$, собственного веса грунтовой среды $\rho_{г}$, а также элементарных (полосовых прямоугольных, треугольных, трапецидальных и др.) нагрузок St ОЗП.

От полосовой прямоугольной нагрузки напряжения, сжимающие, как известно, в каждой точке M полупространства, определяются по формуле

$$\sigma_c = \rho_j [\beta_1 + 0,5 \sin 2\beta_1 - (\pm \beta_2) - 0,5 \sin(\pm 2\beta_2)]:$$

$$: \pi = I_{ij} \rho_j$$

от треугольной полосовой нагрузки – по формуле

$$\sigma_c = \rho_j [\sin^2 \beta_1 - \sin^2 \beta_2 - \text{tg} \beta_2 (\beta_1 + 0,5 \sin 2\beta_1 - \beta_2 - 0,5 \sin 2\beta_2)] / (\pi \vartheta) = I_{ij} \rho_j,$$

где β_1, β_2 – углы, образованные лучами из точки M_i до границ нагрузок и вертикалями, ограничивающими эти полосовые нагрузки; ϑ – ширина полосовой нагрузки.

Сложности вычислительных операций прежде приводили к необходимости паллиативных приемов с табулированием, например, значений $I_{ij} = f(x_i / \vartheta_j; y_i / \vartheta_j)$ в i -х точках от j -х нагрузок. Современные компьютерные возможности вычислений исключают необходимость в табличных значениях промежуточных параметров. Это относится и к нагрузкам трапецидальной формы, для вычисления которых используется график Остерберга, по которому для полутрапещий в каждой i -й точке полупространства необходимо определение $I_{ij} = f(a_j / y_i; \vartheta_j / y_i)$.

Напряжения, сжимающие от трапецидальных нагрузок, можно вычислять по формуле

$$\sigma_c = \rho_j [a_j (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3) + \vartheta_j (\alpha_1 + \alpha_3) + x (\alpha_1 - \alpha_3)] / (\pi a_j),$$

где a_j, b_j – ширина полосовой, соответственно треугольной части и прямоугольной части (полутрапещий) полосовой нагрузки; $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ – углы видимости, образуемые лучами из i -й точки и ограничивающие прямоугольную часть

(α_2) и треугольные части (α_1, α_3) трапециевидальной нагрузки.

Весьма существенно, чтобы при всякой форме и сложных очертаниях, например, поперечного профиля высокой насыпи (например, пойменной) каждая трапециевидальная нагрузка была приложена к основанию полупространства [1]. Напряжения в каждой i -й точке определяются, как сумма напряжений ΣG_{ji} от некоторой комплексной комбинации трапециевидаль-

ных ρ_j нагрузок, каждая из которых приложена к основанию полупространства (рис. 1)

$$\Sigma \sigma_{j-i} = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 - \sigma_4 - \sigma_5,$$

где нагрузка

- 1-OD₁A₁1;
- 2-OD₂B₁2;
- 3-OD₃C₂3;
- 4-OD₄B₂2;
- 5-OD₅C₃3.

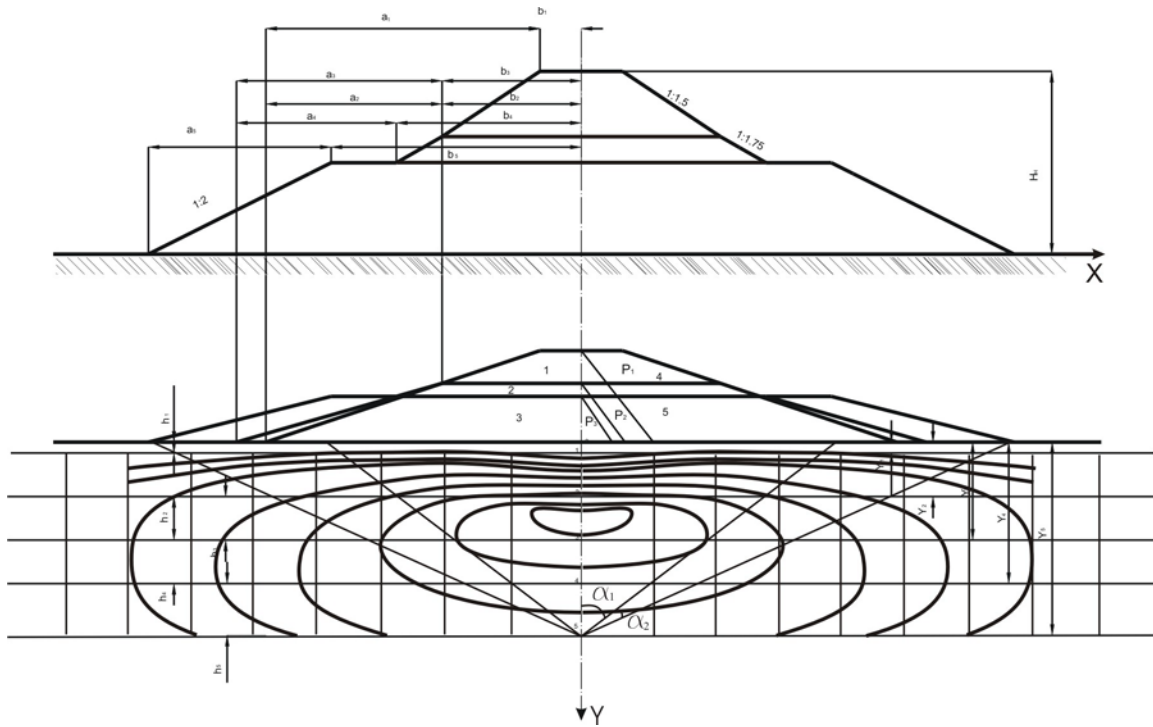


Рис. 1.

Напряжения в осевых точках основания насыпи можно вычислять по формуле

$$\sigma_i = \rho_j \left[a_j (2\alpha_1 + \alpha_2) + 2\vartheta_j \alpha_1 \right] / (\pi d_j) =$$

$$= (\rho_j / \pi) \left[2\alpha_1 + \alpha_2 + (2\vartheta_j / a_j) \alpha_1 \right],$$

где углы в рад

$$\alpha_1 = \arctg \left[(\vartheta_j + a_j) / y_i \right] - \arctg (\vartheta_j / y_i) = \alpha_3;$$

$$\alpha_2 = 2\arctg (\vartheta_j / y_i).$$

Сжимающие напряжения от треугольной нагрузки (в форме равнобедренного треугольника) можно вычислять по формуле

$$\sigma_L = \rho_j \left[a_j (\alpha_1 + \alpha_3) + x (\alpha_1 - \alpha_3) \right] / (\pi a_j),$$

в осевых точках ($x = 0$)

$$\sigma_i = \rho_j (\alpha_1 + \alpha_3) / \pi = 2\rho_j \alpha_1 / \pi.$$

Прочность подбалластной зоны (подбалластного основания) определяется ее безосажденностью, неизменностью положения и недеформируемостью основной площадки (ОП), величиной упругих осадков ОП. В целях повышения стабильности подбалластной зоны СНиП и СТН МПС РФ предусматривается размещение в верхней части подбалластной зоны (под ОП) защитного слоя (противодеформационной подушки), чем предупреждается образование балластных углублений (балластных корыт, лож, мешков и т. п.), а также пучинных деформаций. Кроме того при усиленных ремонтах железнодорожного пути с глубокой вырезкой балласта производится укладка геосинтетиков, преимущественно геотекстиля, в качестве разделительного слоя балластного мате-

риала и подстилающего грунта подбалластной зоны для предупреждения выплесков, просадок и усиления прочностной основы ОП посредством более равномерного распределения напряжений в уровне ОП. В условиях пучинообразования производится укладка полистирольного пенопласта в уровне ОП, что снижает глубину промерзания глинистых грунтов подбалластной зоны. При коэффициенте промерзаемости пенопласта $K_{np} \approx 0,1$ слой пенопласта толщиной 0,1 м уменьшает глубину промерзания подбалластной зоны на 1,0 м.

Для защитных слоев (противодеформационных подушек), устраиваемых из песчаных, дренарующих зернистых материалов, предельное равновесие массы грунта, степень устойчивости зернистого грунта согласно закономерностям механики грунтов определяется углом внутреннего трения. Условие пластичности сыпучих тел (лишенных сцепления C), установленное Ренкиным, может быть выражено формулой

$$\sin \varphi_n = (\sigma_1 - \sigma_2) / (\sigma_1 + \sigma_2),$$

где σ_1, σ_2 – главные напряжения, которые определяют по зависимости

$$\begin{aligned} \sigma_1, \sigma_2 = & \left[\rho_0 a_j (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3) + b_j (\alpha_3 + \alpha_1) - \right. \\ & - x_i (\alpha_3 - \alpha_1) - y \ln \frac{R_1 R_4}{R_2 R_3} \pm \\ & \left. \pm y \sqrt{\ln^2 \frac{R_1 R_4}{R_2 R_3} + (\alpha_3 - \alpha_1)^2} \right] / (\pi a_j), \end{aligned}$$

где R_j – радиусы-векторы из i -х точек до границ структурных элементов j -х нагрузок.

Наибольшие касательные напряжения согласно теории упругости равны

$$\tau_{\max} = (\sigma_1 - \sigma_2) / 2.$$

По оценке напряженного состояния, упругих и остаточных деформаций при высоких осевых нагрузках выполняются исследования во ВНИИЖТе, МГУПС, ПГУПС и других вузах.

Стабильность основания насыпей против возможных сдвига и выпирания согласно условию (Кулона) $\tau = f\sigma + C$ характеризуется коэффициентом устойчивости против пластических (сдвиговых) деформаций

$$K_{ia} = (f\sigma + C) / \tau,$$

где нормальные сдвигающие напряжения σ и касательные напряжения τ могут быть выражены через главные напряжения σ_1 и σ_2

$$\begin{aligned} \sigma &= \sigma_1 \cos^2 \alpha + \sigma_2 \sin^2 \alpha; \\ \tau &= (\sigma_1 - \sigma_2) \sin \alpha \cos \alpha; \end{aligned}$$

Функция $K_{пд}$, как показали исследования Г. М. Шахунянца [2], имеет сложную форму с глобальным $\min$ в осевых сечениях ОЗП (основания насыпи и подбалластной зоны выемки). Позже выполненные исследования автора [3] показали на наличие на гиперповерхности функции $K_{пд}$ локальных $\min$ в зонах основания откосов. Ослабление именно этих зон приводит к деформациям выпирания грунта в основании насыпи (за пределами откосов). Этим же подтверждается положительное значение контрбанкетов. В выемках, как показали исследования функции $K_{пд}$, повышение стабильности подбалластной зоны достигается оптимальными решениями с уширением закуветных полок, а также заглублением закуветных полок (ниже бровки и кювета выемки).

Вычислительные эксперименты проводились по специальным компьютерным программам с использованием предложенного алгоритма направленного поиска $\min$ унимодальных нелинейных (выпуклых) функций на принципах прямых методов (нулевого цикла), реализующих итеративную поисковую оптимизацию в программах проектирования ОЗП [4]. Процедура поиска $opt K_{пд}(\min)$ определяется рекуррентным выражением, реализующим приближение от K_i -го к K_{i+1} -му значению $K_{пд}$

$$\begin{aligned} x_{i+1} &= x_i + \lambda \Delta x; \Delta x_i = l_{\theta} v x_i; \\ y_{i+1} &= y_i + \lambda \Delta y; \Delta y_i = l_{\theta} v y_i, \end{aligned}$$

где $\Delta x, \Delta y$ – шаги поиска; λ – параметр поиска; l_{θ} – величина шага; $v x_i, v y_i$ – единичные векторы направления на i -м шаге, соответствующие направлениям координатных осей; $v_i = e_j, j \in 1, n$, где e_j – $opt j$ -ой координаты (в окрестности точки i) при последовательном движении в координатном поле гиперплоскости $K_{пд}$ к opt .

Пользуясь алгоритмами итеративного поиска и оптимизации технических решений, при проектировании ОЗП исследовались функции устойчивости ОЗП и их элементов от смещений K_{yc} в интерпретациях:

$$K_{yc} = (\Sigma f_r \gamma_r \omega_i \cos \beta_i + \Sigma C_r l_r) / (\Sigma \gamma_2 \omega_i \sin \beta_i);$$

$$K_{yc} = \left[\sum (f_i N_i + C_i l_i + T_{iуд}) \cos \varphi_i / \cos(\beta_i - \varphi_1) \right] : \left[\sum (T_{игд} \cos \varphi) / \cos(\beta_i - \varphi_i) \right].$$

В течение почти векового периода для оценки устойчивости ОЗП широко используется графоаналитический метод на принципах Феллениуса-Терцаги с кругло-цилиндрической поверхностью смещения (КЦП). Вычисление K_{yc} этим методом весьма трудоемкая процедура. И весьма приближенно определяется возможное положение центра O_0 кривой смещения. Разрабатывались аналитические способы для сыпучей среды (В. В. Соколовский), вариационный метод, базирующийся на уравнении Эйлера (Л. Г. Дорфман) и др. Известны графики и номограммы М. Н. Гольдштейна, П. Г. Пешкова, Ямбу и других для определения центра O_0 наиболее опасной КЦП смещения. Аналитические решения с использованием программных средств ЭВМ предложены М. А. Фришманом, А. С. Понариным, В. В. Виногооровым и другими исследователями.

Вычисление K_{yc-i} существенно в оценке устойчивости ОЗП. Однако необходимое техническое решение оптимально только при $opt K_{yc}$. Такие условия обеспечиваются алгоритмами итеративной оптимизации. Исследованиями были определены зависимости K_{yc} от определяющих размерных факторов и состояния грунтовой среды (c , φ и др.). Было установлено, что гиперповерхность функции K_{yc} имеет выпуклую (вогнутую) форму овражного типа с ориентацией к откосу и кривизной в зависимости от параметров ОЗП. Поиск $opt O_0$ выполняется на гиперплоскости – проекции рельефа гиперповерхности K_{yc-i} . Траектории поиска K_{yc0} характеризуются перемещениями сначала по

склону, затем по дну оврага, характер движения пологостью дна оврага, направление овражности гиперплоскостей K_{yc} согласуется с линией центров Л.Ц. Все траектории поиска O_{opt} , независимо от начальных O_n сходятся к локальному $\min K_{yc} \rightarrow opt K_{yc0}$. Положение центра O_0 наиболее неблагоприятной (критической) КЦП значительно ниже принятых графоаналитическим построением в точке пересечения вспомогательной линии, направленной под углом 36° к верхней грани фиктивного (эквивалентного) столбика грунта (заменяющего поездную нагрузку p_n и в.с.п. $p_{вс}$), и линии центров.

Рассмотренные аналитические функции в должной мере определяют напряженное состояние ОЗП, их прочностные качества, состояние устойчивости подбалластных зон, откосных зон, основания насыпей и других элементов и, таким образом, являются критериями параметрического анализа стабильности ОЗП.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Грицык В. И. Расчеты земляного полотна железных дорог. – М.: УМК МПС, 1998.
2. Шахунянц Г. М. Железнодорожный путь. – М.: Транспорт, 1987.
3. Грицык В. И. Алгоритмы итеративной оптимизации в проектировании объектов земляного полотна // Вестник ВНИИЖТа, 1992, № 5.
4. Грицык В. И. Параметрический анализ стабильности основания объектов земляного полотна // Вестник РГУПС, 2002, № 1.
5. Грицык В. И. Параметрический анализ стабильности откосных зон выемок // Вестник РГУПС, 2000, № 3.

М. В. НОВАКОВИЧ, Г. В. КАРПАЧЕВСКИЙ, И. А. КУРИЛИНА, А. В. ПОТЛОВ
(РГУПС, Россия)

УДЛИНЕНИЕ ИЛИ ВОССТАНОВЛЕНИЕ СВАРКОЙ РЕЛЬСОВЫХ ПЛЕТЕЙ С ВВЕДЕНИЕМ ИХ В ЖЕЛАЕМУЮ ТЕМПЕРАТУРУ ЗАКРЕПЛЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ НАТЯЖНЫХ УСТРОЙСТВ

У статті описана технологія відновлення або подовження рейкових плетей безстыкової колії при низьких температурах із введенням в оптимальну температуру закріплення з застосуванням гідравлічних натяжних пристроїв.

В статті описана технологія відновлення або удлинєння рельсових плетей бесстыкового пути при низьких температурах с вводом в оптимальну температуру закрєплення с применением гідравліческих натяжних устройств.

The technology of restoration or lengthening welded rail without joints is described in the article at low temperatures with input in optimum temperature of fastening with application of hydraulic tension devices.

Сварка рельсовых плетей длиной до перегона производится непосредственно в пути с применением передвижных рельсосварочных машин (ПРСМ). В соответствии с техническими указаниями по устройству, укладке, содержанию и ремонту бесстыкового пути (ТУ-2000) [1] эту работу следует производить при температурах рельсов не ниже температуры закрепления рельсовых плетей, – чтобы не понизить в месте сварки температуру закрепления и не создавать этим угрозу потери устойчивости рельсошпальной решетки.

Чтобы не нарушить установленный температурный режим эксплуатации бесстыкового пути и произвести сварку рельсовых плетей с их удлинением или восстановлением при пониженной температуре рельсов по сравнению с температурой их закрепления, необходимо применить предварительное натяжение рельсов гидравлическим устройством (ГНУ).

Основные параметры технологии (фронт работ и трудоемкость) в значительной степени зависят как от разницы температуры закрепления восстанавливаемой плети и температуры рельса во время производства работ, так и от степени уплотнения балласта.

Анализ различных вариантов технологии показал, что целесообразно рекомендовать ряд ограничений для выполнения данного процесса. Приходится ограничить разницу температуры рельсов во время производства работ и температуры их закрепления Δt из-за ограниченной силы, передаваемой на рельсовую плеть натяжным устройством. Максимальная Δt получается относительно небольшой – всего в 15°C . Увеличение Δt потребовало бы применения более мощных гидравлических натяжных

устройств. Однако увеличение их мощности связано с возможной порчей рельсов в местах захватов и других элементов верхнего строения пути из-за перекоса и кантования шпал.

Восстановление плетей сваркой по разработанному технологическому процессу не следует планировать на период с отрицательными температурами. Ведь минимальная оптимальная температура даже для северных регионов не ниже 20°C . Таким образом, не приходится рассчитывать на то, что балласт во время производства работ будет смерзшимся.

Последовательность приемов в технологическом процессе примерно та же, что и в п. 4.5 ТУ-2000. В ходе разработки технологии выяснилось, что целесообразно выбирать натягиваемый участок рельсовой плети не со стороны стоянки ПРСМ, а с противоположной. В этом случае создается несколько большее сопротивление продольным перемещениям рельсошпальной решетки со стороны ПРСМ, что само по себе полезно и не требует лишнего раз перемещать ПРСМ.

Сразу перед установкой ГНУ целесообразно обрезать один конец рельса с болтовыми отверстиями со стороны привариваемой плети, что обеспечивает достаточный просвет для его перемещения под действием создаваемой продольной силы. Перед созданием с помощью ГНУ необходимой продольной растягивающей силы раскрепляют рельсовую плеть на участке Е-И (см. схему на рис. 1). На схеме даны размеры участков, соответствующих варианту, когда $\Delta t = 15^\circ\text{C}$ и щебень уплотнен с помощью динамического стабилизатора (ДСП). В (табл. 1) приведены расчетные значения указанных на рис. 1 участков в случаях других отступлений

от температуры закрепления в сторону ее превышения во время работы. В таблице учтена и различная степень уплотнения балласта.

В ТУ-2000 описана последовательность технологических приемов при производстве восстановления сваркой дефектного места. В принципе, эта технология мало, чем отличается от технологии удлинения рельсовых плетей сваркой до протяженности блок-участка или перегона. Ею в будущем можно воспользоваться и при соединении рельсовых плетей со стрелочными переводами, однако, в последнем случае возможно будут также некоторые отличия.

Сейчас в этом направлении ведутся исследования.

Отличие удлинения от восстановления прежде всего заключается в том, что удлинять обычно приходится не одну, а обе рельсовых нити. Эту работу на обеих рельсовых нитях целесообразно производить в одно «окно». При удлинении рельсовых плетей сваркой возможно отсутствие временной рельсовой вставки, что в некоторой степени упрощает процесс. Если есть вставка, то в оставшемся стыке при натяжении рельсовой плети с помощью ГНУ для исключения разрыва стыка целесообразно поставить высокопрочные болты.

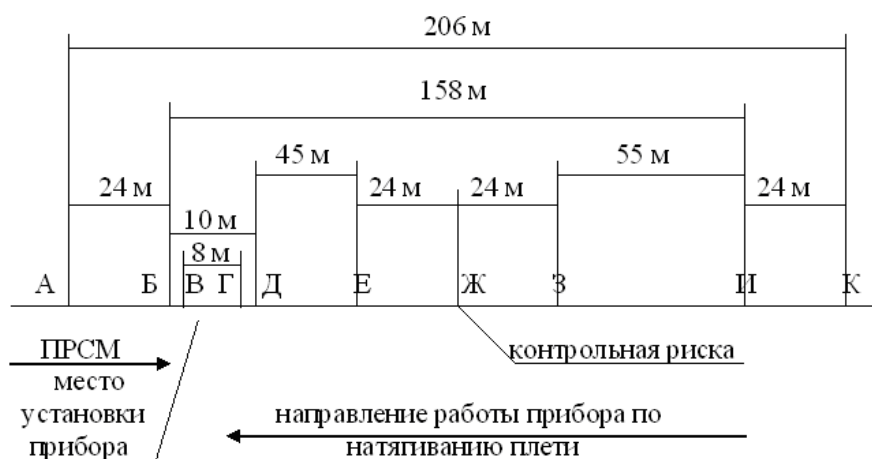


Рис. 1. Схема рабочего участка восстановления рельсовой плети с постановкой его в оптимальную температуру закрепления:

А-К – участок перераспределения продольной силы;

Б-И – участок растягивания плети и сварки стыков;

А-Б – закрепленный участок, на котором происходят продольные перемещения;

Б-Д – свариваемая вставка; В-Г – временная рельсовая рубка

Таблица 1

Параметры технологического процесса

Состояние пути	Погонное сопротивление (на 2 нити), r (кгс/см) [*]	Отступление Δl (ниже t_3)	Δl_1 (мм)	Δl_2 (мм)	Δl (мм)	$l_{AB}=l_{EЖ}=l_{ЖЗ}=l_{ИК}=l_1$ (м)	$l_{BE}=l_{ЗИ}=l_2$ (м)	$l_{AK}=4l_1+2l_2$	Перемещение в точке «Ж» ^{**}	
									при натяжении натяжным приспособлением	при раскреплении участка А-К
Путь уплотнен динамическим стабилизатором	25	15	10	4	14	24	55	206	38	-14
		10	7	2	9	46	55	174	28	-9
		5	3	0,5	4	8	55	87	18	-4
Путь стабилизирован только пропуском не менее 100 тыс.т.брутто	12	15	10	8	18	50	55	310	46	-18
		10	7	4	11	33	55	242	32	-11
		5	3	1	4	17	55	178	18	-4

Состояние пути	Погонное сопротивление (на 2 нити), r (кгс/см) ^{*)}	Отступление Δl (ниже t_3)	Δl_1 (мм)	Δl_2 (мм)	Δl (мм)	$l_{AB}=l_{EЖ}=l_{ЖЗ}=l_{ИК}=l_1$ (м)	$l_{BE}=l_{ЗИ}=l_2$ (м)	$l_{AI}=4l_1+2l_2$	Перемещение в точке «Ж» ^{**)}	
									при натяжении натяжным приспособлением	при раскреплении участка А-К
Путь с разрыленным балластом	7	15	10	14	24	86	55	454	58	-24
		10	7	7	14	57	55	328	38	-14
		5	3	2	5	29	55	226	20	-5

Примечания:

*) Погонное сопротивление r для одной рельсовой нити уменьшается в 2 раза (графа 2).

**) «+» – перемещение в сторону места сварки, «-» – перемещение в сторону от места сварки.

Разработанный технологический процесс удлинения или восстановления дефектных рельсовых плетей с введением их в оптимальную температуру закрепления с применением ГНУ требует дважды производить раскрепление и закрепление достаточно больших участков пути. Первый раз раскрепляется участок Б-И и после этого наносится нулевая риска в точке Ж. Производится натяжение раскрепленного участка с помощью ГНУ. Натяжение контролируется по смещению риски в точке Ж (в табл. 1 расчетная величина смещения дана в десятой колонке). После натяжения конца плети на участке Б-И закрепляют участок Е-З и производят сварочные работы на участке Б-Е способом предварительного изгиба.

Для выравнивания продольной силы на всем участке работ так, чтобы эта сила соответствовала оптимальной, после вварки новой рельсовой вставки производится второе раскрепление участка плети А-К. При этом перемещение в

точке Ж должно соответствовать величине, указанной в одиннадцатой колонке табл. 1.

По сравнению с п. 4.5 ТУ-2000 контроль несколько упрощен, он ведется по одной риске в точке Ж. Исследования показали, что этого достаточно, если фактические значения перемещений будут по абсолютному значению не меньше расчетных, указанных в таблице 1. Как видно из таблицы 1 на недостаточно стабилизированном пути фронт работ и соответственно трудоемкость выполнения технологического процесса существенно увеличиваются. В связи с этим для сокращения трудовых затрат нужно рекомендовать до выполнения сварочных работ уплотнить щебеночное основание с помощью ДСП.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Технические указания по устройству, укладке, содержанию и ремонту бесстыкового пути, – М.: Транспорт, 2000.

О РЕЗЕРВАХ УВЕЛИЧЕНИЯ ПРОЧНОСТИ И УСТОЙЧИВОСТИ БЕССТЫКОВОГО ПУТИ

У статті пропонується новий підхід до розрахунку безстыкової колії на міцність і стійкість.

В статье предлагается новый подход к расчету бесстыкового пути на прочность и устойчивость.

The new approach to calculation is offered to a track without joints on durability and stability in the article.

По известной методике расчета бесстыкового пути на прочность определяется верхняя граница температурного интервала закрепления плети, а так же давление на шпалу под подкладкой и на балласт под шпалой. По расчетам получается, что кромочные напряжения в рельсе и давление на шпалу под подкладкой или под рельсом (при бесподкладочных типах) от, например, типа рельса Р50 к типу Р65 изменяются незначительно и, по крайней мере, весьма далеки от допускаемых значений. Беспокойство может вызвать повышение давления на балласт под шпалой. В балласте под шпалой напряжения при Р65 на 15 % превышают напряжения при Р50, однако следует иметь в виду, что в зависимости от качества и состояния балласта его несущая способность изменяется в несколько раз.

Наши многолетние измерения зазоров на концах рельсовых плетей показали, что их абсолютные значения никак не совпадают с расчетными значениями, найденными по формулам, рекомендованным Техническими указаниями по устройству, укладке, содержанию и ремонту бесстыкового пути (ТУ-2000) [1].

Так, при изломе зазор, например для рельсов Р65

$$\lambda = 0,01\Delta t_p^2, \quad (1)$$

а между концом плети и уравнильным рельсом

$$\lambda = 0,005(\Delta t_p - 7)^2. \quad (2)$$

Фактически, зазоры в разное время года при одних и тех же отступлениях температуры рельсов от температуры их закрепления оказываются любой величины от нуля до максимума.

Из формул (1) и (2) вытекает, что зазор при изломе должен быть в два с лишним раза больше, чем на уравнильном пролете. Фактически при разрыве стыка на конце рельсовой плети зазор значительно больше, чем при поперечном изломе рельса. Ошибочность формул,

приведенных в ТУ-2000, обусловлена тем, что в них не учитываются условия эксплуатации, а именно – воздействие поездов и предполагается, что излом может произойти только при отрицательных температурах, т. е. при смерзшемся балласте. В формуле (2) также не учтено, что до смерзания балласта зазор уже изменится на значительную величину.

В осенний период на концах рельсовых плетей происходит увеличение зазоров при одном и том же отступлении от температуры закрепления. Чем больше интенсивность движения поездов, тем быстрее происходит этот процесс.

На основании наших исследований и наблюдений выведена другая формула для определения величины перемещения λ_k конца рельсовой плети, принципиально отличающаяся от (1) и (2):

$$\lambda_k = \frac{\alpha \sqrt{\pi \cdot \tau} \Delta t_p}{N}, \quad (3)$$

где α – коэффициент температурного удлинения;

τ – время;

$$N = \sqrt{\frac{K}{E\omega}};$$

K – коэффициент вязкости балласта, сдвигаемого шпалой;

E – модуль упругости рельсовой стали;

ω – площадь поперечного сечения рельсов.

Приведенные значения Δt_y в ТУ-2000 также найдены по ошибочной методике. В этой методике не учтено воздействие поездов и допущен вывод, противоречащий любой известной методике расчета бесстыкового пути на устойчивость. В частности значения Δt_y для рельсов Р75 в ТУ-2000 оказались равными, а в некоторых случаях даже большими, чем для рельсов типа Р65.

По известной формуле Мищенко К. Н. для определения необходимого минимального по-

гонного сопротивления пути перемещениям поперек оси пути

$$q = \frac{F_k^2 \sqrt{n}}{7,18 \cdot E \cdot \sqrt{I_n \cdot \omega}},$$

где F_k – критическая продольная сила в рельсах, $F_k = E\alpha\omega\Delta t$;

$$n = 1 + \frac{F_k}{4_p l}, \text{ где } l - \text{длина кривой выброса,}$$

$$l = 13,19 \sqrt{\frac{E \cdot I_r}{F}};$$

$$q = m \sqrt{\frac{\omega^3}{I_r}} \left(n \sqrt{\frac{\omega^3}{I_r}} + 1 \right)^{\frac{1}{2}},$$

где I_r – момент инерции рельсошпальной решетки в горизонтальной плоскости;

m и n – постоянные.

Можно оценить относительную устойчивость бесстыкового пути в зависимости от типа рельса.

Отсюда следует, что необходимое погонное сопротивление поперечному сдвигу бесстыкового пути зависит от отношения $\frac{\omega^{3/2}}{I^{1/2}}$. С увеличением мощности рельса на 10–15 кг/п.м это отношение увеличивается в горизонтальной плоскостях на 8–10 %, при этом величины q для прямого участка бесстыкового пути увеличиваются на 14–17 %.

Обращает на себя внимание существенный рост потребного погонного сопротивления в горизонтальной плоскости. При радиусе 600 м увеличение мощности рельса на 10–15 кг/п. Для обеспечения устойчивости требует увеличения погонного сопротивления пути в горизонтальной плоскости на 20–25 %.

Таким образом, с точки зрения обеспечения устойчивости для бесстыкового пути желательное увеличение момента инерции рельсошпальной решетки в горизонтальной плоскости, в том числе и за счет изменения формы поперечного сечения рельса.

На основании исследований по методике, разработанной [2], нам представляется целесообразным пользоваться формулой:

$$f = f_0 \exp \frac{F^2 \tau}{4EI_{\alpha} \xi}, \quad (4)$$

где F – продольная сила в рельсах;

f и f_0 – текущая и начальная стрела;

ξ – коэффициент вязкости в котором учтены условия эксплуатации.

Анализируя результаты расчетов на прочность и устойчивость бесстыкового пути с учетом новых исследований можно сделать следующие выводы:

1. Напряжения в рельсах, шпалах и балласте в зависимости от типа рельса изменяются незначительно и их влияние не столь существенно, как величина зазора, и устойчивость рельсошпальной решетки.

2. Зазор при изломе рельса или разрыве стыка зависит не от Δt_p^2 , а от Δt и τ , он также пропорционален не $E\omega$, а $\sqrt{E\omega}$ и обратно пропорционален не r (погонному сопротивлению), а K .

3. Площадь поперечного сечения, как доминирующий фактор отрицательно влияет на устойчивость бесстыкового пути.

4. Погонный вес рельса отрицательно влияет на рассмотренные факторы, в связи с этим целесообразно рассмотреть возможность в будущем выпустить рельс с меньшим погонным весом, например, Р58.

5. Уравнительные пролеты не могут исключить максимальное раскрытие зазоров в осенне-зимний период времени года, в связи с этим необходимо применять меры по сварке стыков, ликвидируя все уравнительные пролеты, как на вновь укладываемых участках бесстыкового пути, так и на ранее уложенных.

6. Для недопущения потери устойчивости рельсошпальной решетки рельсовые плети целесообразно закреплять при оптимальной температуре рельсов так, чтобы в сжатом состоянии они работали не более 1/10 времени эксплуатации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Технические указания по устройству, укладке, содержанию и ремонту бесстыкового пути / МПС России. – М.: Транспорт, 2000. – 96 с.
2. Новакович В. И. Бесстыковой путь со сверхдлинными рельсовыми плетями. Учебное пособие с грифом МПС. – Ростов-на-Дону: РГУПС, 2001.

К ВОПРОСАМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОЙ РАБОТЫ БЕССТЫКОВОГО ПУТИ

Наведені відомості із історії безстикової колії на Донецькій залізниці. Розглянуті сучасний стан та особливості температурно-напруженої роботи зрівнювальних прольотів безстикової колії з урахуванням сезонних змін температури рейок і встановленої періодичності відновлення нормативного затягування клемних і закладних болтів.

Приведены сведения из истории бесстыкового пути на Донецкой железной дороге. Рассмотрено современное состояние и особенности температурно-напряженной работы уравнильных пролетов бесстыкового пути с учетом сезонных изменений температуры рельсов и установленной периодичности восстановления нормативной затяжки клемных и закладных болтов.

The information from history of jointless way on Donetsk railway is shown in the paper. It is considered modern condition and particularities is have a temperature-strenuous work egalitarian stairwell of jointless way with provision for seasonal change the temperature of rails and installed periodicity of the reconstruction normative delaytion of plugging and mortgage bolts.

Бесстыковый путь является прогрессивной конструкцией, которая постоянно совершенствуется. Совершенствуются методы и способы его ремонта и содержания.

Главным управлением путевого хозяйства Укрзализныци перед железными дорогами поставлена задача превратить бесстыковый путь в полном смысле этого слова, т. е. бесстыковый путь с длинными плетями без уравнильных пролетов. Для этого уже фактически создана необходимая нормативная база и технические возможности.

Донецкая железная дорога имеет солидный опыт в устройстве и эксплуатации такого пути.

В конце 70-х годов, когда еще не было необходимой нормативной документации, на дороге уже широко применялись рельсовые плети длиной равной длине блок-участков, на укладку которых, учитывая накопленный опыт содержания бесстыкового пути на дороге, было получено разрешение Главка. (Утвержденные в 1979 г. ТУ устанавливали, что укладывать опытные плети длиной более 950 м можно только с отдельного разрешения Главного управления пути по специальным техническим указаниям).

А уже в 1980 г. служба пути запросила у МПС разрешение на закладку опытного участка бесстыкового пути длиной с перегон. Такой участок был создан в 1983 г. по нечетному пути перегона Удачная – Межевая длиной 17,3 км на Красноармейской дистанции пути. В то время это был уникальный участок, на котором отрабатывались многочисленные вопросы укладки, содержания и ремонта такой конструкции, в т.ч. сварка коротких плетей в длинные, замена

уравнильных пролётов ввариванием рельсовых вставок, организация разрядки и регулировки температурных напряжений, технология работы путевых машин, изготовление и вварка в рельсовые плети высокопрочных изолирующих стыков и др.

К сожалению, перестройка и наступивший экономический кризис приостановили работы по дальнейшему повышению эффективности бесстыкового пути.

И вот теперь они снова набирают темпы. В минувшем году модернизация рельсовой колеи производилась с устройством бесстыкового пути с плетями длиной блок-участка, а в нынешнем году уже длиной, равной длине перегона, с ввариванием высокопрочных клееболтовых изолирующих стыков, изготовление которых налажено в Красном Лимане в РСР – 6.

Однако при нынешних объемах капитальных работ становится ясным, что ещё многие тысячи километров бесстыкового пути с короткими плетями будут находиться в эксплуатации неопределенно большое время. А это значит, что работникам путевого хозяйства еще много лет придется затрачивать много средств и труда на содержание существующих уравнильных пролетов. Известно, что стыки в уравнильном пролете, несмотря на их малое количество, потребовали при текущем содержании и ремонте больше затрат сил и средств, чем стыки на звеньевом пути. Кроме потерь, вызванных усиленными расстройствами верхнего строения пути и износом, путейцам приходится постоянно выполнять в уравнильных пролетах работы по обеспечению прочности и устойчивости, связанные с особенностями поддержания не-

обходимого температурного режима работы этих участков бесстыкового пути.

Изучение организации содержания уравнительных пролётов в дистанциях пути показывает, что здесь ещё далеко до совершенства. Самым неприятным является необеспечение устойчивости температурного режима в уравнительных пролётах, из-за чего многократно производятся пересмены уравнительных рельсов, на что расходуются значительные силы и средства.

Объём пересмены уравнительных рельсов весной и осенью настолько большой, что контроль выполнения вынуждены постоянно вести службы путевого хозяйства и ревизорский аппарат.

Полностью избавиться от этих работ явно невозможно, но существенно их сократить можно, если упорядочить и конкретизировать установленные ТУ меры по обеспечению устойчивой работы бесстыкового пути в уравнительных пролётах.

Нисколько не сомневаясь в правильности рекомендаций о необходимости закрепления плетей бесстыкового пути в верхней половине расчетного интервала ближе к его верхней границе, необходимо осознавать, что этим самым мы создаем условия, при которых возникает необходимость укладки в уравнительные пролеты в осенний период удлиненных рельсов, которые весной необходимо вновь пересменить на рельсы стандартной длины.

К сожалению, на практике есть еще ряд причин, по которым нарушается нормальная работа уравнительного пролета. В первую очередь это несвоевременное подтягивание клеммных болтов для сохранения установленного при укладке плетей постоянного температурного режима их работы.

В действующих ТУ сплошное подтягивание болтов предусмотрено назначать при снижении крутящего момента затяжки гаек клеммных и закладных болтов до установленных пределов с контролем динамометрическими ключами не реже одного раза в квартал. Кроме того, количество сплошных подтяжек (одна или две в год) поставлено в зависимость от грузонапряженности участка (один раз осенью или два раза - весной и осенью).

Такой порядок не учитывает сезонные изменения в температурной работе бесстыкового пути. Понятия «весной» или «осенью» не предусматривают конкретной увязки с изменением температурной работы бесстыкового пути при изменении температуры рельсов в сторону се-

зонного понижения. В этом случае нужно успеть выполнить сплошное подтягивание болтов до того, как концевые участки плети при ослабших болтах изменяют свою длину в связи с сезонным изменением температуры. Тогда и при самой низкой температуре зазоры в стыках уравнительных пролетов будут в пределах нормы.

В настоящее время дистанции пути не в состоянии ежеквартально обеспечивать проверку затяжки болтов динамометрическими ключами из-за их отсутствия на околотках.

На практике по различным причинам во многих местах в ходе подготовки пути к зиме не обеспечивается крепление болтов до наступления в рельсах температуры плюс 10–15 градусов, из-за чего при понижении температуры увеличиваются зазоры, возникает необходимость укладки удлиненных рельсов. Это приводит к значительному понижению температуры закрепления плетей в первую очередь на концевых участках длиной до 200 м. В таких местах не только нарушается температурный режим, но и ухудшается устойчивость пути от выброса. При повышении температуры в весенне-летний период появляется угроза безопасности движения поездов.

Закрепление болтов зимой не устраняет указанные недостатки. После зимнего крепления болтов в весенне-летнее время концевые участки плетей могут не иметь видимых продольных перемещений, и в стыках будут устойчиво сохраняться зазоры. На этом основании некоторые руководители весной не меняют уложенные удлиненные рельсы, чем допускают грубую ошибку и проявляют непонимание произошедших температурных изменений из-за слабых болтов, оставленных в зиму.

Там, где болты имеют недостаточную затяжку гаек, плетя или часть ее с конца от низкой температуры укорачивается, температура закрепления становится ниже предыдущей и во многих случаях может оказаться ниже нижней границы расчетного интервала. Зимнее крепление болтов на такой плети или ее части сохраняет эту низкую температуру закрепления на последующие весенне-летнее время. Сложность дальнейшего содержания и ремонта таких участков состоит в том, что на них фактическая температура закрепления рельсов неизвестна и нет исходных данных для ее определения.

Кроме угрозы выброса пути при высоких температурах существует опасность потери устойчивости и при невысокой температуре во

время ремонтных работ. Нередко допускаются случаи передержки «окон» при работах с применением ЩОМ.

Если требования ТУ соблюдаются, то ЩОМ нормально работает на части плети, где не изменилась температура закрепления, а при работе на участке с пониженной температурой происходят уводы и выбросы пути с оси. При выправочных работах с применением домкратов и рихтовщиков на участках с пониженной температурой закрепления возникают грубые искривления пути в плане, угрожающие безопасности движения поездов.

Чтобы обеспечить устойчивую работу уравнительных пролетов и концевых участков рельсовых плетей и не допустить нежелательных последствий из-за состояния болтового хозяйства, необходимо выполнять следующие рекомендации:

- соблюдая требования ТУ по обеспечению нормативной затяжки болтов, в ходе подготовки пути к работе в зиму эту работу выполнять до начала увеличения зазоров в стыках (обычно до понижения температуры рельсов до плюс 10–15 градусов);

- если по причине недостатка рабочей силы и механизмов не предоставляется возможным подкрепить болты по всей длине плетей, то в указанное выше время необходимо обеспечить крепление концевых участков на длине 100–150 м, предотвратив тем самым возможность сокращения длины плети от понижения температуры. Остальные болты можно крепить и позднее;

- если болты вошли в зиму с недостаточной затяжкой гаек и происходит увеличение зазоров до конструктивного размера (21 мм), то следует заменить уравнительный рельс на удлиненный. При этом записать в журнал учета службы и температурного режима рельсовых плетей место и дату работ, температуру рельсов, какой длины рельс изъят, какой длины уложен, с пометкой об обязательной пересмене уложенного рельса на длину изъятых рельсов с наступлением весны.

Выполнение указанных выше рекомендаций на Донецкой железной дороге уже много лет дает положительные результаты.

На устойчивую работу уравнительных пролетов оказывает прямое влияние также величина стыковых зазоров, устанавливаемых при окончательном закреплении плетей на постоянный режим работы.

Согласно ТУ она должна быть не больше 10 мм. В расчетах длины уравнительных пролетов в ТУ величина зазоров принимается равной 10 мм.

В то же время практика показывает, что при установлении величины зазоров полезно учитывать температуру, при которой выполняются работы по закреплению плетей.

Если в жаркую летнюю погоду, когда нормальное состояние зазоров в звеньевом пути нулевое или близко к нулю, установить в уравнительных пролетах зазоры по 10 мм, то осенью на таких участках образуются сильно растянутые зазоры и потребуется укладка удлиненных рельсов.

На практике имели место случаи, когда на вновь уложенном бесстыковом пути в уравнительных пролетах устраивались зазоры еще большей величины (от 12 до 16 мм).

Естественно, что это еще более усложняло работу уравнительных пролетов в осенне-зимний период.

Специалистами-практиками и в технической литературе уже высказывалось мнение, (которое не нашло конкретного отражения в нормативной документации), что при укладке бесстыкового пути в летний период при отсутствии в уравнительном пролете изолирующего стыка зазоры необходимо устанавливать минимальной величины от 0 до 3 мм.

Занесенные в журнал учета службы и температурного режима рельсовых плетей в день укладки плетей наряду с другими данными величины зазоров и длин уравнительных рельсов являются базой учета службы и температурного режима бесстыкового пути на весь срок его эксплуатации. Весь последующий анализ состояния бесстыкового пути осуществляется в сравнении с этими исходными данными, зафиксированными при его укладке.

Поэтому, чем конкретнее установлены эти исходные данные, тем полнее они отвечают условиям нормальной температурной работы бесстыкового пути применительно к сроку производства работ, тем надежнее будет бесстыковый путь в эксплуатации.

Таким образом, при учете предлагаемой конкретизации нормативных требований с учетом уже накопленного опыта можно существенно улучшить работу уравнительных пролетов и сократить объемы ежегодной пересмены уравнительных рельсов, т.е. сделать конструкцию бесстыкового пути менее затратной и более эффективной.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИН, ИЗУЧАЮЩИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПУТИ И ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

У статті розглядаються питання поглиблення знань студентів про взаємодію колії і рухомого складу. Приділено увагу розширенню тематики досліджуваних питань, розробці більш досконалих по зазначеній темі методичних посібників, спеціального збірника задач по взаємодії колії і рухомого складу, як для студентів, так і для дипломного проектування. Це дозволить наблизити теорію питань до їхнього практичного рішення.

Стаття призначена для науковців, викладачів і студентів старших курсів вищих навчальних закладів залізничного транспорту.

В статье рассматриваются вопросы углубления знаний студентов о взаимодействии пути и подвижного состава. Уделено внимание расширению тематики изучаемых вопросов, разработки более совершенных по указанной теме методических пособий, специального сборника задач по взаимодействию пути и подвижного состава, как для студентов, так и для дипломного проектирования. Это позволит приблизить теорию вопросов к их практическому решению.

Статья предназначена для научных работников, преподавателей и студентов старших курсов высших учебных заведений железнодорожного транспорта.

The questions of the deepening the student's knowledge about interaction of the track and the rolling stock are considered in the article. The attention is paid to widening the themes of investigated questions, the development more perfect methods textbooks on the specified subject, the special collection of the problems on the track and the rolling stock interaction, both for student and for degree designing. This will allow to approach near the theory of the questions to their practical decision.

The article is intended for scientists, teachers and student of senior course of railway institutes.

При изучении устройства пути и путевого хозяйства вопросы взаимодействия пути и подвижного состава являются первостепенными. Знание и понимание этого взаимодействия студентами во многом определяет уровень специалиста после окончания ВУЗов.

Глубина и уровень знаний студентов по вопросам взаимодействия пути и подвижного состава, как на кафедре «Строительство и эксплуатация пути и сооружений», изучаемым так и на кафедре «Подвижной состав», во многом определяется методическим обеспечением проводимых занятий, его совершенством в свете современных требований.

Важность этих мер повышается и в связи с тем, что важнейшие вопросы взаимодействия пути и подвижного состава были глубоко и всесторонне исследованы профессором Моисеем Абрамовичем Фришманом, 90-летие со дня рождения которого отмечает железнодорожная общественность.

Совершенствование методического обеспечения при изучении многих дисциплин, как в путевом хозяйстве, так и в подвижном составе, связанных с взаимодействием пути и подвижного состава, сегодня крайне необходимо.

В частности, хочу обратить ваше внимание на необходимость решения следующих вопросов.

Специалисты путевого хозяйства недостаточно глубоко изучают износ элементов подвижного состава и соответствующее их влияние на состояние пути. По сути дела, кроме параметров колесных пар и допускаемых износов их, другие особенности на достаточном уровне не рассматриваются. В расчете пути на прочность учитываются неровности на колесе.

Заслуживает большего внимания рассмотрение на занятиях влияния состояния пути на элементы подвижного состава и обратные связи. Детальное рассмотрение появления бокового износа рельсов в зависимости от состояния пути, вида и состояния подвижного состава не только повышает уровень содержания рельсов, но и подвижного состава. Используемые сейчас не достаточно широко лубрикаторы в пути и на локомотивах требуют не только расширения полигона применения, но и совершенствования их конструкции.

Исследование взаимодействия пути и подвижного состава невозможно без использования современных технических средств измере-

ния многочисленных видов деформаций пути, его элементов и узлов подвижного состава.

Необходимо констатировать, что измерительной техникой, приборами и приспособлениями для этих целей предприятия путевого хозяйства не обеспечены. Это же можно констатировать, рассматривая обеспечение учебного процесса в институтах. Студенты не получают необходимых знаний по этим техническим средствам ни в институте, ни при прохождении производственной практики. Отсутствие необходимой измерительной техники в институтах ограничивает возможности в научно-исследовательской практике, подготовке студентов к научной студенческой работе, в подготовке аспирантов.

Сложно повысить качество изучения расчетов пути на прочность и устойчивость при отсутствии измерительной техники для оценки деформаций пути и его элементов, особенно — рельсов.

Учитывая громадное научное наследие Моисея Абрамовича Фришмана и его последователей, было бы целесообразно в память об этом ученом составить сборник задач, позволяющих глубже изучать взаимодействие пути и подвижного состава. Такой сборник задач стал бы прекрасным пособием для проведения практических занятий со студентами. Кроме того, в таком сборнике можно поставить проблемные темы и вопросы, требующие дальнейшего исследования.

Например, по расчету вкатывания колеса на рельс, особенности содержания пути и воздействие на него рекуперативного торможения, устойчивости пути в кривых без подвижного состава и при его воздействии, определение усилия, необходимого для излома рельса в зависимости от конкретного состояния пути и колесных пар, определение усилия для забивки и выдергивания костыля, среза болтов, выбора количества противоугонов, величины удара в стыках в зависимости от их состояния и т. п.

Для составления такого сборника можно было бы использовать как потенциал работ научно-исследовательских институтов, так и, в определенной мере, научные студенческие конференции и даже дипломное проектирование.

В настоящее время Министерством транспорта и Укрзализницей уделяется огромное внимание обновлению локомотивного и вагонного парка, повышению скорости движения поездов, внедрению современных конструкций стрелочных переводов, путевых машин. Эти меры в полной мере должны найти отражение в

учебных планах институтов. Заложенные в этих мерах научные разработки должны освещаться в соответствующих методических пособиях, особенно для старших курсов и дипломников.

Поэтому крайне необходимым сегодня является не только разработка соответствующих пособий, но и учреждение популярного журнала по путевому хозяйству, где можно было бы в полной мере печатать материалы о взаимодействии пути и подвижного состава. Это важно как для практиков, так и для научных работников и студентов.

Главным недостатком при использовании ЭВМ является то, что студент проставляет исходные данные в программу, получает результат, но не анализирует ход расчета.

Поэтому необходимо на более высоком уровне подойти к разработке блоков программ. Безусловно, лучше работников соответствующих кафедр никто такие программы не разрабатывает. Но на кафедрах нет достаточного числа квалифицированных программистов. Поэтому только участие научных работников кафедр «Устройство и эксплуатация пути и сооружений» и кафедры «Вычислительная техника» может обеспечить квалифицированную разработку обучающих программ, в том числе и по вопросам взаимодействия пути и подвижного состава.

На кафедре «Строительство и эксплуатация пути и сооружений» ведется определенная работа по совершенствованию методического обеспечения дисциплин «Устройство пути», «Путевое хозяйство» и др.

При разработке методических пособий нами рассмотрены блоки практических занятий по отдельным темам, в том числе и рассмотрение вопросов взаимодействия пути и подвижного состава.

Например, элементы расчета пути на прочность, особенности эксплуатации и ремонта бесстыкового пути, соответствие типа рельсов условиям их эксплуатации, расчеты возвышения наружного рельса и расчет укороченных рельсов в кривых; определение величины подъемного усилия при вывешивании пути, расчет выправки кривых и т. п.

Кроме перечня практических занятий и методики их проведения, в методических пособиях кратко излагается теория вопросов, приводятся расчетные формулы и даются исходные данные для самостоятельных расчетов студентами на занятиях. В методических указаниях приводится перечень рекомендованной литературы, перечни вопросов по всем контрольным

точкам, предлагаются ориентировочные темы дипломных проектов.

Однако, такие методические пособия во многом были бы более совершенными, если бы

в них поместить конкретные обучающие программы для расчетов на персональных компьютерах тем, непосредственно связанных с взаимодействием пути и подвижного состава.

ПРИМЕНЕНИЕ СПУТНИКОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ИЗЫСКАНИЯХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Розглядається використання геодезичних супутникових приладів визначення місцезнаходження для вишукування лінійних споруд, зокрема, залізниць. Розрахунки підтверджують відповідність точності дискретних супутникових спостережень нормативним вимогам. Стаття має оглядовий характер.

Рассматривается использование геодезических спутниковых приборов определения местоположения для изысканий линейных сооружений, в частности, железных дорог. Приведенные расчеты подтверждают соответствие точности дискретных спутниковых наблюдений нормативным требованиям. Статья имеет обзорный характер.

The usage of geodesic satellite apparatus of finding the position for research of railroad is considered in the article. The calculations confirm the accordance to accuracy discrete satellite research to the normative demands. The article has the reviewing character.

Появление искусственных спутников Земли (ИСЗ) привело к развитию и активному использованию геодезических космических технологий во всех разделах геодезии, в том числе и инженерной геодезии.

Определения местоположения на Земле ведутся различными способами: геометрическим, динамическим, орбитальным и др., среди них в настоящее время предпочтение отдается методам с использованием доплеровского эффекта электромагнитных волн. Изменение частоты радиосигнала при движении источника является функцией расстояния от передатчика до приемника:

$$\Delta f = f_a - f_0 = \frac{f_0 \dot{r}}{c} \quad \dot{r} = \lambda_0 \cdot \Delta f,$$

где f_d – частота сигнала, пришедшего на приемник;

f_0 – опорная частота передатчика;

r – расстояние, $\dot{r}$ – радиальная скорость;

c – скорость излучаемых сигналов;

λ – длина волны сигнала.

Измеренные разности частот, радиальные скорости позволяют при числе наблюдений более четырех (минимум для коллонаций) определять координаты наземного пункта.

Рассмотренный принцип определения местоположения применен в спутниковых геодезических системах ГЛОНАСС (глобальная навигационная спутниковая система) – России и GPS (глобальная позиционная система) – США. Эти системы состоят из ~ 30 ИСЗ, расположенных на полярных орбитах, опорных наземных станций и аппаратуры оперативного определения наземных координат: приемник на штативе, блок питания, контроллер, персональный

компьютер с программным обеспечением для расшифровки принятых сигналов.

Например, приемник «Землемер – А» имеет 12 каналов для приема фазовых изменений сигналов. Относительные определения координат (в окружности радиусом ~ 15 км от референтной станции) статическим и кинематическим методами проводятся с точностью 1 см + 1 мм Дкм. Время определения координат < 1 мин.

Эти системы широко используются в высшей и космической геодезии (составлена система геодезических параметров Земли 1990: ПЗ-90, в аэросъемке и в инженерной геодезии (при проектировании и строительстве железных и автодорог, тоннелей, каналов).

При изысканиях линейных сооружений привязка к геодезической опорной сети должна производиться не реже, чем через 30 км (СНИП 1.02.07–87). Для системы GPS это расстояние равно удвоенному радиусу действия приемников в зоне референтной станции, внутри которой точность координирования по трем прямоугольным осям ограничивается конструктивными особенностями приемников и методов измерений. Например, аппаратура фирмы Leica [1] обеспечивает определение приращений координат с точностью $m_{\Delta x, \Delta y} = 5 \text{ мм} + 1 \text{ мм Дкм}$, а высот – с точностью $m_h = 7 \div 10 \text{ мм}$. Спутниковые системы определения местоположения всепогодны, автономны, высокопроизводительны и точны, поэтому они позволяют создавать сеть любой плотности и точности вплоть до съемочного обоснования топоъемок масштаба 1:500 и основы для инженерно-геодезических разбивок. Как известно [2], пункты обоснования определяют для линейных сооружений теодолитными ходами с предель-

ной относительной ошибкой 1:2000. Замена теодолитных ходов дискретными спутниковыми наблюдениями возможна при соблюдении указанного требования.

Чтобы пункты GPS были безошибочны, их ошибки не должны превышать 20 % допустимых невязок теодолитных ходов:

$$f_{\beta} = 1'\sqrt{n}; f_{\text{доп}} = 1/2000; f_h = 50\sqrt{L}$$

где n – число углов хода; L – длина хода.

Тогда можно найти минимальные интервалы L размещения пунктов GPS, исходя из предельных величин элементов теодолитного хода и приняв точности определения GPS – пунктов в плане $m_p = 5$ мм, по высоте $m_h = 10$ мм.

Так, для угловой невязки:

$$\frac{m_p}{L_{\beta}} = \frac{20\% f_{\beta}}{\rho},$$

откуда, км,

$$L_{\beta} = \frac{5m_p \cdot \rho'}{1'\sqrt{n}} = 0,09.$$

Для относительной невязки, км,

$$\frac{m_p}{L_{\text{отн}}} = 20\% f_{\text{отн}}; L_{\text{отн}} = \frac{5m_p}{f_{\text{отн}}} = 0,05.$$

Для высотной невязки, км,

$$L_h = \frac{5m_h}{50} = 1,0.$$

По инструкции [3] предельная длина теодолитного хода равна 1,2 км, поэтому пункты GPS, расположенные друг от друга на расстоянии $L \approx 1,0$ км, полностью обеспечивают топосъемку масштаба 1:500 и разбивочные работы с превышением точности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Коугия В. А. и др. Геодезическая сеть для высокоскоростной железнодорожной магистрали // Геодезия и картография, № 1, 1997.
2. Визиров Ю. В. GPS приемники в опорной геодезической сети железнодорожного строительства // Геодезия и картография, № 8, 1997.
3. Инструкция по топографической съемке в масштабах 1:5000÷1:500. – М.: Недра, 1985.

Э. С. СПИРИДОНОВ, Р. Е. ЕМЕЛЬЯНОВ, И. В. КУЛИКОВА, А. А. ДЕНИСОВ,
В. ЖЕРЕБЦОВА (МИИТ, Россия)

НАУКОЁМКИЕ ПОДХОДЫ К ПРОГНОЗИРОВАНИЮ ЛИНЕЙНО ПРОТЯЖЁННЫХ ОБЪЕКТОВ

У даній статті розглянуті наукомісткі підходи до прогнозування розвитку єдиної транспортної системи.

В данной статье рассмотрены наукоёмкие подходы к прогнозированию развития единой транспортной системы.

The high technology approaches to forecasting development of uniform transport system are considered in the article.

Транспорт, обеспечивающий совместно с энергокоммуникациями и связью материальные, энергетические и информационные потоки, создает необходимые условия, поступательного развития и эффективного размещения его производственных сил в стране. Мировой опыт свидетельствует, что уровень, характер и темпы взаимоувязанного развития этих составляющих инфраструктуры транспортного обслуживания могут служить индикатором развития страны и отдельных регионов.

В недалеком прошлом транспорт нашей страны был жестко поделен между ведомствами-министерствами и государственными комитетами. Ведомственный принцип управления породил разобщенность различных видов транспорта. Между тем, по своей внутренней сути, как показывает прошлый российский опыт и практика передовых стран, развиваться он должен как единый организм страны – единая транспортная система (ЕТС).

Новое геополитическое положение России, изменившиеся условия транспортных связей с сопредельными государствами и между регионами страны по-иному поставили задачу долгосрочного развития транспортного комплекса – от единой транспортной системы до отдельного объекта – его строительства, реконструкции и эксплуатации.

Не все обстоит благополучно и с методами организации, технологии и управления строительным комплексом и выбором научно-обоснованных решений в этой области. Традиционные методы периода директивно-планового регулирования в строительном производстве негибки и недостаточно оперативны в деле управления прогнозированием проектированием возведения объектов. С позиции ресурсоемкости создание транспортных коммуникаций принадлежит к ресурсоемким обла-

стям, которые реализуются в железных и автомобильных дорогах.

Народное хозяйство России характеризуется сложной системой хозяйственных связей различных предприятий, расположенных на обширной территории и выпускающих один или несколько видов продукции. Современные объемы производства требуют разветвленного и единого транспортного комплекса. Невозможно эффективное хозяйственное сотрудничество регионов и отдельных предприятий страны без транспортного обслуживания, т. е. научно-производственное и экономическое единство государства. Распад СССР и последовавшее за этим разъединение единой транспортной сети привели к разрыву сложившихся хозяйственных связей и падению экономического потенциала.

Другая важная народнохозяйственная задача, в которой решается проблема транспорта – это хозяйственное освоение новых регионов. Она особенно важна для северных и восточных регионов страны. Практика однозначно показывает приоритетность влияния транспортной инфраструктуры на сроки и затраты при хозяйственном освоении территории и на прогноз их развития.

Работа транспортных предприятий впервые сократилась в 1993 году на 13 км, в 1994 году на 23 км, в 1995 году на 81 км, 1996 году на 302 км и т. д. Кроме того, законсервированы линии общей эксплуатационной длиной 159 км, упразднено 13 отделений, 18 основных локомотивных депо, 25 пунктов технического обслуживания локомотивов, 23 пункта экипировки и 14 вагонных депо. Износ основных фондов (стоимость которых на начало текущего 2002 года составляет 2,6 млрд руб.) превышает 55 процентов. При этом в прошлом году из выполненной общей программы капитальных вложений на сумму 116 млрд руб. на непро-

фильное строительство на непроизводственные нужды было отвлечено 22 процента!

Главной задачей является проведение реструктуризации кредиторской задолженности. Для ее решения требуется исполнение текущих налоговых обязательств перед бюджетами и параллельно погашение по графику тех задолженностей, которые накопились в отрасли до декабря 2001 года, в том числе по федеральному бюджету 10,3 млрд руб., региональным бюджетам 12 млрд руб., пенсионному фонду 3,1 млрд руб.

Без нового строительства и реконструкции железных дорог, невозможно их дальнейшее развитие, по этому строительство железной дороги – это сложный комплекс инвестиционного развития дорожных проектов. Как свидетельствует опыт применения концепции автоматизации управления проектами в развитых странах, сложность реализации строительного или реконструкционного проекта является одним из главных показателей целесообразности инвестиционного обеспечения объекта.

В рыночных условиях на современном этапе использование концепции управления проектами в строительстве и реконструкции, вызвана обострившейся проблемой координации усилий всех участников строительства в связи с тем, что старая централизованная система управления отраслью, выполнявшая эту задачу, практически полностью разрушена.

Концепция строительства разрабатывается как ведущий замысел, т. е. как цель и конструктивный принцип научной, экономической, технической, технологической и другой деятельности, направленной на развитие строительных структур. При этом на уровне отрасли возникает необходимость в разработке (либо получении) прогнозов, программ и планов формирования единого транспортного комплекса в ЕТС. Они определяют масштабность и пути развития транспортной инфраструктуры, отдельных видов транспорта и конкретных объектов.

В 2000 году МПС РФ приняло решение о строительстве подъездного железнодорожного пути к Эльгинскому месторождению коксующихся углей. Генеральным подрядчиком была определена Балтийская строительная компания. В сентябре 2000 года БСК-Восток приступила к работе.

По намеченным на 2001 год планам, БСК-Восток отсыпало около 120 км притрассовой автодороги, возведено земляное полотно, построены водопропускные сооружения и уложен

путь на участке до 40 км, а также подготовлен фронт работ на 2002 и 2003 гг.

Следует указать, что прогноз развития организации и технологии возведения объектов и совершенствования строительной техники зависит от ряда показателей, в число которых входят как экономические (объем строительного производства или изготовления изделий, экономическая эффективность, производительность труда и т. д.), так и технические параметры (уровни кибернетизации строительного производства, качество изделий и т. д.) (рис. 1). В общей сложности возникает необходимость учитывать, по меньшей мере, 20–25 показателей. Возникает перспектива решать задачу по прогнозу как функцию многих переменных или рассматривать системы с большим числом уровней и переменных. Положение еще больше осложняется тем, что прогноз по каждому параметру необходимо выражать, по крайней мере, в трех вариантах.

Подобная ситуация не позволяет на современном уровне развития прогностики пойти по линии применения теории функций с многими переменными. Поэтому, основываясь на качественной теории дифференциальных уравнений [1], мы намерены прогноз по данному объекту или виду технологии строительства определять на базе двух основных операторов, от которых, в свою очередь, зависят упомянутые выше экономические и технические показатели (рис. 2). Тогда, рассматривая задачу для двух основных операторов, мы получим решение, из которого как частные случаи должны вытекать прогнозы для этих экономических и технических показателей (параметрические ряды).

Проверка справедливости полученных решений осуществляется на основе верификации и оценки точности прогнозирования. Связь между величиной прогнозируемого феномена $Q(t)$, объемом новой технической информации и достигнутым уровнем технологии строительства можно получить в элементарных приращениях, исходя из следующих соображений. За время между зарождением технической идеи (новой машины) и практической ее реализацией произойдет изменение прогнозируемого феномена на величину $\Delta Q(t)$. Приращение $\Delta Q(t)$ на элементарном отрезке Δt будет пропорционально объему информации, накопившейся за время $t - \tau$, т. е. $V(t - \tau)$, где τ – время в прошлом, t – время в будущем, и некоторой производственной функции $\Pi(t)$, стиму-

лирующей изменение феномена на участке Δt , т. е.:

$$\Delta Q(t) = V(t - \tau) P(t) \Delta t. \quad (1)$$

Предполагается, что процесс накопления информации непрерывен (рис. 1). Следовательно-

но, можно просуммировать элементарные приращения и получить:

$$\sum_{t=0}^t \Delta Q(t) = \sum_{t=0}^t V(t - \tau) P(t) \Delta t. \quad (2)$$

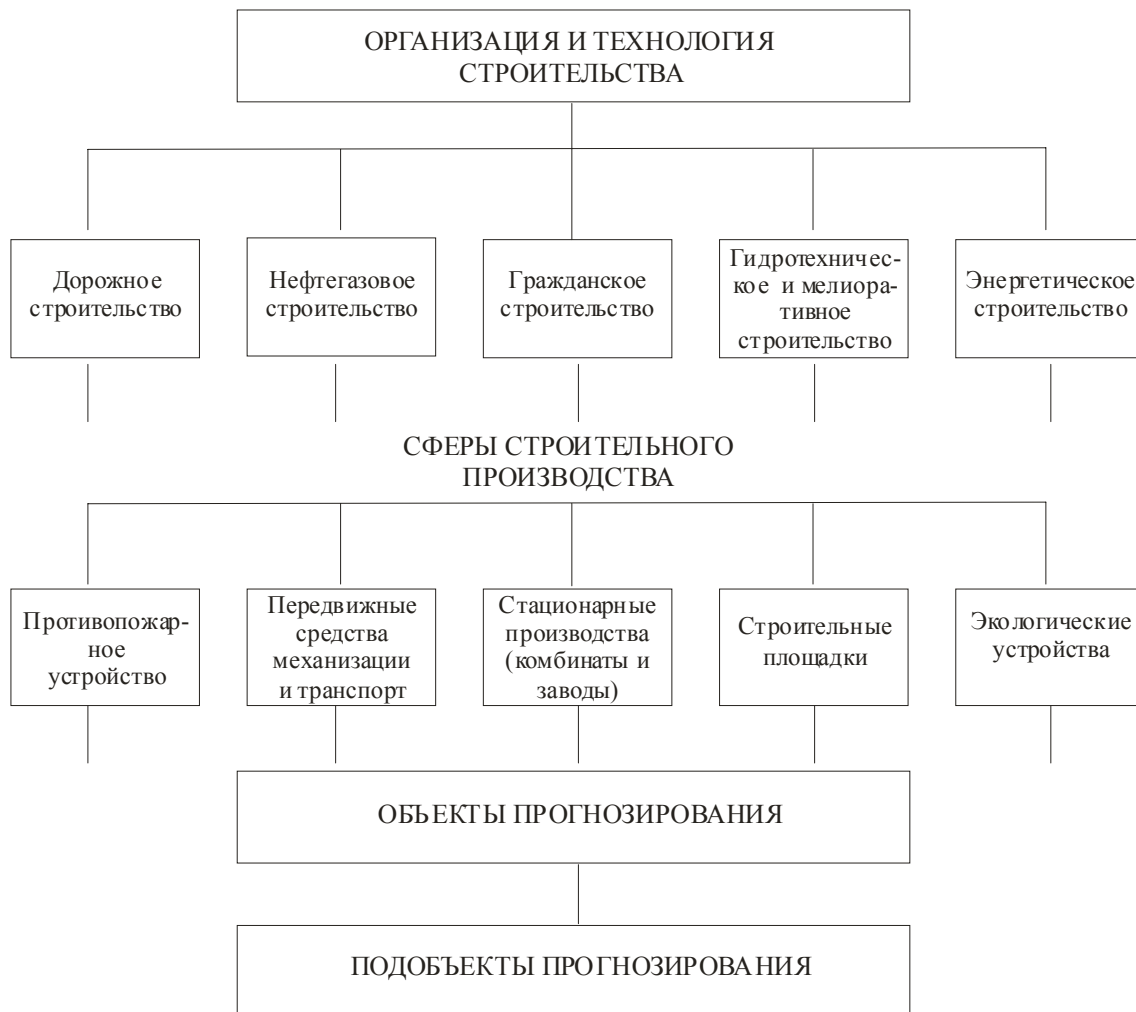


Рис. 1. Организация и технология строительства

Переходя в этом уравнении от приращений к дифференциалам и интегрируя его в пределах от нуля (базис) до t (время прогнозирования), будем иметь:

$$\int_0^t dQ(t) = \int_0^t [V(t - \tau) \cdot P(t)] dt. \quad (3)$$

Здесь $V(t - \tau)$ приобретает смысл функции с запаздывающим аргументом. А разность $t - \tau$ соответствует инкубационному периоду или периоду прогнозирования T , т. е. $T = t - \tau$.

В нашу задачу входит выяснить прогнозный смысл функций $V(t - \tau)$ и $P(t)$, что позволит определить вид операторов $\Omega_1(t)$ $\Omega_2(t)$ и тем

самым решить первую половину основной задачи.

Интегрируя левую часть уравнения (3), получим

$$Q(t) = \frac{1}{\lambda} \int_0^t [V(t - \tau) \cdot P(t)] dt. \quad (4)$$

Результат: интегральное уравнение, в котором $V(t - \tau)$ обозначает запаздывание между возникновением научно-технической идеи новой машины и ее реализацией (внедрением). В теории интегральных уравнений функция $V(t - \tau)$ называется ядром, а параметр λ – параметром уравнения. В физическом смысле параметр λ характеризует качество информации,

отражая старение (дисконтирование) исходных данных.

Рассматривая феномен $Q(t)$ как некоторое значение вероятности достижения цели (для конкретных расчетов принимается $Q(\infty) = 0,5$).

А. Л. Флорид [2] получил формулу для изучения этого показателя во времени, которая свидетельствует, что общая тенденция развития технического решения имеет форму S – образной кривой (логическая функция).

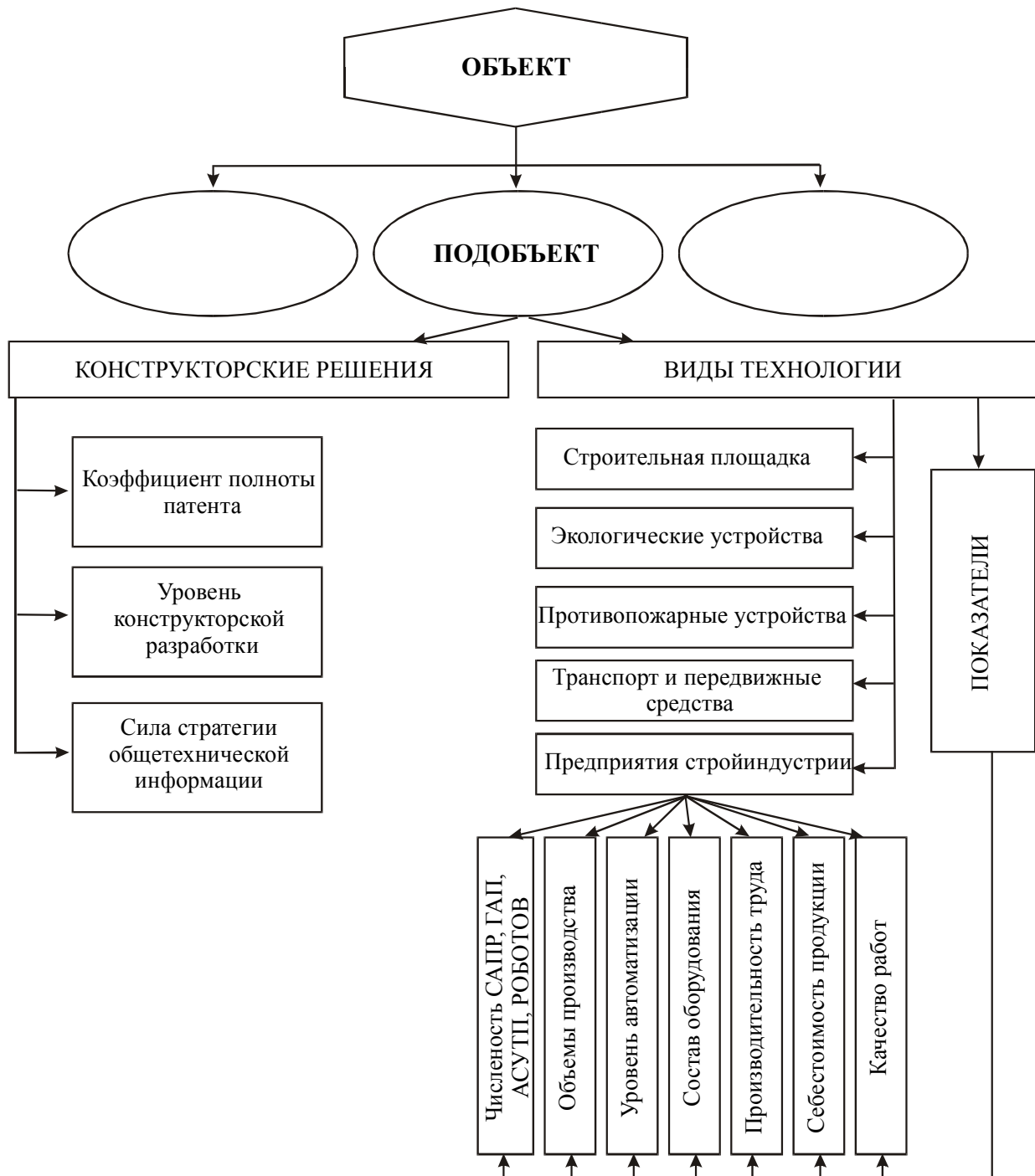


Рис. 2. Инженерное прогнозирование технологических и конструкторских решений в технологии строительства

Оперировать с одним показателем, тем более выраженным в общем виде, для инженерного прогнозирования недостаточно. Поэтому предпринимаем попытку получить из уравне-

ния (4) столько показателей, сколько окажется необходимым для полного описания развития объекта или подобъекта.

Функции $V(t-\tau)$ и $\Pi(t)$, входящие в уравнение (4), по существу, неизвестны. Именно это придает ему характер интегрального уравнения, где неизвестные функции входят под знаком интеграла.

Выражение (4) характеризует динамический (временной) процесс изменения феномена $Q(t)$ в статической форме это изменения в общем виде представится так:

$$Q = E \cdot V^\mu; \text{ при } 0 < \mu < \infty, \quad (5)$$

где V – объем информации, μ – показатель трансмиссивности, E – коэффициент трансмиссивности.

В (5) показатель степени μ может быть принят равным 2, поскольку между показателями Q и относящейся к ним информации V наблюдается параболическая зависимость.

Выражение (5) освещалось в [2], поэтому нет надобности вновь возвращаться к его анализу. Необходимо лишь отметить, что информация в нем выступает как объективная категория, имеющая тот же материалистический смысл, что и масса, энергия, пространство, время и т. д., а также подчеркнуть, что соотношение (5) отображает своеобразный закон, связывающий информацию с ее результатом.

Существует классический метод решения интегрального уравнения (4), состоящий из сведений его к системе алгебраических уравнений с последующим ее решением и получением значений (в данном случае показателей) в форме математических рядов.

Такой подход весьма полезен, так как дает возможность осуществления решений. Иными словами, косвенно доказывается теорема существования прогнозных показателей в форме временных рядов.

Однако процедура решения систем до 20–25 показателей оказывается весьма громоздкой и даже при быстродействующих ЭВМ занимает много сил и времени. К тому же замкнутого решения не получается, чрезвычайно усложняются алгоритмы, так как, по существу, для каждого показателя систему приходится решать сначала. Учитывая изложенное, ниже приводится иной подход к получению значения операторов (а потом и показателей) в достаточно простом и относительно точном виде.

Для получения практического решения к системе, состоящей из выражений (4) и (5), добавляются следующие условия существования решения:

– принцип куммуляты, когда информация представляется нарастающим по времени ито-

гом, обеспечивающим непрерывность информационных потоков, где δ – произвольное число; ε – число, характеризующее точность прогнозирования.

– соотношение В. Я. Буняковского, позволяющее представить (в условиях неравенства) интеграл в виде произведения двух интегралов.

$$\int_0^t \{g(T)p(t)dt\}^\mu \leq \int_0^t g(T)^\mu dt \cdot \int_0^t p(t)^\mu dt. \quad (6)$$

Мы пришли к неравенству (в предельном случае – равенству) В. Я. Буняковского, согласно которому соотношение

$$Q(t) = \frac{2Q_0V_0\lambda\tau_0}{V_{\text{пол}}} \int \left[\frac{\partial V}{\partial \tau} \Pi_0 \Pi(t) \right] dt$$

может быть представлено в виде произведения интегралов. Используя выражение (5), и переходя к прежним обозначениям, получим раздельное на две части подынтегральное выражение

$$Q(t) = \left(\frac{2 \cdot Q_0 \cdot V_0 \cdot \lambda \cdot \tau_0}{V_{\text{пол}}} \right) \cdot \left(\int_0^t \frac{\partial V}{\partial \tau} dt \right) \cdot \left(\Pi_0 \cdot \int_0^t \Pi(t) dt \right). \quad (7)$$

Первая часть подынтегрального выражения (7) $\frac{\partial V}{\partial \tau}$ характеризует информационную функцию, а вторая $\Pi(t)$ соответствует производственной функции. Таким образом, выражения (5) и (6) позволяют линейризовать уравнение, из которого уже просматриваются варианты прогнозирования показателей $Q(t)$. Подробно этот вопрос освещается ниже. Однако уже сейчас следует заметить, что при $\int_0^t \Pi(t) dt = 0$, будем

иметь $Q(t) = \int_0^t \frac{\partial V}{\partial \tau} dt$, т. е. первый вариант раз-

вития технологии строительства, соответствующий внедрению новой технологии (коэффициенты и параметры временно опускаются).

И, наоборот, при $\int_0^t \frac{\partial V}{\partial \tau} dt = 0$ возникает второй вариант прогнозирования, соответствующий внедрению существующих решений, т. е.

$$Q(t) = \int_0^t \Pi(t) dt.$$

Однако соотношение (7) требует еще выяснения прогнозности возможности применения знаков равенства и неравенства. В соответствии со второй теоремой о среднем в интегральном исчислении соотношение (7) можно предста-

вить (опять же опуская постоянные величины) еще и так:

$$\int_0^t \frac{\partial V}{\partial \tau} dt \int_0^t \Pi(t) dt = \frac{\partial V}{\partial \tau} dt(0) \int_0^{\xi} \Pi(t) dt + \frac{\partial V}{\partial \tau} dt(b) \int_{\xi}^b \Pi(t) dt \quad (8)$$

при $0 \leq \xi \leq b$.

Из этого соотношения следует, что в подынтегральное выражение (8) входит только одна функция, в данном случае – $\Pi(t)$, а вторая – зарождается в постоянные величины, которые выносятся за знак интеграла. Следовательно, для полного соблюдения неравенства Буняковского необходимо и достаточно наложить ограничения лишь на производственную функцию $\Pi(t)$, которая, как будет показано ниже, выражается через оператор $\Omega_2(t)$ в двух уровнях, соответствующих $\max$ и $\min$ прогнозируемого показателя. В соответствии с этим «равенство» в этом соотношении строго соответствует производственному оператору, определенному по $\min$, а «неравенство» отражает факт изменения прогнозируемого феномена в пределах изменения оператора от $\min$ до $\max$.

Отмеченное обстоятельство может быть учтено при составлении вариантов прогнозов. Однако практические расчеты показывают, что разница между $\min$ и $\max$ несущественна. Поэтому для определенности все последующие выкладки и расчеты производятся для случая $\min$, т. е. в соотношении Буняковского используется равенство.

Можно было бы обойтись без неравенства Буняковского, записав исходное выражение (4) в виде произведения двух интегралов и введя (как это делается в математическом программировании) «фиктивную» функцию W . Однако это потребует специальных доказательств независимости потоков информации относящихся к

$V(t-\tau)$, $\Pi(t)$ и дополнительных расчетов для оценки W , т. е. усложнит решение задачи.

Как видим решение прогнозных задач по оценке развития строительного производства или техники является сложным с позиции математического обоснования, но это важно. С начала 90-х годов этими вопросами перестали заниматься, считая, что планирование вредно для рыночной экономики, забыв, что любая компания или фирма, если она хочет выживать должна разрабатывать свою траекторию развития. Конкурентная борьба бескомпромиссна. Это дано понятно на западе. Для развития транспортного строительства в будущем, нужно серьезно заниматься вопросами прогнозирования, опираясь на достижения математического прогнозирования и используя его методы.

Прогнозирование развития транспортного комплекса страны, его инфраструктуры – это задача, которая может быть решена на базе прогностики и тех экономико-транспортных методов, которые используются в теоретических подходах этого научного направления. Создание и развитие единой транспортной системы страны – это задача не только настоящего, но и будущего, т. е. поступательного развития России. Без обоснованного прогнозирования этих задач не решить.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Карасев М. В., Маслов В. П. Глобальные асимметрические операторы регулярного представления. – Владивосток: ДАН РФ, 1991. – С. 33–37.
2. Флорид А. Л. Методы прогнозирования изменения показателей технической эффективности. – М.: Прогресс, 1992. – 57 с.

В. Д. ДАНОВИЧ, В. В. РЫБКИН, С. В. МЯМЛИН, А. Г. РЕЙДЕМЕЙСТЕР,
А. П. ТРЯКИН, Н. В. ХАЛИПОВА (ДИИТ)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПУСКАЕМЫХ СКОРОСТЕЙ ДВИЖЕНИЯ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ ПО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ПУТЯМ КОЛЕИ 1520 ММ

Стаття присвячена питанням установлення допустимих швидкостей руху різних типів чотиривісних вантажних вагонів з візками моделей 18-100 (ЦНДІ-ХЗ) при різному завантаженні. Наведено результати комплексних досліджень динамічних якостей вагонів і оцінений їхній вплив на залізничну колію. У результаті досліджень пропонується установити диференційований підхід до установлення допустимих швидкостей руху для порожніх і навантажених вагонів.

Статья посвящена вопросам установления допускаемых скоростей движения различных типов четырехосных грузовых вагонов с тележками моделей 18-100 (ЦНИИ-ХЗ) при разной загрузке. Приведены результаты комплексных исследований динамических качеств вагонов и оценено их влияние на железнодорожный путь. В результате исследований предлагается установить дифференцированный подход к установлению допускаемых скоростей движения для порожних и груженых вагонов.

The article is devoted to questions of the admitted speeds establishment of various types of freight 4 axis cars movement with carriages 18-100 (ЦНИИ-ХЗ), in empty and full a condition. The results of the complex researches of dynamic qualities of the cars are given and their influence on a track is appreciated. As a result of researches it is offered to establish different the approach to an establishment of admitted speeds of movement for empty and full cars.

Установление допускаемых скоростей движения вагонов по прямым и кривым участкам пути представляет сложную научно-техническую задачу. Это связано с тем, что по железным дорогам Украины, имеющим прямые и кривые участки с разными конструкциями пути, перевозки грузов осуществляются вагонами шестидесяти видов, насчитывающих 260 моделей.

Модели каждого вида отличаются количеством осей, грузоподъемностью, массой тары вагона, базой вагона, длиной рамы, длиной кузова или котла, шириной, конструкцией кузова, расстоянием от уровня верха головок рельсов до центра тяжести вагона и другими параметрами, влияющими на величину допускаемых скоростей движения. Перечень обращающихся вагонов, их общий вид, габаритные размеры и технические характеристики приведены в литературе и альбомах-справочниках [1–4].

В ДИИТе в 2000–2002 гг. выполнялись теоретические исследования для определения допускаемых скоростей движения загруженных и порожних грузовых вагонов [5]. Результаты исследования учтены при разработке «Норм допустимих швидкостей руху рухомого складу по залізничних коліях державної адміністрації залізничного транспорту України шириною 1520 (1524) мм».

Исследования основывались на оценке показателей воздействия вагонов на путь и динамических показателей вагонов.

Поскольку исследование скоростей движения всех видов и моделей вагонов представляет сложную задачу, для теоретических исследований на основе анализа конструкций грузовых вагонов были выбраны наиболее характерные виды и модели вагонов.

На основании выполненного анализа для теоретических исследований были выбраны следующие виды и модели вагонов в зависимости от длины кузова и расстояния от поверхности катания рельса до центра тяжести вагона:

- четырехосный крытый цельнометаллический вагон с уширенными дверными проемами с базой 10 м, модель 11-217;
- четырехосный крытый вагон с базой 12,24 м, модель 11-280;
- четырехосный цельнометаллический полувагон с базой 8,65 м, модель 12-726;
- четырехосный полувагон для технологической щепы с базой 15,69 м, модель 12-4004;
- четырехосная цистерна для кальцинированной соды с базой 11,5 м, модель 15-884;
- четырехосная цистерна для бензина и светлых нефтепродуктов с базой 7,8 м, модель 15-1443;
- четырехосный вагон-хоппер для окатышей с базой 7,78 м, модель 20-4015;
- четырехосный полувагон-хоппер для горячих окатышей и агломерата с базой 5,87 м, модель 20-480.

Определение показателей воздействия на путь было произведено в соответствии с методикой расчета пути на прочность [6].

В качестве показателей воздействия вагонов на путь принимались напряжения растяжения в кромке подошвы рельса при его изгибе и кручении под действием вертикальных и горизонтальных сил (σ_k), напряжения смятия в шпалах (прокладках) под подкладками ($\sigma_{ш}$), напряжения сжатия в балласте (σ_6), напряжения

сжатия на основной площадке земляного полотна (σ_3) в подрельсовой зоне.

Оценка воздействия вагонов на путь производилась сравнением расчетных напряжений в элементах пути, возникающих при движении вагона с разными скоростями, с рекомендуемыми и допускаемыми значениями. Действующие в настоящее время допускаемые и рекомендуемые величины напряжений [7] приведены в табл. 1.

Таблица 1

Критерии прочности пути при воздействии вагонов

Критерии	Единица измерения	Тип конструкции элементов пути	Категория линии		
			I, II	III	IV
$[\sigma_k]$	МПа	Рельсы Р75, Р65, Р50, Р43 длиной 12,5 и 25,0 м	240	240	240
$[\sigma_{ш}]$	МПа	Шпалы деревянные (сосновые)	1,5	1,5	1,8
		Шпалы железобетонные	4,0	4,0	4,0
$[\sigma_6]$	МПа	Балласт щебеночный	0,325	0,325	0,325
		Балласт гравийный	0,260	0,260	0,260
		Балласт песчаный	0,200	0,200	0,200
$[\sigma_3]$	кПа	Земляное полотно	80	80	80

С помощью программы расчета пути на прочность были рассчитаны допускаемые скорости движения грузовых нагруженных четырехосных вагонов на тележках 18-100 (ЦНИИ-ХЗ) с нагрузкой на ось до 235 кН включительно, а также нагруженных восьмиосных вагонов с нагрузкой на ось до 220 кН включительно. При этом учитывался тип верхнего строения пути – тип рельсов (Р65, Р50, Р43), их приведенный износ (6 мм); количество шпал на 1 км (1840, 2000), род балласта (Щ – щебеночный, Гр – гравийный, П – песчаный).

Допускаемые скорости движения определялись по данным расчета с учетом опыта эксплуатации и проведенных ранее экспериментальных исследований отдельных моделей вагонов приведены в табл. 2. Обозначение «Н» в таблице показывает, что допускаемая скорость выбрана по непогашенному ускорению α . Допускаемая величина непогашенного ускорения для грузовых поездов составляет $[\alpha] = \pm 0,3 \text{ м/с}^2$ с целью снижения эксплуатационных затрат на содержание пути [8].

Таблица 2

Допускаемые скорости движения грузовых нагруженных четырехосных вагонов на тележках 18-100 (ЦНИИ-ХЗ) по расчетам пути на прочность

Тип верхнего строения пути	Допускаемые скорости, км/ч								
	Прямая	Радиус кривых, м							
		1000	800	700	600	500	400	350	300
Р65(6) 1840, 2000 Щ, Гр, П, и тяжелее	90	90	90	90	90	90	Н-80	Н-75	Н-70
Р65(6) 1600 Щ, Гр, П	80	80	80	80	80	80	80	Н-75	Н-70
Р50(6) 1840, 2000 Щ, Гр, П	75	75	75	75	75	75	75	65	50
Р50(6) 1600 Щ, Гр, П	60	60	60	60	60	60	60	60	55

Тип верхнего строения пути	Допускаемые скорости, км/ч								
	Прямая	Радиус кривых, м							
		1000	800	700	600	500	400	350	300
Р43(6) 1840, 2000 Щ	65	65	65	65	65	55	50	45	35
Р43(6) 1600 Щ	50	50	50	50	50	45	40	30	25
Р43(6) 1840, 2000 Гр	65	65	65	60	50	45	40	35	25
Р43(6) 1600 Гр	60	50	50	50	45	40	30	25	15
Р43(6) 1840, 2000 П	50	50	50	45	45	40	30	25	20
Р43(6) 1600 П	50	450	40	40	35	30	25	20	10

Определение динамических показателей вагонов было произведено моделированием движения вагонов по кривым и прямым участкам пути при помощи многомассовой нелинейной модели колебаний четырехосного грузового вагона, специально разработанной в ДИИТе для решения данной задачи [9; 10]. В этой модели экипаж рассматривается как система, состоящая из 11 твердых тел с жесткими и упруго-фрикционными связями между ними, движущихся по инерционному упруго-вязкому пути.

Расчеты на модели производили для верхнего строения пути с рельсами типа Р65, со щебеночным балластом, на железобетонных шпалах с эпюрой 1840 шт./км в прямых и в кривых участках пути.

Проверка возможности использования математической модели для определения динамических показателей с целью установления допускаемых скоростей движения грузовых вагонов была выполнена путем сравнения динамических показателей, полученных расчетным путем, с величинами этих же показателей, полученных в ходе экспериментальных исследований, проводимых ранее ДИИТом в условиях магистральных железных дорог Украины.

Сопоставление экспериментальных и теоретических данных производилось для полувагона, крытого вагона, хоппера и цистерны в прямых участках пути, а также в кривых радиусом 600 и 300 м и дало хорошую сходимость

На рис. 1–4 приведены для примера результаты сопоставления значений динамических показателей – коэффициентов горизонтальной и вертикальной динамики необрессоренной части вагона ($k_{дв}$, $k_{дг}$), полученных путем моделирования (сплошные линии), с данными экспериментальных исследований (линии в виде точек) для четырехосного грузового груженого и порожнего полувагона на тележках

ЦНИИ-ХЗ в прямых участках пути. Результаты сопоставления приведены: для груженого полувагона – на рис. 1, 2, для порожнего полувагона – на рис. 3, 4. Экспериментальные данные по динамическим показателям для порожних и груженых четырехосных полувагонов, хопперов и цистерн на тележках модели 18-100 были получены при проведении динамических ходовых испытаний на участках Приднепровской железной дороги с различным типом верхнего строения пути в удовлетворительном, хорошем и отличном состоянии [11; 12].

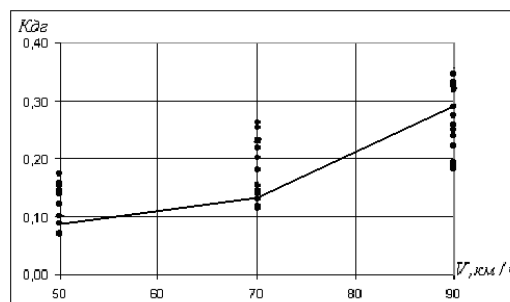


Рис. 1. Зависимости теоретических и экспериментальных значений коэффициента горизонтальной динамики $k_{дг}$ от скорости груженого полувагона в прямой

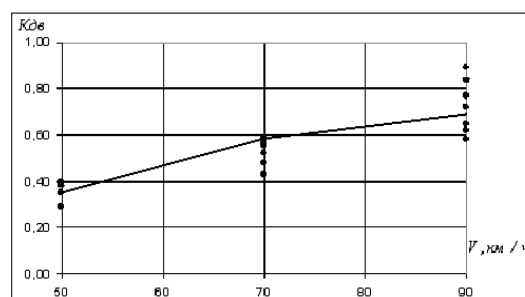


Рис. 2. Зависимости теоретических и экспериментальных значений коэффициента вертикальной динамики $k_{дв}$ от скорости груженого полувагона в прямой

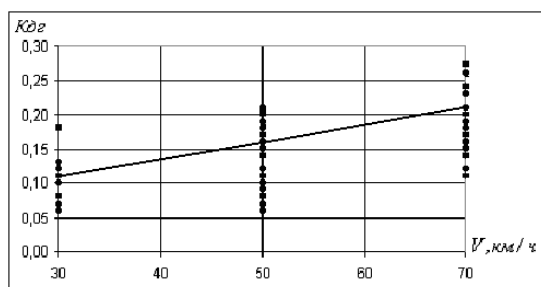


Рис. 3. Зависимости теоретических и экспериментальных значений коэффициента горизонтальной динамики $k_{дг}$ от скорости порожнего полувагона в прямой

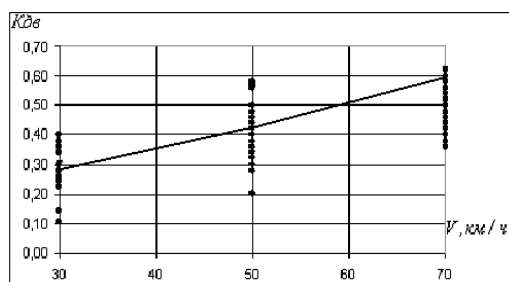


Рис. 4. Зависимости теоретических и экспериментальных значений коэффициента вертикальной динамики $k_{дв}$ от скорости порожнего полувагона в прямой

Из рис. 1–4 видно, что все расчетные кривые лежат в диапазоне изменения опытных данных, что позволило применить данную математическую модель для решения задачи определения допускаемых скоростей движения грузовых вагонов.

Установление допускаемых скоростей движения вагонов на основе динамических показателей – коэффициентов горизонтальной $k_{дг}$ и вертикальной $k_{дв}$ динамики, а также возникающих при движении в кривых непогашенных ускорений α , действующих на кузов вагона, выполнено путем сравнения расчетных показателей с рекомендуемыми и допускаемыми значениями.

Критическая скорость движения экипажа определялась на основании оценки устойчивости против вкатывания гребня колеса на рельс по значению коэффициента устойчивости $K_{уст}$. Также рассматриваются вертикальные и горизонтальные ускорения пятников тележек (j_v, j_r , в долях g).

Действующие в настоящее время рекомендуемые и допускаемые величины динамических показателей для вагонов [7; 13; 14] приведены в табл. 3.

Таблица 3

Допускаемые динамические показатели для грузовых вагонов

Критерий	Груженный вагон	Порожний вагон
$[K_{дв}]$	0,80	0,85
$[K_{дг}]$	0,40	0,40
$[K_{уст}]$	1,30	1,30
$[j_v]$	0,60	0,70
$[j_r]$	0,30	0,30

Приведенное в табл. 3 нормативное значение коэффициента устойчивости $K_{уст}$ представляет минимальное значение коэффициента устойчивости против вкатывания гребня колеса на рельс для обеспечения безопасной езды.

Динамические качества вагонов (в порожнем и груженом состоянии) в значительной степени зависят от величин моментов инерции их обрессоренных масс.

Рассчитанные для выбранных моделей грузовых вагонов значения моментов инерции порожних и загруженных до полной грузоподъемности вагонов, а также расстояния от центра масс кузова вагона до уровня головки рельса приведены в табл. 4.

Таблица 4

Значения моментов инерции порожних и груженных грузовых вагонов и расстояний от центра масс вагона до уровня головки рельса

Модель вагона	Загрузка	Масса, т	Моменты инерций, $\text{т} \cdot \text{м}^2$			Положение центра масс z_c , м
			I_x	I_y	I_z	
11-217	порожн.	24,7	48,1	355,47	346,82	2,29
	грузов.	92,7	135,4	1485,67	1476,04	2,58

Модель вагона	Загрузка	Масса, т	Моменты инерций, т · М ²			Положение центра масс z_c , м
			I_x	I_y	I_z	
11-280	порожн.	26,0	53,1	488,11	478,75	2,31
	грузов.	94,0	141,1	1933,29	1922,26	2,61
12-4004	порожн.	30,0	143,2	1001,64	925,44	2,06
	грузов.	88,0	225,3	2978,40	2908,80	2,52
12-726	порожн.	22,0	28,58	268,02	277,33	1,79
	грузов.	91,0	105,4	1137,44	1165,14	2,34
15-443	порожн.	23,2	32,2	182,91	175,43	2,23
	грузов.	83,2	100,6	795,42	787,04	2,34
15-884	порожн.	26,0	53,1	488,11	478,75	2,31
	грузов.	94,0	141,1	1933,29	1922,26	2,61
20-4015	порожн.	25,0	36,28	161,92	169,10	1,99
	грузов.	100,0	146,3	428,21	434,49	2,49
20-480	порожн.	22,0	28,7	80,96	85,91	1,72
	грузов.	92,0	132,2	235,24	239,37	2,29

Определение допускаемых скоростей движения грузовых вагонов производилось при помощи математической модели при движении по прямым и кривым радиусом 300 м и 600 м в диапазоне исследуемых скоростей движения вагонов – от 30 км/ч до 90 км/ч с интервалом 20 км/ч.

В качестве возмущений использовались горизонтальные и вертикальные неровности рельсовых нитей, которые были получены путем двукратного интегрирования соответственно горизонтальных и вертикальных ускорений букс грузового вагона.

Допускаемые скорости движения определялись по результатам сравнения динамических показателей с их допускаемыми значениями.

Ниже приведены некоторые из графиков, показывающие зависимость от скорости движения динамических показателей, по которым получено наибольшее ограничение скорости для исследуемых моделей вагонов. Из приведенных графиков видно, что значения динамических показателей увеличиваются с ростом скорости движения, а коэффициента устойчивости – уменьшается. На всех рисунках проведены горизонтальные линии на уровне допустимых значений соответствующих показателей. Точки, в которых они пересекаются с теоретическими линиями, определяют допускаемые скорости движения. При этом на значение до-

пускаемой скорости движения загруженных вагонов наибольшее значение оказывает коэффициент вертикальной динамики и горизонтальные ускорения пятника. Основным динамическим показателем, по которому вводится ограничение скорости движения порожних вагонов является коэффициент устойчивости.

Графики зависимости коэффициента вертикальной динамики, горизонтальных ускорений пятника и коэффициента устойчивости от скорости движения в прямых участках пути и в кривых радиусом 600 м (при различных возвышениях наружного рельса – 0 мм, 60 мм и 150 мм), приведены на рис. 5–7 для груженого и на рис. 8–10 – для порожнего полувагона с базой 8,65 м (модель 12-726).

Из графиков на рис. 5–7 видно, что для груженого полувагона при движении по прямому участку ограничение скорости до 90 км/ч устанавливается по горизонтальным ускорениям пятников.

Значение допускаемой скорости в кривой радиусом 600 м зависит от возвышения наружного рельса в кривой и наименьшее значение – 75 км/ч получено в связи с ограничением по коэффициенту вертикальной динамики при возвышении 0 мм. Однако, по непогашенному ускорению α в кривой с такими характеристиками нужно принять скорость 45 км/ч.

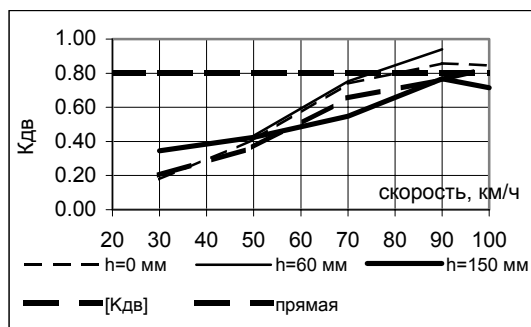


Рис. 5. Зависимость коэффициента вертикальной динамики груженого полувагона от скорости движения в прямой и в кривой радиусом 600 м

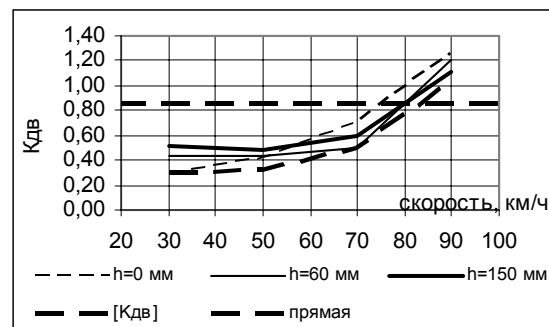


Рис. 8. Зависимость коэффициента вертикальной динамики порожнего полувагона от скорости движения в прямой и в кривой радиусом 600 м

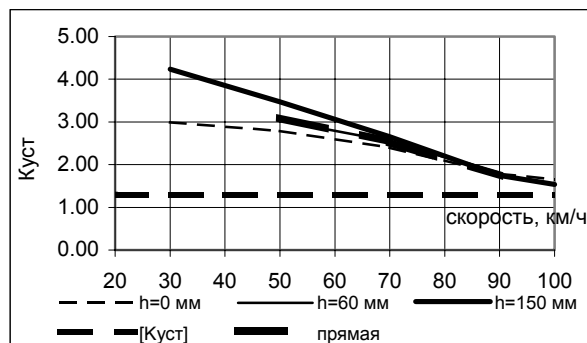


Рис. 6. Зависимость коэффициента устойчивости груженого полувагона от скорости движения в прямой и в кривой радиусом 600 м

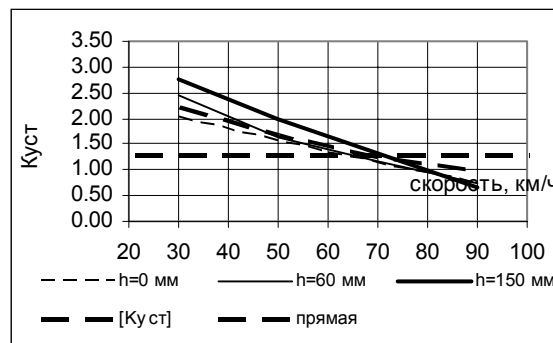


Рис. 9. Зависимость коэффициента устойчивости порожнего полувагона от скорости движения в прямой и в кривой радиусом 600 м.

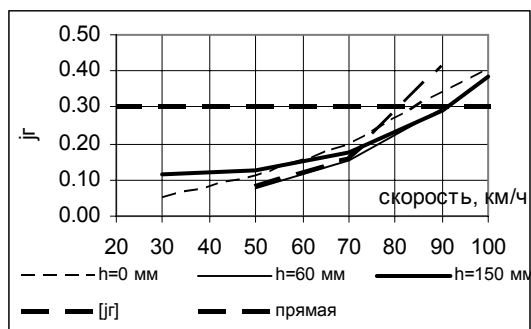


Рис. 7. Зависимость горизонтальных ускорений пятника груженого полувагона с базой 8,65 м (модель 12-726) от скорости в прямой и в кривой радиусом 600 м

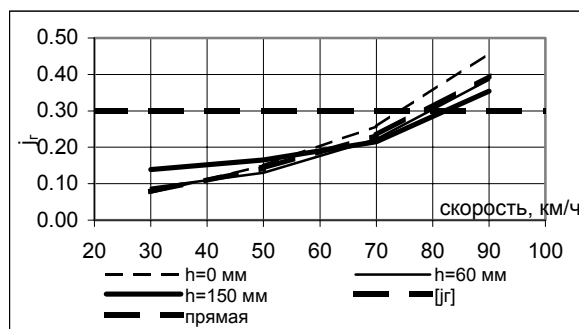


Рис. 10. Зависимость горизонтальных ускорений пятника порожнего полувагона с базой 8,65 м (модель 12-726) в прямой и в кривой радиусом 600 м.

Из графиков на рис. 8–10 видно, что для порожнего полувагона ограничение скорости в прямой до 65 км/ч наступает по коэффициенту устойчивости. В кривой радиусом 600 м с возвышением наружного рельса 60 мм ограничение скорости до 65 км/ч также наступает по значению коэффициента устойчивости.

На рис. 11 приведена зависимость коэффициента устойчивости от скорости для порожнего хоппера с базой 7,78 м (модель 20-4015) при движении в прямой и кривой радиусом 600 м с возвышением 60 мм.

Из графиков на рис. 11 видно, что и в этом случае ограничение скорости до 60 км/ч наступает по коэффициенту устойчивости.

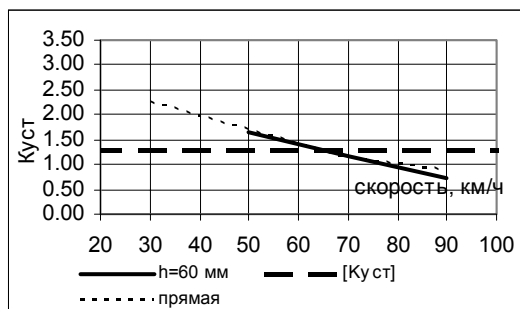


Рис. 11. Зависимость коэффициента устойчивости порожнего хоппера от скорости движения в прямой и в кривой радиусом 600 м

На рис. 12–13 приведены графики динамических показателей для длиннобазного вагона с базой 15,69 м модели 12-4004 при движении по прямой – коэффициента горизонтальной динамики для груженого и порожнего вагона (рис. 12) и коэффициента устойчивости для груженого и порожнего вагона (рис. 13).

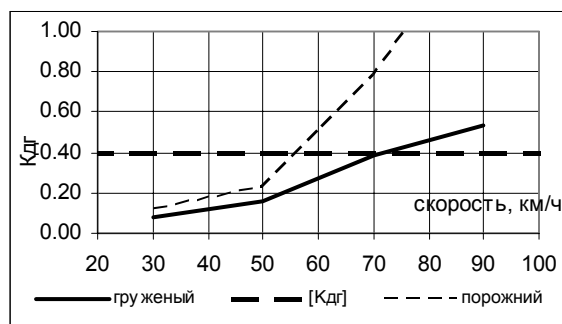


Рис. 12. Зависимость коэффициента горизонтальной динамики порожнего и груженого полувагона от скорости движения в прямой

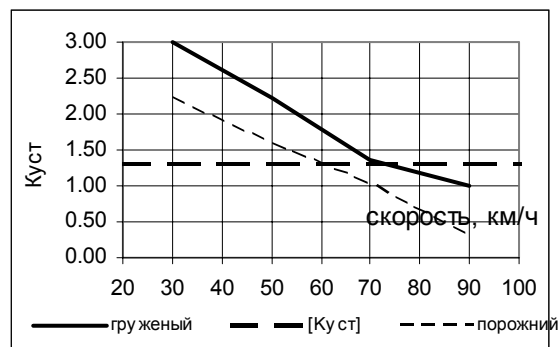


Рис. 13. Зависимость коэффициента устойчивости порожнего и груженого полувагона от скорости движения в прямой

Из рисунков видно, что поведение экипажа с длинной базой требует более жестких ограничений скорости движения – до 75 км/ч для груженого вагона и до 55 км/ч для порожнего вагона.

В табл. 5–7 приведены допускаемые скорости движения исследуемых экипажей в прямых участках пути, кривых радиусом 600 и 300 м, а также приводятся показатели, которые приводят к такому ограничению.

Значения допускаемых скоростей могут изменяться в зависимости от состояния пути и подвижного состава. В соответствии с данной методикой можно учитывать эти изменения.

Таблица 5

Допускаемые скорости движения в прямой

Тип экипажа	Загрузка	Допускаемые скорости движения, км/ч	По показателю
Крытый вагон, модель 11-217	грузов.	90	j_{Γ}
	порожн.	70	$k_{уст}$
Крытый вагон, модель 11-280	грузов.	90	по всем
	порожн.	65	$k_{уст}$
Полувагон, модель 12-726	грузов.	90	по всем
	порожн.	70	$k_{уст}$
Полувагон, модель 12-4004	грузов.	75	$k_{дг}, k_{уст}$
	порожн.	55	$k_{дг}$

Тип экипажа	Загрузка	Допускаемые скорости движения, км/ч	По показателю
Цистерна, модель 15-1443	грузов.	90	по всем
	порожн.	70	$k_{уст}$
Цистерна, модель 15-884	грузов.	80	$j_{г}$
	порожн.	70	$k_{уст}$
Хоппер, модель 20-4015	грузов.	90	по всем
	порожн.	75	$k_{уст}$
Хоппер, модель 20-480	грузов.	90	по всем
	порожн.	65	$k_{уст}$

Таблица 6

Допускаемые скорости движения в кривой радиусом 600 м

Модель экипажа	Загрузка	Допускаемые скорости движения, км/ч, при возвышении, мм					
		0	Показатель	60	Показатель	150	Показатель
11–217	грузов.	45	α	70	α	—	—
	порожн.				$\alpha, k_{уст}$	—	—
11–280	грузов.				α	—	—
	порожн.				$\alpha, k_{уст}, k_{дп}$	—	—
12–726	грузов.				α	90	$\alpha, j_{г}$
	порожн.			65	$k_{уст}$	70	$k_{уст}$
12–4004	грузов.			70	$\alpha, k_{уст}$	—	—
	порожн.			55	$k_{уст}$	—	—
15–1443	грузов.			70	α	—	—
	порожн.			60	$\alpha, k_{уст}$	—	—
15–884	грузов.			70	α	—	—
	порожн.				$\alpha, k_{уст}$	—	—
20–4015	грузов.				α	—	—
	порожн.				$\alpha, k_{уст}$	—	—
20–480	грузов.				α	—	—
	порожн.			65	$k_{уст}$	—	—

Допускаемые скорости движения в кривой радиусом 300 м

Тип экипажа	Загрузка	Допускаемые скорости движения, км/ч, при возвышении, мм					
		0	Показатель	60	Показатель	150	Показатель
Крытый вагон, модель 11-217	грузов.	35	α	60	α	—	—
	порожн.				α	—	—
Крытый вагон, модель 11-280	грузов.				α	—	—
	порожн.				$\alpha, k_{уст}, k_{дп}$	—	—
Полувагон, модель 12-726	грузов.				α	70	α
	порожн.				$\alpha, k_{уст}$	65	$k_{уст}$
Полувагон, модель 12-4004	грузов.			55	α	—	—
	порожн.				$k_{уст}$	—	—
Цистерна, модель 15-1443	грузов.			60	α	—	—
	порожн.				$\alpha, k_{уст}$	—	—
Цистерна, модель 15-884	грузов.				α	—	—
	порожн.				$\alpha, k_{уст}$	—	—
Хоппер, модель 20-4015	грузов.				α	—	—
	порожн.				$\alpha, k_{уст}$	—	—
Хоппер, модель 20-480	грузов.				α	—	—
	порожн.				$\alpha, k_{уст}$	—	—

ВЫВОДЫ

Проведенные исследования показали, следующее:

1. Все модели вагонов в загруженном состоянии, за исключением длиннобазного полувагона, могут двигаться в прямых и кривых участках пути со скоростями в соответствии с приведенными в табл. 2.

2. У порожних вагонов с увеличением скорости ухудшается показатель безопасности против вкатывания гребня колеса на головку рельса и при скорости движения выше 60 км/ч его значение может выходить за нормативные пределы. Поэтому вопрос о назначении допускаемых скоростей движения порожних и груженых вагонов рассматривать дифференцировано, учитывая состояние пути и подвижного состава.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Грузовые вагоны колеи 1520 мм железных дорог СССР. Альбом-справочник. М.: Транспорт, 1989.
2. Грузовые вагоны железных дорог колеи 1520 мм. Альбом справочник 002И-97 ПКБ ЦВ. М.: ПКБ, 1998.
3. Цистерны. Устройство, эксплуатация, ремонт. Справочное пособие. М.: Транспорт, 1990.
4. Пастухов И. Ф. и др. Вагоны. М.: Транспорт, 1988.
5. Звіт за НДР «Норми допустимих швидкостей руху локомотивів і вагонів по залізничних коліях України шириною 1520 мм», ДІПТ. – 2002 р. УДК 629.46.015/.016:625.03, № ДР 0102U003580, 330 с.
6. Методика оценки воздействия подвижного состава на путь по условиям обеспечения его надежности: утв. приказом №ЦПТ-52/14 зам. Министра путей сообщения РФ от 16 июня 2000 г. – 30 с.
7. О нормах допускаемых скоростей движения подвижного состава по железнодорожным путям

колеи 1520 (1524) мм: утверждено приказом МПС России № 41 от 12.11.01.

8. Правила визначення підвищення зовнішньої рейки і встановлення допустимих швидкостей в кривих ділянках колії: ЦП/0056: затв. наказом Укрзалізниці від 27.04.99 № 124-Ц. – Д.: Арт-Прес. – 1999. – 44 с.

9. Данович В. Д. Пространственные колебания вагонов на инерционном основании: Дис... доктора техн. наук: – Днепропетровск, 1982. – 465 с.

10. Рейдемейстер А. Г.: Дис... канд. техн. наук: – Днепропетровск, 2000. – 230 с.

11. Отчет по НИР «Разработка мероприятий по уменьшению сходов порожних вагонов (цистерн, хопперов, полувагонов). Экспериментальные и теоретические исследования», ДИИТ. – 1999. УДК 629.463.3 № ГР 0197U019258. 120 стр.

12. Отчет по НИР «Разработка рекомендаций по снижению износа колес и рельсов за счет снижения сил динамического взаимодействия железнодорожных экипажей и пути с учетом стационарных и нестационарных режимов движения», ДИИТ. – 1998. УДК 629.4.015:625.143.3.033.373, № ГР 0196U023134. 478стр.

13. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). – М.: Гос НИИВ-ВНИИЖТ, 1996. – 319 с.

14. Вершинский С. В., Данилов В. Н., Хусидов В. Д. Динамика вагонов: Учебник для вузов ж.д. транспорта / Под ред. Вершинского С. В. – М.: Транспорт, 1991. – 360 с.

ПРОДОЛЬНЫЕ СИЛЫ, ВОЗНИКАЮЩИЕ В ПУТИ ВПЕРЕДИ ТОРМОЗЯЩЕГО ПОЕЗДА

У статті розглянуті результати експерименту по визначенню додаткових поздовжніх сил, що виникають у колії перед гальмуючим потягом.

В статье рассмотрены результаты эксперимента по определению дополнительных продольных сил, возникающих в пути впереди тормозящего поезда.

The results of experiment on definition of the additional longitudinal forces arising in a railway ahead of a braking train are considered in the article.

Широкое внедрение бесстыкового пути требует исследования продольных сил, возникающих в пути при движении и торможении поезда совместно с температурными силами. Изучение продольных сил необходимо для грамотного проектирования и обоснования нормальной работы бесстыкового пути на перегоне и на станциях.

Температурные силы в бесстыковом пути изучены в достаточной мере, а по вопросу формирования дополнительных продольных сил, возникающих в пути впереди тормозящего поезда нет пока определенной ясности. Теоретически невозможно проанализировать возникновение продольных сил в пути впереди тормозящего поезда из-за отсутствия полных исследований модуля упругости рельсошпальной решетки в горизонтальной плоскости. С точки зрения устойчивости наиболее опасным будет сечение пути, расположенное впереди тормозящего поезда, очевидно, что возникающие при этом суммарные продольные силы (температурные и тормозные) не должны превышать предельно допустимые по условию устойчивости пути.

По данным Б. Л. Каравацкого сила угона пути от трения торможения, возникающая при проходе восьмиосных вагонов по длине одного звена $l_{\text{зв}} = 12,5$ м при скоростях движения от 10 до 80 км/ч изменяется соответственно от 33,4 до 13,7 кН.

Исследованиями, проведенными А. Я. Кога-ном установлено, что для предотвращения угона под проходящим по пути поездом необходимо обеспечить погонное сопротивление продольному перемещению не менее 3,86 кН/м по одной рельсовой нитке. Величина дополнительной продольной силы, возникающей впереди тормозящего состава, в значительной мере зависит от погонного сопротивления, с увеличением которого указанная сила уменьшается.

Если путь на костыльном скреплении недостаточно закреплен от угона, то в рельсах могут возникать значительные продольные силы, что при определенных условиях может привести к нарушению устойчивости рельсошпальной решетки.

Наличие достаточно мощных промежуточных скреплений исключает появление угона, поэтому в таком пути менее вероятно появление значительных дополнительных сил от тормозящего состава.

Для исследования вопроса о величине дополнительной продольной силы, возникающей в пути впереди тормозящего поезда и под ним, а также о величине перемещений рельсовых плетей при экстренном торможении был подготовлен и проведен эксперимент на бесстыковом пути с костыльным скреплением.

Эксперимент по определению дополнительных продольных сил, возникающих в рельсах при костыльном скреплении впереди тормозящего поезда, проводился на одном из станционных путей подгорочного парка станции Москва. Характеристика пути: рельсы типа Р50 с износом до 3 мм, шпалы деревянные, балласт песчаный. Рельсовые плети длиной 700 м закреплены пружинными противоугонами. Концы плетей на протяжении 90 м закреплены противоугонами «в замок» на каждой шпале. В середине рельсовых плетей установлено по 7–9 пар противоугонов на «условное» звено длиной 12,5 м. На опытном пути осенью проводилась выправка продольного профиля с подъемкой до 20 см. Перед проведением эксперимента путь был подвергнут частичной выправке.

Продольные перемещения и напряжения определялись в сечениях бесстыкового пути, через 20 м по одной рельсовой нитке на протяжении 240 м и, с помощью 4 осциллографов, записывались. Продольные перемещения измерялись специальными прогибомерами конст-

рукции путеиспытательной лаборатории НИИЖТа, дающих точность измерения 0,02–0,03 мм. Дополнительные силы, возникающие в рельсах от тормозящего поезда, определялись тензодатчиками сопротивлений (с точностью до 5 кН), которые наклеивались в каждом сечении по нейтральной оси рельса. На протяжении опытного участка, по обеим рельсовым нитям, для наблюдения за остаточными деформациями угона при интенсивном торможении, были разбиты створы.

Для проведения эксперимента был сформирован опытный состав из 19 груженных тщательно взвешенных восьмиосных вагонов. Вес опытного состава с локомотивом ТЭ2 составлял 3230 т при длине 385 м. Проход колес подвижного состава фиксировался всплесками на записи напряжений и перемещений рельсовой плети. Осциллографы включались при приближении состава на расстояние 150–250 м от опытных сечений. Записи осциллографами производились до полной остановки поезда. Заезды опытного состава осуществлялись со скоростями 35–50 км/ч с последующим экстренным торможением до полной остановки над опытными сечениями. Кроме этого 6 записей было произведено при проходе опытного состава без торможения.

Средняя величина продольной силы по результатам 10 заездов составляла 19 кН. При этом продольные силы от тормозящего опытного состава возникали в рельсах за 20–100 м до подхода поезда.

Второй комплекс эксперимента проводился после подкрепления противоугонов на рельсовых плетях. В результате этого погонное сопротивление значительно увеличилось и оказалось порядка 5–6 кН/м по одной рельсовой нити. При этом наблюдалось резкое снижение напряжений и перемещений. Так, например, средняя зафиксированная величина продольной силы по результатам 10 заездов после подкрепления противоугонов снизилась почти вдвое и составила 10,4 кН. Уменьшение вдвое веса опытного состава изменений продольных сил от тормозящего поезда не вызвало. При последующих заездах опытного состава с экстренным торможением наблюдалось 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 по последним 5 заездам превышает уже 20 кН.

Увеличение дополнительной продольной силы происходит за счет расшатывания рельсошпальной решетки и соответственно уменьшения погонного сопротивления при торможении опытного состава до полной остановки на бесстыковом пути с последующим осаживанием опытного состава на горку для осуществления очередного заезда. Возвращенная назад рельсошпальная решетка при торможении в последующих заездах продвигается вперед, в результате чего происходит некоторое смещение противоугона по подошве рельса. Причем, с каждым последующим заездом амплитуда перемещений рельсошпальной решетки увеличивается, вызывая вместе с этим увеличение продольной силы впереди тормозящего опытного состава. Особенно ярко это проявляется в середине рельсовых плетей, где закрепление противоугонами произведено только от угона.

При проходе каждой тележки восьмиосных вагонов рельсошпальная решетка перемещается примерно на 0,1–0,15 мм. В момент остановки опытного состава происходит упругое перемещение рельсошпальной решетки в сторону, обратную движения поездов на величину 0,1–0,2 мм. Величина перемещений опытных сечений рельсовой плети удовлетворительно согласуется с продольными силами, возникающими в этих сечениях от тормозящего поезда, которые, как правило, увеличиваются по мере удаления от конца рельсовой плети. Как показали замеры, 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 данных 35 заездов опытного состава показала, что средняя арифметическая величина продольной силы от тормозящего поезда весом 3280 т равна 14 кН. Экстремальные значения величины продольной силы угона имеют нормальное распределение. Принимая вероятность появления продольной силы 99,4 %, получим, что расчетная продольная сила, возникающая в одной рельсовой нити составляет 35 кН, а в пути – 70 кН. В связи с этим при определении критической силы по условию устойчивости бесстыкового пути с костыльным скреплением на станции, необходимо учитывать дополнительную продольную силу от тормозящего поезда.

Продольные силы под поездом в процессе торможения, по мере прохода подвижного состава по опытному сечению, несколько возрас-

тают, но, как правило, в момент остановки опытного состава продольная сила возрастает интенсивнее, достигая в отдельных случаях 60–65 кН по одной рельсовой нитке. Возрастание дополнительной силы в опытных сечениях при остановке происходит по-разному, но в любом случае величина скачка не превышает 5–10 кН.

Дополнительные продольные силы увеличиваются по мере удаления от конца кривой плети и наибольшими оказываются 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, производится остановка поездов, при ослабленных противоугонах не превышают 5 кН, а после подкрепления противоугонов снижаются до 2–4 кН, что, безусловно, можно не принимать во внимание.

ТаШИИТом в 1966 году проводился эксперимент по определению продольных сил впе-

реди тормозящего поезда на станционных путях, в процессе которого в рельсах при костыльном скреплении значительных дополнительных продольных сил также не обнаружено.

На основании проведенного эксперимента можно сделать следующие основные выводы:

- при расчетах устойчивости бесстыкового пути с костыльным скреплением необходимо учитывать дополнительную продольную силу от тормозящего поезда, величина которой для рельсов Р50 составляет 70 кН;
- увеличение погонного сопротивления продольным перемещениям пути вызывает значительное уменьшение продольной силы. Так, при замене костыльного скрепления раздельным марки «К», величина дополнительной продольной силы впереди тормозящего поезда уменьшается с 70 до 10 кН.

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПУТЕВОГО ХОЗЯЙСТВА НА БЕЛОРУССКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ

У статті наведено аналіз поточного стану колійного господарства на Білоруській залізниці і розглянуті перспективи нової системи ведення колійного господарства.

В статье дан анализ текущего состояния путевого хозяйства на Белорусской железной дороге и рассмотрены перспективы новой системы ведения путевого хозяйства.

The analysis of the current condition of the Byelorussian railway facilities is given and prospects of new system of track facilities keeping are considered in the article.

Путевое хозяйство Белорусской железной дороги – это 11949,2 км развёрнутой длины железнодорожных путей, из которых 7273,1 км – главные, 3600 км – станционные и 1076,1 км – подъездные пути, около 13,0 тысяч стрелочных переводов, 1856 мостов, 2016 водопропускных труб, 75 железнодорожных и 3 автодорожных путепровода, 1465 переездов.

Железобетонные шпалы уложены на 46,6 % общей протяжённости дороги, в том числе: на главных путях – на 77,1 %, на станционных – 26,9 %, на подъездных – на 17,2 %. Сложное положение в шпальном хозяйстве дороги сложилось в связи с недоукладкой в путь новых шпал и постоянным выходом из строя деревянных шпал и брусьев по гнилости. По состоянию на 01.01.2003 в пути лежит 7,6 млн деревянных шпал (в том числе в главных путях 2,86 млн шт.), из них 1,853 млн шт. негодных. Дефектность деревянных шпал на начало года в среднем по дороге составляет 23 %, в том числе: по главным путям 19,5 %, по станционным 24 %, по подъездным – 28 % от общего количества.

На 85 % протяжённости главных и на 42 % станционных путей лежат рельсы Р65, бесстыковой путь уложен – на 53,9 % развёрнутой длины главных путей.

Состояние рельсового хозяйства дороги вызывает серьёзную озабоченность. В прошлом году только на главных путях заменено более 2,2 тыс. шт. острodeфектных рельсов. На начало года в пути эксплуатировалось 18923 шт. дефектных рельсов, по состоянию на 01.03.2003 в пути остается лежать 16587 дефектных рельсов, в том числе 1188 взятых в накладки.

Годовой план балльности выполнили все дистанции пути. Балльная оценка состояния пути в 2002 г. по сравнению с 2001 г. осталась на прежнем уровне и составила 51 балл при плановой 72 балла.

Для контроля за состоянием рельсов на дороге имеется 365 съёмных дефектоскопов. В настоящее время в эксплуатации находится 262 дефектоскопа и два магнитных вагона-дефектоскопа. 62 % съёмных дефектоскопов эксплуатируются свыше 10 лет и подлежат замене на более современные. В 2000 и 2002 гг. приобретены дефектоскопы нового поколения РДМ-2 в количестве 50 штук, которыми в 2002 году выявлено 35 % острodeфектных рельсов от общего количества выявленных рельсов.

На путевое хозяйство приходится более 50 % всех основных фондов Белорусской железной дороги. В общих эксплуатационных расходах хозяйства амортизационные отчисления достигают 30 %, причем на верхнее строение пути и земляное полотно приходится около 80 % этих отчислений. Необходимо отметить что, несмотря на падение объемов перевозок, путевое развитие дороги и, прежде всего станций, уменьшилось незначительно, что, естественно, ведет к неоправданным дополнительным затратам. Поэтому, для повышения безопасности движения поездов и надежности работы пути, следует разработать рациональный подход к оптимизации расхода материалов на ремонт и содержание пути.

Поскольку на малодеятельных участках преимущественно лежат деревянные шпалы, решающим становится фактор времени. Исходя из этого, оставшуюся часть путей дороги необходимо перевести на железобетонное подрельсовое основание за счет снимаемых с основных направлений материалов и частичного использования новых железобетонных шпал. При этом следует ввести новый вид ремонта пути, позволяющий на протяжении длительного периода эксплуатировать смешанную конструкцию подрельсового основания. Это даст возможность растянуть затраты во времени и не

выполнять фактически бросовой разрядки кустов негодных шпал.

На основных направлениях сети главным фактором оптимизации расходов путевого хозяйства является применение ресурсосберегающих технологий (соответствующим инвестированием в них средств), позволяющих продлевать межремонтные сроки и снижать трудоемкость текущего содержания пути, тем самым, повышая эффективность вложений.

Наряду с усилением подрельсового основания заслуживает пристального внимания:

- использование технологий для оздоровления балластной призмы, восстановления водотводных сооружений, продления сроков службы рельсов в пути, применения в полных объемах механизированного текущего содержания пути;

- оснащение современными средствами диагностики, что позволит дистанциям пути и подразделениям путевого хозяйства существенно расширить зоны обслуживания и обеспечить в полной мере переход к планированию работ, учитывая фактическое состояние объектов и прогнозируя их поведение во времени.

Внедрение данных мер позволяет сократить контингент работников путевого хозяйства и оптимизировать принимаемые управленческие решения.

Новая система ведения путевого хозяйства, разработанная Белорусским государственным университетом транспорта и службой пути Белорусской железной дороги, утверждена и введена на дороге приказом № 27Н от 14 марта 2000 года. Полный переход на новую систему предусмотрено осуществить в течении 7 лет по мере оснащения путевого хозяйства необходимой техникой для содержания, ремонта и диагностики пути и рельсов, развития ремонтной базы, подготовки и переподготовки кадров. Внедрение новой системы ведения путевого хозяйства позволит повысить безопасность движения поездов и на 35–40 % сократить затраты на ремонт и текущее содержание пути.

При разработке и внедрении новой системы ведения путевого хозяйства на Белорусской железной дороге учтены присущие ей особенности: сравнительно небольшая грузонапряженность, но довольно высокие скорости движения поездов; достаточно мощное и современное верхнее строение пути на основных магистралях дороги; необходимость в сбалансированной потребности новых и старогодных рельсов и шпал; сравнительно мягкий климат и некоторые другие.

Главными задачами новой системы ведения путевого хозяйства являются обеспечение безопасности движения поездов и достаточно высокой надежности железнодорожного пути и его сооружений при значительном снижении затрат на текущее содержание и ремонт пути за счет широкого внедрения средств диагностики состояния пути, высокопроизводительных машин, ресурсосберегающих и прогрессивных технологий.

На Белорусской железной дороге, в зависимости от грузонапряженности и максимальных скоростей пассажирского и грузового движения устанавливается по аналогии с российскими дорогами 5 классов железнодорожных путей. Однако при этом учтены известные особенности – малая грузонапряженность и высокие скорости движения поездов, достигающие 140 км/ч на линии Красное–Орша–Минск–Брест, а также высокая мощность верхнего строения бесстыкового пути на железобетонных шпалах с закаленными рельсами типа Р65, скреплением КБ и щебеночным балластом из твердых горных пород. К особенностям классификации путей на Белорусской железной дороге относится уменьшение диапазонов грузонапряженности внутри каждой группы путей, что вызвано значительным спадом перевозок и малой грузонапряженностью.

В соответствии с системой ступенчатого использования путевых материалов новое верхнее строение пути принятого типа и конструкции укладывается только на главных путях 1 и 2 класса при усиленном капитальном ремонте пути, а снимаемая старогодная путевая решетка перекладывается на пути более низких классов при их капитальном ремонте. Такая перекладка верхнего строения в итоге приведет к тому, что в перспективе на всех путях дороги будут лежать рельсы только тяжелого типа.

Таким образом, классификация путей позволяет обеспечить высокую степень стабильности и надежности главных путей 1 и 2 класса за счет постоянного обновления верхнего строения тяжелого типа при усиленном капитальном ремонте, а также повысить уровень безопасности движения по путям низших классов за счет укладки на них старогодных рельсов, но более тяжелого типа. Заложенный в классификацию путей принцип повторного использования материалов верхнего строения отличается высокой экономичностью и относится к самым эффективным видам ресурсосберегающих технологий в путевом хозяйстве.

Класс путей устанавливается на пересечении горизонтальной строки «Группа пути» (по грузонапряженности) с вертикальной графой «Категория пути» (по максимальным скоростям движения пассажирских и грузовых поездов) (табл. 1).

Таблица 1

**Классификация главных путей
Белорусской железной дороги**

Группа пути	Грузонапряженность, млн ткм/км брутто в год	Категория пути						Станционные, подъ- ездные и пр. пути
		1	2	3	4	5	6	
		Скорость, км/ч, пассажир., (в скобках) грузовых поездов					главные и п-о.	
		121– 140 (≥ 80)	101– 120 (≥ 70)	71– 100 (≥ 55)	41–70 (> 40)	41 и мень- ше		
		главные пути					главные и п-о.	
А	> 40	1	1	1	2	3	5 класс	
Б	25–40	1	1	2	3	3		
В	10–25	1	2	3	3	3		
Г	5–10	2	3	3	4	4		
Д	5 и меее	3	3	3	4	4		

Примечания к табл. 1:

1. В графе «Г» цифра перед тире – исключительно, после тире – включительно.

На участках со скоростями движения 80 км/ч и более, независимо от грузонапряженности, путь должен быть не ниже: 1 класса – при количестве графиковых пассажирских и пригородных поездов в сутки более 80, 2 класса – при 31–80 поездах, 3 класса – при количестве поездов до 30.

При скоростях менее 80 км/ч класс пути, кроме 3, понижается на одну ступень.

2. На участках с двумя и более путями классы всех путей устанавливаются одинаковыми с классом пути, имеющим большую грузонапряженность, при условии, что разница по этому показателю не превышает 20 %. В противном случае класс второго (третьего) пути устанавливается по своему сочетанию грузонапряженности и скоростей движения.

3. Станционные, подъездные и прочие пути, где реализуются скорости до 40 км/ч включительно, относятся к 4 классу, а при скоростях более 40 км/ч – к 3 классу.

4. Сортировочные и горочные пути на сортировочных станциях с годовой переработкой более 40 млн т брутто в год, относятся к 3 классу, а менее 40 млн т брутто в год – к 4 классу.

5. Станционные, подъездные и другие пути, предназначенные для обращения подвижного состава с опасными грузами, не должны быть ниже 4 класса.

В прошлые доперестроечные годы капитальный ремонт с полным обновлением пути выполнялся в довольно крупных объемах – порядка 350 км ежегодно. В результате этого на всех основных магистралях Белорусской железной дороги, было уложено верхнее строение пути тяжелого типа с рельсами Р65, железобетонными шпалами, со сварными рельсовыми плетями бесстыкового пути. Именно этим и объясняется тот факт, что, несмотря на резкое сокращение объемов такого капитального ремонта, до настоящего времени не происходит обвального ухудшения пути и ограничения скоростей. Также характерно и то, что длительное сохранение высоких скоростей в свою очередь положительно влияет на стабильность классности пути, несмотря на более частые колебания грузонапряженности. В последующем при необходимости может быть произведена корректировка классности путей по грузонапряженности, если она будет изменяться.

Новая номенклатура путевых работ составлена с учетом широкого внедрения ресурсосберегающих и прогрессивных технологий – системы ступенчатой перекладки рельсов и других материалов, глубокой очистки щебеночного слоя, применения специальных машин для текущего содержания пути, диагностики и контроля.

Номенклатура новой системы путевого хозяйства включает в себя:

- усиленный капитальный ремонт пути (УК);
- капитальный ремонт пути (К);
- средний ремонт пути (С);
- усиленный средний ремонт пути (УС);
- подъемочный ремонт пути (П);
- планово-предупредительная выправка пути (В);
- сплошная смена рельсов и металлических частей стрелочных переводов новыми и старогодными;
- шлифовка рельсов;
- текущее содержание пути.

Из приведенного перечня путеремонтных работ следует, что новыми видами ремонта пути являются усиленный капитальный ремонт и усиленный средний ремонт пути. При усиленном капремонте пути укладывается только новое верхнее строение и производится он только на главных путях 1 и 2 класса. На всех же остальных путях более низких классов основным

видом ремонта является капитальный и при нем должны укладываться только старогодные рельсы, шпалы и скрепления. Исключение составляют только стрелочные переводы, так как новыми они должны укладываться на главных путях не только 1 и 2, но и 3 класса.

Усиленный средний ремонт пути назначается при необходимости выполнения дополнительных работ по приведению балластного слоя и верхней площадки земляного полотна к типовым размерам и нормам содержания. А именно: при чрезмерно большой толщине балластного слоя, образовавшегося от многочисленных подъемов пути в прошлые годы, и недостаточной ширине обочин (менее 40 см), при наличии деформаций верхней площадки земляного полотна и необходимости усиления ее укладкой из нетканых и других материалов, ликвидации пучин и др.

Большое значение для новой системы имеет пересмотр существующей нормативной базы. Новая нормативная база учитывает, кроме всего прочего, проведение соответствующих организационно-технических мероприятий по снижению расходов путевого хозяйства: переход на железобетонное подрельсовое основание и бесстыковой путь с плетями неограниченной длины; применение машинных комплексов на текущем содержании пути; шлифовки рельсов, глубокую очистку балластной призмы; соблюдение межремонтных нормативов; учет климатических, геологических и других условий, характеризующих сложность эксплуатации конкретных участков пути и их фактическое состояние.

Уменьшение числа осмотров на путях низких классов в сочетании с внедрением диагностических средств (включая путеизмерительные и дефектоскопные вагоны), а также железобетонного подрельсового основания закладывает фундамент для укрупнения дистанции пути и их производственных подразделений. При соблюдении этих условий может быть увеличена протяженность дистанции пути и их низовых подразделений, что позволяет сократить численность управленческого персонала дистанции пути, а также дорожных мастеров и бригадиров пути.

Вместе с этим, видимо, необходимо и дальше совершенствовать нормативную базу на основе более глубокой дифференциации эксплуатационных условий и результатов внедрения новых технологий и конструкций на главных и второстепенных линиях и направлениях.

Качество управления у нас в значительной мере отстает от практики зарубежных железных дорог, где основой управления является компьютеризированная система сбора информации, ее обработки и анализа. Имеющаяся сегодня информация о технико-экономическом состоянии объектов путевого хозяйства в полной мере не используется, так как ее невозможно обработать и проанализировать традиционными методами и согласовать со всей информационной структурой железнодорожного транспорта. В связи с этим выбор оптимальных управленческих решений просто не осуществим, несмотря на то, что в путевом хозяйстве начинают внедряться диагностические средства, оборудуемые бортовыми компьютерами, которые могут представить необходимый объем достоверной информации о состоянии отдельных элементов верхнего строения пути в целом и выполнить многофакторный анализ.

Исходя из вышесказанного, следует констатировать, что в настоящее время система ведения путевого хозяйства в значительной степени информационно не обеспечена. Объясняется это, прежде всего, тем, что недостаточно обычных и высококачественных средств и каналов связи. К тому же предприятия не укомплектованы современными компьютерными средствами.

Очевидна острая потребность в организации, внедрении и обработке системы сбора, передачи и обработки информации о состоянии путевого хозяйства. Для этого следует создать специальную информационно-аналитическую группу, которая решала бы научно-методические, нормативно-технологические и аппаратно-программные задачи для стратегического и технического уровней управления путевым хозяйством, а также отвечала бы за разработки, внедрение, техническое сопровождение и поддержку программно-технических решений различных задач управления.

В связи с введением на Белорусской железной дороге новой системы ведения путевого хозяйства и предусмотрено широкое внедрение безбумажных (компьютерных) технологий. Наряду с подготовкой пользователей и оснащения дистанций пути и ПМС современными ПЭВМ необходимо срочное внедрение некоторых комплексов и автоматизированных рабочих мест для решения отдельных инженерных и информационных задач: АРМД-ПЧ, АРМТО-ПЧ, АСУ-путь, АСУ-ИССО, АСУ-Путьмаш, а также оформление в компьютерной форме технического паспорта дистанции пути с перехо-

дом на автоматизированные подсистемы по планированию и организации производственных процессов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Положение о системе ведения путевого хозяйства на Белорусской железной дороге. Приказ начальника БелЖД № 27 от 14 марта 2000 года.

2. Разработка научно-методических основ перевода на новую систему ведения путевого хозяйства Белорусской железной дороги. Отчёт по НИР № 1983. Гомель: БелГУТ, 1999.

3. Разработка методических указаний по реализации мер для перехода на новую систему ведения путевого хозяйства и ТУ на путеремонтные работы. Отчёт по НИР № 2325. Гомель: БелГУТ, 2002.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФАКТИЧЕСКИХ ЗНАЧЕНИЙ ЖЕСТКОСТИ ПУТИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПУТИ И ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

У роботі викладені результати визначення фактичних жорсткостей і модулів пружності колії для дослідження взаємодії колії і рухомого складу з врахуванням конструкцій верхньої будови колії, що змінилися за останні роки, особливо на залізобетонних шпалах. Уточнено значення модулів пружності підрейкових основ при горизонтальному вигині і крутінні рейкових ниток.

В работе изложены результаты определения фактических жесткостей и модулей упругости пути для исследования взаимодействия пути и подвижного состава с учетом конструкций верхнего строения пути, которые изменились за последние годы, в особенности на железобетонных шпалах. Уточнены значения модулей упругости подрельсовых оснований при горизонтальном изгибе и кручении рельсовых нитей.

The results of determining the rigidity and the modulus of elasticity of the track are shown in the paper. They are used for research of track and a rolling stock interaction and they are taking into account the constructions of the permanent way which has been changed for last years especially on concrete cross-ties. The values of the elasticity modules under the rail are specified under the horizontal bend and rail twist.

При решении ряда теоретических и практических задач актуальных проблем железнодорожного транспорта, особенно при разработке мероприятий по техническому обеспечению безопасности движения поездов, широко используются теоретические исследования в области взаимодействия пути и подвижного состава, позволяющие существенно сократить время и затраты на проведение весьма трудоемких и дорогостоящих экспериментов и испытаний в натуральных условиях новых подвижного состава, конструкции пути, стрелочных переводов. Указанная проблема особенно актуальна в условиях отсутствия на железных дорогах Украины экспериментальной базы, опытных полигонов (в том числе для скоростного движения) и специализированного научно-исследовательского института наподобие ВНИИЖТа МПС РФ.

Общеизвестно, что любые теоретические исследования в области динамики подвижного состава и его воздействия на путь, расчеты пути на прочность и устойчивость и др. базируются, прежде всего, на основании использования основополагающих главнейших нормативов и параметров пути, стрелочных переводов и экипажной части подвижного состава, которые, в конечном итоге, определяются расчетным путем на основании обширных целенаправленных экспериментальных исследований в натуральных условиях.

Применительно к железнодорожному пути, как таковому, одними из важнейших параметров являются пространственные характеристики жесткости (упругости) рельсовых нитей и

соответствующие им пространственные модули упругости пути в вертикальном, поперечном к оси пути, горизонтальном направлении и при кручении рельсовых нитей.

Исследования параметров жесткости и модулей упругости пути проводились научно-исследовательскими организациями и вузами железнодорожного транспорта на протяжении ряда лет в рамках обширной программы. По результатам этих исследований были определены эмпирические зависимости параметров жесткости и модулей упругости пути для различных типов конструкций верхнего строения, которые приведены в специальной справочной литературе и нормативных документах, и используются в настоящее время всеми исследователями проблем взаимодействия пути и подвижного состава, а также в расчетах пути на прочность и устойчивость, расследованиях причин крушений, аварий и браков в поездной и маневровой работе.

Однако следует, к большому сожалению, что намеченная в свое время на многие годы обширная программа столь важных исследований не была завершена в полном объеме по целому ряду чисто объективных причин. Среди этих причин основными явились разнотипность конструкций вагонов-лабораторий, нагрузочных устройств и измерительной базы, сложности организационного порядка, постоянная ограниченность финансовых ресурсов и др., что в конечном итоге привело к тупиковому варианту оценки полученных (на протяжении ряда лет) результатов экспериментальных исследований, отличающихся во многих случаях несо-

поставимостью данных экспериментов. Многие запланированные натурные исследования не были выполнены. Сказанное в первую очередь относится к современным конструкциям пути и особенностях их эксплуатации, особенно в зимний период, до и после проведения ремонтных работ, на участках с большим земельным полотном и т. д.

За последние годы существенно изменились конструкции верхнего строения пути, разрешена укладка железобетонных шпал вместо деревянных при кустовой гнилости последних, изменились виды и технология ремонтных путевых работ, повсеместно производится укладка железобетонных шпал и стрелочных брусьев, повысилась толщина балласта под шпалой и плечи балластной призмы и т. д. и т. п.

В настоящей работе в первом приближении приводятся результаты теоретических и экспериментальных исследований кафедры «Путь и путевое хозяйство» и отраслевой путепытательной лаборатории ДИИТа (за период с 1955 г.) по корректировке и уточнению характеристик пространственной жесткости рельсовых нитей и соответствующих им модулей упругости пути в современных условиях эксплуатации железных дорог Украины.

В расчетных схемах и моделях системы «экипаж–путь» обычно используются механические параметры железнодорожного пути как единой конструкции, взаимодействующим с подвижным составом при перемещениях и деформациях, отнесенных к головке одной рельсовой нити. Среди этих параметров основными и основополагающими являются характеристики жесткости (упругости) рельсовых нитей и соответствующие им модули упругости рельсового основания.

Для различных конструкций и типов верхнего строения пути указанные механические параметры по их значениям существенно отличаются друг от друга с достаточно большими разбросами, т. е. они являются статистическими величинами. К тому же следует иметь в виду, что изменчивость значений указанных параметров имеет место при измерениях их в различных сечениях пути как в поперечном, так и в продольном направлениях, а также при измерениях одного и того же параметра в разное время (особенно по периодам года). С этой точки зрения для каждого типа и конструкции пути, а также осевой нагрузки подвижного состава, весьма важно знать диапазоны изменения значений тех или иных механических параметров, в частности их вероятные значения

или, что еще важнее, распределение вероятностей, влияющие факторы и корреляционные связи между ними.

Физически модули упругости рельсового основания (пути) представляют собою реакцию основания на единицу длины при деформации основания, равной единицы.

При этом модули упругости (U) рельсового основания необходимо различать в зависимости от направления деформаций, а именно:

U_y – в вертикальном направлении;

U_z – в поперечном к оси пути горизонтальном направлении;

U_x – в продольном горизонтальном направлении;

U_ϕ – при кручении рельсовых нитей;

Все указанные модули упругости рельсового основания определяются на основании натурных измерений деформаций в зависимости от прилагаемой нагрузки на рельс с помощью так называемого «модульного вагона-лаборатории».

Вертикальные и поперечные горизонтальные силы, вызывающие просадки, отжатия и кручения рельсовых нитей создаются с помощью гидравлического нагрузочного устройства, смонтированного на раме вагона-лаборатории. Максимальная нагрузка доводится до 120–160 кН, а поперечная горизонтальная (боковая) – до 80–120 кН.

Просадки, отжатия и кручения рельсовых нитей регистрируются с помощью электропробомеров. Запись графиков зависимости перемещений рельсов от нагрузки в виде петель гистерезисов осуществляется двухкоординатными самопишущими приборами типа ПДС-021.

Указанные петли гистерезисов состоят, как известно из ветвей нагружения и разгрузки, имеющих две характерные зоны.

Первая зона графиков, например вертикальных перемещений, находится в интервале нагрузок 0–60 кН. В этой зоне вертикальные перемещения рельсов формируются за счет выбора зазоров между элементами верхнего строения пути и первоначального отжатия подрельсовых и наспальных прокладок.

Вторая зона находится в интервале нагрузок 60–120 кН и формируется непосредственно за счет жесткости подрельсового основания при выбранных зазорах между элементами верхнего строения пути.

В обеих зонах графики перемещений могут быть аппроксимированы прямыми линиями.

Жесткость пути обычно определяется по ветвям нагружения в интервале нагрузок 60–105 кН. Значения максимальной вертикальной нагрузки 105 кН выбирается примерно равным среднесетевой статической нагрузке от колес на рельсы. Для конкретного подвижного состава с высокими значениями статической нагрузки от колеса на рельс модули упругости рельсового основания следует определять при нагрузках на рельс до 160 кН.

Жесткости рельсовых нитей при горизонтальном изгибе и кручении рельса, а также при продольных перемещениях определяются по такой же схеме, как и при вертикальном изгибе рельса.

Сами модули упругости рельсового основания рассчитываются при определенных указанных способами параметрах жесткостях рельсовых нитей с использованием известных зависимостей [1–5]:

$$U_y = \frac{1}{\sqrt[3]{64EI_z}} \cdot \beta_y^{4/3}; \quad (1)$$

$$U_z^{(T)} = \frac{1}{\sqrt[3]{64EI_y}} \cdot (\lambda \cdot \beta_z^{(n)})^{4/3}; \quad (2)$$

$$\text{для рельсов типа Р50 } U_\phi = \frac{1}{5,3 \cdot C} \cdot \beta_\phi^2; \quad (3)$$

$$\text{для рельсов типа Р65 } U_\phi = \frac{1}{5,1 \cdot C} \cdot \beta_\phi^2; \quad (4)$$

$$U_\phi = h^2 U_z^{(T)}, \quad (5)$$

где E – модуль упругости рельсовой стали; I_z – момент инерции поперечного сечения рельса относительно горизонтальной оси Z ; I_y – соответственно относительно вертикальной оси Y ; λ – безразмерный коэффициент, зависящий от типа рельсов (для рельсов Р50 $\lambda = 0,83$, а для Р65 $\lambda = 1,0$); β_y – вертикальная жесткость рельсовой нити; $\beta_z^{(n)}$ – горизонтальная жесткость рельсовой нити по подошве с учетом сил трения; β_ϕ – жесткость рельса при кручении; C – жесткость рельса при кручении.

Для определения модуля U_z (без учета сил трения), необходимо в опытах величину $\beta_z^{(n)}$ определять при отсутствии вертикальной нагрузки.

При всех теоретических исследованиях, расчетных схемах и моделях в каждом конкретном случае необходимо учитывать и ана-

лизировать следующие объективные обстоятельства, а именно:

- зависимости между деформациями рельсовой нити и нагрузками, приложенной к ней, всегда являются нелинейными;

- нелинейность указанных зависимостей обуславливается упругими свойствами отдельных элементов пути, способов соединения их между собой, наличием неизбежных зазоров и люфтов между рельсом и подкладкой, подкладкой и шпалой, шпалой и балластом и т. д.;

- при любых интервалах нагрузок на рельс жесткости пути являются всегда переменными величинами, в том числе и по длине пути;

- в эксплуатационных условиях боковая сила всегда действует одновременно с вертикальной силой;

- значения жесткостей β и модулей U в справочной литературе приведены без учета деформаций земляного полотна, особенно на пути с железобетонными шпалами, поэтому они во всех случаях являются завышенными.

Кафедрой «Путь и путевое хозяйство» и путепыпытательной лабораторией ДИИТа накоплен обширный опыт измерений пространственной жесткости (упругости) пути, в том числе и с учетом упругости земляного полотна. Основные результаты этих исследований опубликованы в сборниках научных трудов ДИИТа за последние 35 лет. Среди них следует отметить работы [6–9].

Основополагающие исследования жесткости пути и соответствующих им модулей упругости рельсового основания с учетом влияния деформаций земляного полотна в летних и зимних условиях эксплуатации пути за последние годы проведены ВНИИЖТом РФ [10].

В итоге анализа всех проведенных исследований можно рекомендовать в первом приближении следующие нормативы по жесткостям и модулям упругости рельсового основания для различных конструкций верхнего строения пути (см. табл. 1 и 2).

В зимнее время модуль упругости рельсового основания U_y практически мало зависит от эпюры шпал и типа балласта, поскольку балластная призма вместе с рельсошпальной решеткой промерзает и становится единым монолитным основанием, в таком ее состоянии модуль упругости в вертикальном направлении U_y практически для всех конструкций пути составляет 50–95 МПа в зависимости от типа рельсов.

Таблица 1

Модули упругости подрельсового основания в вертикальном направлении при осевых нагрузках 22–25 кН и скоростях движения до 240 км/ч пассажирских и 90 км/ч грузовых поездов

№ п/п	Характеристика конструкции пути	Значения модулей U_y (МПа) для летних условий		
		средние	максимальные	минимальные
1	2	3	4	5
I. Щебеночный балласт, шпалы железобетонные и деревянные				
1	P75 (6) 1840 (жб) ш	75,0	100,0	68,0
2	P75 (6) 2000 (жб) ш	80,0	110,0	72,0
3	P75 (6) 1840 (I А) ш	21,0	35,5	7,5
4	P75 (6) 1840 (I А) ш	24,0	40,5	8,0
5	P65 (6) 1440 (I А, I Б) ш	16,0	26,0	6,5
6	P65 (6) 1600 (I А, I Б) ш	17,0	27,0	7,0
7	P65 (6) 1840 (I А, I Б) ш	19,0	31,0	7,5
8	P65 (6) 2000 (I А, I Б) ш	25,0	42,0	8,0
9	P65 (6) 1440 (II А, II Б) ш	16,0	25,0	6,0
10	P65 (6) 1600 (II А, II Б) ш	16,5	26,0	6,5
11	P65 (6) 1840 (II А, II Б) ш	18,0	30,0	7,0
12	P65 (6) 2000 (II А, II Б) ш	23,0	40,0	7,5
13	P65 (6) 1440 (III А, III Б) ш	15,0	24,0	5,5
14	P65 (6) 1600 (III А, III Б) ш	16,0	25,0	6,0
15	P65 (6) 1840 (III А, III Б) ш	17,0	28,0	6,5
16	P65 (6) 2000 (III А, III Б) ш	17,5	29,0	7,0
17	P65 (6) 1440 (VI А, VI Б) ш	14,5	23,0	5,5
18	P65 (6) 1600 (VI А, VI Б) ш	15,0	27,0	6,0
19	P65 (6) 1840 (VI А, VI Б) ш	15,5	27,5	6,5
20	P65 (6) 2000 (VI А, VI Б) ш	16,0	28,0	7,0
21	P50 (6) 1440 (I А, I Б) ш	14,0	17,0	6,0
22	P50 (6) 1600 (I А, I Б) ш	14,5	19,0	6,5
23	P50 (6) 1840 (I А, I Б) ш	15,0	20,0	7,0
24	P50 (6) 2000 (I А, I Б) ш	15,5	20,5	7,5
25	P50 (6) 1440 (II А, II Б) ш	13,5	16,5	5,5
26	P50 (6) 1600 (II А, II Б) ш	14,0	17,0	6,0
27	P50 (6) 1840 (II А, II Б) ш	14,5	17,5	6,5
28	P50 (6) 2000 (II А, II Б) ш	15,0	18,0	7,0
29	P50 (6) 1440 (III А, III Б) ш	13,0	16,0	5,0
30	P50 (6) 1600 (III А, III Б) ш	13,5	16,5	5,5
31	P50 (6) 1840 (III А, III Б) ш	14,0	17,0	6,0
32	P50 (6) 2000 (III А, III Б) ш	14,5	17,5	6,5
33	P50 (6) 1440 (VI А, VI Б) ш	12,5	15,5	5,0
34	P50 (6) 2000 (VI А, VI Б) ш	13,0	16,0	5,5
35	P50 (6) 1840 (VI А, VI Б) ш	13,5	16,5	6,0
36	P50 (6) 1600 (VI А, VI Б) ш	14,0	17,0	6,5
37	P43 (6) 1440 (I А, I Б) ш	12,5	18,0	5,0
38	P43 (6) 1600 (I А, I Б) ш	13,0	18,5	5,5
39	P43 (6) 1840 (I А, I Б) ш	13,5	19,0	6,0
40	P43 (6) 2000 (I А, I Б) ш	14,0	20,0	6,5
41	P43 (6) 1440 (II А, II Б) ш	12,0	16,0	5,0
42	P43 (6) 1600 (II А, II Б) ш	12,5	16,5	5,5
43	P43 (6) 1840 (II А, II Б) ш	13,0	17,0	6,0
44	P43 (6) 2000 (II А, II Б) ш	13,5	17,5	6,5
45	P43 (6) 1440 (III А, III Б) ш	12,0	15,0	5,0

1	2	3	4	5
46	P43 (6) 1600 (III A, III Б) щ	13,5	15,5	5,5
47	P43 (6) 1840 (III A, III Б) щ	13,0	16,0	6,0
48	P43 (6) 2000 (III A, III Б) щ	13,5	16,5	6,5
49	P43 (6) 1440 (VI A, VI Б) щ	11,5	14,5	5,0
50	P43 (6) 1600 (VI A, VI Б) щ	12,0	15,0	5,5
51	P43 (6) 1840 (VI A, VI Б) щ	12,5	15,5	6,0
52	P43 (6) 2000 (VI A, VI Б) щ	13,0	16,0	6,5

II Гравийный или песчаный балласт, шпалы деревянные

53	P65 (6) 1440 (I A, I Б) гр, п	15,5	17,0	6,0
54	P65 (6) 1600 (I A, I Б) гр, п	16,0	19,0	6,5
55	P65 (6) 1840 (I A, I Б) гр, п	16,5	22,0	7,0
56	P65 (6) 2000 (I A, I Б) гр, п	17,0	24,0	7,5
57	P65 (6) 1440 (II A, II Б) гр, п	15,0	16,0	5,5
58	P65 (6) 1600 (II A, II Б) гр, п	15,5	18,0	6,0
59	P65 (6) 1840 (II A, II Б) гр, п	16,0	19,0	6,5
60	P65 (6) 2000 (II A, II Б) гр, п	16,5	20,0	7,0
61	P65 (6) 1440 (III A, III Б) гр, п	13,0	16,0	5,0
62	P65 (6) 1600 (III A, III Б) гр, п	13,5	16,5	5,5
63	P65 (6) 1840 (III A, III Б) гр, п	14,0	17,0	6,0
64	P65 (6) 2000 (III A, III Б) гр, п	14,5	18,0	6,5
65	P65 (6) 1440 (VI A, VI Б) гр, п	13,0	15,5	4,5
66	P65 (6) 1600 (VI A, VI Б) гр, п	13,5	16,0	5,0
67	P65 (6) 1840 (VI A, VI Б) гр, п	14,0	16,5	5,5
68	P65 (6) 2000 (VI A, VI Б) гр, п	14,5	17,0	6,0
69	P50 (6) 1440 (I A, I Б) гр, п	12,5	15,0	4,0
70	P50 (6) 1600 (I A, I Б) гр, п	13,0	15,5	4,5
71	P50 (6) 1840 (I A, I Б) гр, п	13,5	16,0	5,0
72	P50 (6) 2000 (I A, I Б) гр, п	14,0	16,5	5,5
73	P50 (6) 1440 (II A, II Б) гр, п	12,0	14,5	4,0
74	P50 (6) 1600 (II A, II Б) гр, п	12,5	15,0	3,5
75	P50 (6) 1840 (II A, II Б) гр, п	13,0	15,5	5,0
76	P50 (6) 2000 (II A, II Б) гр, п	13,5	16,0	5,5
77	P50 (6) 1440 (III A, III Б) гр, п	13,0	14,0	4,0
78	P50 (6) 1600 (III A, III Б) гр, п	12,5	14,5	4,5
79	P50 (6) 1840 (III A, III Б) гр, п	13,0	15,0	5,0
80	P50 (6) 2000 (III A, III Б) гр, п	13,5	15,5	5,5
81	P50 (6) 1440 (VI A, VI Б) гр, п	11,0	14,0	5,0
82	P50 (6) 2000 (VI A, VI Б) гр, п	11,5	14,5	5,5
83	P50 (6) 1840 (VI A, VI Б) гр, п	12,0	15,0	6,0
84	P50 (6) 1600 (VI A, VI Б) гр, п	12,5	16,0	6,5
85	P43 (6) 1440 (I A, I Б) гр, п	11,0	13,5	5,5
86	P43 (6) 1600 (I A, I Б) гр, п	11,5	14,0	5,5
87	P43 (6) 1840 (I A, I Б) гр, п	12,0	14,5	6,0
88	P43 (6) 2000 (I A, I Б) гр, п	12,5	15,0	6,5
89	P43 (6) 1440 (II A, II Б) гр, п	10,5	13,0	4,5
90	P43 (6) 1600 (II A, II Б) гр, п	11,5	13,5	5,0
91	P43 (6) 1840 (II A, II Б) гр, п	11,5	14,0	5,5
92	P43 (6) 2000 (II A, II Б) гр, п	12,0	14,5	6,0
93	P43 (6) 1440 (III A, III Б) гр, п	10,0	12,5	4,0
94	P43 (6) 1600 (III A, III Б) гр, п	10,5	13,0	4,5
95	P43 (6) 1840 (III A, III Б) гр, п	11,0	13,5	5,0
96	P43 (6) 2000 (III A, III Б) гр, п	11,5	14,0	5,5
97	P43 (6) 1440 (VI A, VI Б) гр, п	10,0	12,0	4,0
98	P43 (6) 1600 (VI A, VI Б) гр, п	10,5	12,5	4,5

1	2	3	4	5
99	P43 (6) 1840 (VI А, VI Б) гр, п	11,0	13,0	5,0
100	P43 (6) 2000 (VI А, VI Б) гр, п	11,5	13,5	5,5

III Щебеночный балласт, шпалы железобетонные, скрепление КБ

101	P65 (6) 1440 (жб) ш	24,0	46,0	9,0
102	P65 (6) 1600 (жб) ш	25,0	48,0	9,5
103	P65 (6) 1840 (жб) ш	26,0	50,0	10,0
104	P65 (6) 2000 (жб) ш	26,8	52,0	12,0
105	P50 (6) 1440 (жб) ш	22,0	40,0	8,0
106	P50 (6) 1600 (жб) ш	22,5	42,0	8,5
107	P50 (6) 1840 (жб) ш	23,0	44,0	9,0
108	P50 (6) 2000 (жб) ш	24,0	48,0	9,5

Таблица 2

Значения модулей упругости подрельсового основания при горизонтальном изгибе и кручении рельсовых нитей

Параметры	Количество шпал на 1 км	Тип рельсов		
		P65	P50	P43
Модуль упругости при горизонтальном изгибе, U_z , МПа	1440	20,0	19,0	19,0
	1600	22,0	22,0	22,0
	1840	23,0	23,0	23,0
	2000	24,0	24,0	24,0
Модуль упругости при кручении рельса, U_ϕ , кН/радиан	1440	300,0	200,0	158,0
	1600	340,0	218,0	176,0
	1840	350,0	226,0	182,0
	2000	360,0	232,0	183,0

На участках пути (с рельсами типа Р65) при укладке железобетонных шпал вместо негодных деревянных шпал при кустовой гнилости последних средние значения вертикальных модулей упругости рельсового основания в зависимости количества железобетонных шпал на звене составляют в интервале нагрузок 40–80 кН 18,7–26,0 МПа, минимальные 13,0–14,7 МПа, а максимальные 39,1–50,0 МПа. Поперечная жесткость пути по головке рельса на таких участках составляет 10–20 кН/мм.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Правила расчета верхнего строения железнодорожного пути на прочность. М: ЦНИИ МПС, 1954.
2. Ершков О. П. Характеристики пространственной упругости рельсовой нити. Труды ЦНИИ, вып. 792. – М: Трансжелдориздат, 1960.
2. Ершков О. П. Исследование жесткости железнодорожного пути и ее влияние на работу рельсов в кривых участках. Труды ЦНИИ, вып. 264. – М: Трансжелдориздат, 1963.
3. Справочник инженера-путейца / Под ред. В. В. Баилова и М. А. Чернышева. Т. 1. – М: Транспорт, 1972.
4. Рекомендации ОСЖД по единой методике определения рационального модуля упругости и рациональной жесткости элементов скрепления. Р742 от 16.02.1975.
5. Рекомендации ОСЖД по оптимальному модулю упругости подрельсового основания с железобетонными и другими подрельсовыми основаниями в вертикальном направлении Р714 от 14.10.1979.
7. Фришман М. А., Климов В. И. Об условном модуле упругости рельсового основания при изгибе вверх / Межвузовский сборник научных трудов, вып. 151. – Д., ДИИТ, 1974.
8. Климов В. И., Рыбкин В. В. Исследование влияния нелинейных характеристик подрельсового основания на напряженно-деформированное состояние пути. Межвузовский сборник научных трудов, вып. 257. – Д., ДИИТ, 1987.
9. Татуревич А. П., Янин В. М. Характеристика пространственной жесткости (модуля упругости) железобетонного рельсового основания в период просроченного капитального ремонта пути. Межвузовский сборник научных трудов, вып. 196. – Д., ДИИТ, 1974.
10. Управление надежностью бесстыкового пути / Под редакцией В. С. Лысюка. – М: Транспорт, 1999.

М. И. УМАНОВ, В. В. КОВАЛЕВ, С. Н. СОВА (ДИИТ)

ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПУТИ СО СКРЕПЛЕНИЕМ КПП

Проведена оцінка напружено-деформованого стану колії зі скріпленнями КПП під впливом дослідного рухомого складу, а також жорсткостних характеристик такої колії. Зіставлення цих показників з аналогічними для колії зі скріпленнями КБ показали досить близьку відповідність.

Проведена оценка напряженно-деформированного состояния пути со скреплением КПП под воздействием опытного подвижного состава, а также жесткостных характеристик этого пути. Сопоставление этих показателей с аналогичными для пути со скреплением КБ показали достаточно близкое сходство.

The stresser-deformed estimation with the fastenings КПП. The comparison of these parameters with the analogous ones for a track with fastenings КБ have shown close enough conformity.

В ноябре–декабре 2001 года на двух участках Львовской железной дороги Днепропетровским национальным университетом железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна (ДИИТ) проводились экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния бесстыкового пути с рельсами типа Р65 на железобетонных шпалах со скреплением КПП на щебеночном балласте.

На данном направлении пропущенный тоннаж составил 30 млн т, грузонапряженность – 3 млн ткм брутто на км в год, а установленная скорость движения поездов – 80 км/ч. Несмотря на то, что состояние пути на опытных участках в основном соответствовало требованиям [1] скорость движения пассажирских поездов была ограничена из-за того, что толщина балластной призмы на данном перегоне была ниже установленных норм и в ряде случаев составляла около 10 см.

Для проведения испытаний был сформирован опытный состав из тепловозов 2М62 (в голове и хвосте поезда), электровоза ВЛ11 и двух полувагонов, одного порожнего и одного загруженного щебнем до полной грузоподъемности. Опытный состав осуществлял поездки челноком со скоростями 25, 40, 60, 80 и 100 км/ч.

В процессе выполнения экспериментальных исследований, которые проводились на прямой и в кривой $R = 600$ м измерялись:

- вертикальная и горизонтальная жесткость пути;
- напряжения в кромках подошвы и головки рельсов;
- горизонтальные отжатия головки и подошвы рельсов;

- вертикальные прогибы рельсов;
- вертикальные и боковые силы, действующие на рельс.

Расположение датчиков на опытных участках показано на рис. 1.

Жесткость подрельсового основания пути измерялась с помощью специального вагона-лаборатории ДИИТа по методике [2]. При измерениях вертикальной жесткости вертикальная сила на один рельс доводилась до 140...150 кН. При измерениях горизонтальной жесткости рельсовых нитей горизонтальная сила на рельс в опытах доводилась до 140 кН при одновременном вертикальном пригрузе рельса 110 кН.

Результаты измерений показали, что вертикальная жесткость и модуль упругости пути очень неравномерны по длине участка, особенно на прямой (рис. 2).

Как видно из рисунка имеет место два вида петель гистерезиса:

- один вид для нормального состояния пути – петля 1, модуль упругости для которой 44,3 МПа (расшифровке подвергалась линия загруза в интервале 40...80 кН);

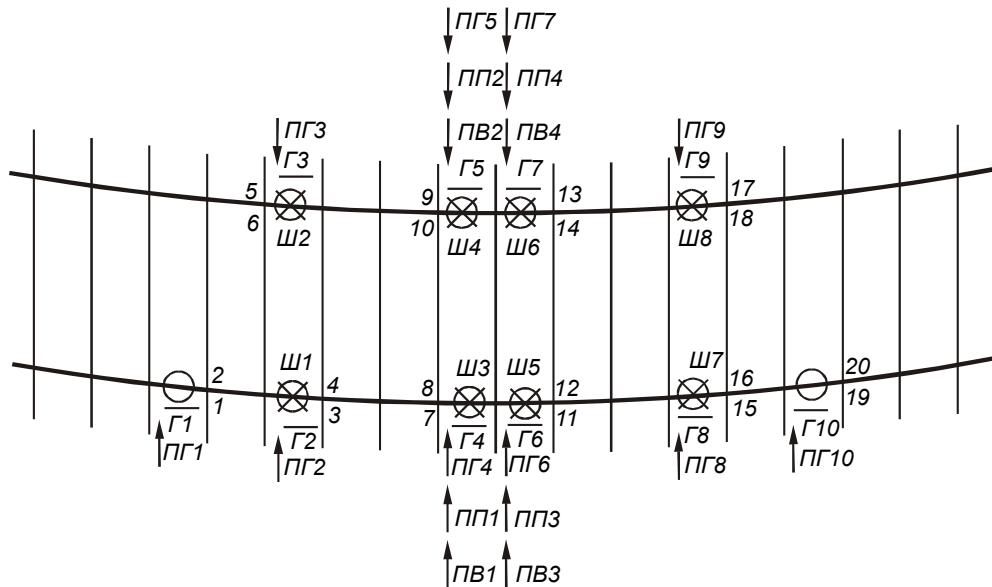
- второй вид в месте, где наблюдается динамическая просадка пути, петля 2 модуль упругости равен 4,3 МПа (расшифровке подвергалась линия загруза в интервале 0...130 кН). В данном случае происходит выборка люфтов, связанных с наличием провисших шпал. Также на величину заниженного модуля влияет недостаточная толщина щебня под шпалой.

Вертикальный модуль упругости на прямой в местах, с динамической просадкой пути находился в пределах от 4,3 МПа до 7,9 МПа.

Если исключить из рассмотрения сечения с большими провесами шпал, что не соответствует нормальному состоянию пути, то можно

считать, что вертикальный модуль упругости в прямой изменялся от 10,4 МПа до 59,7 МПа.

а)



б)

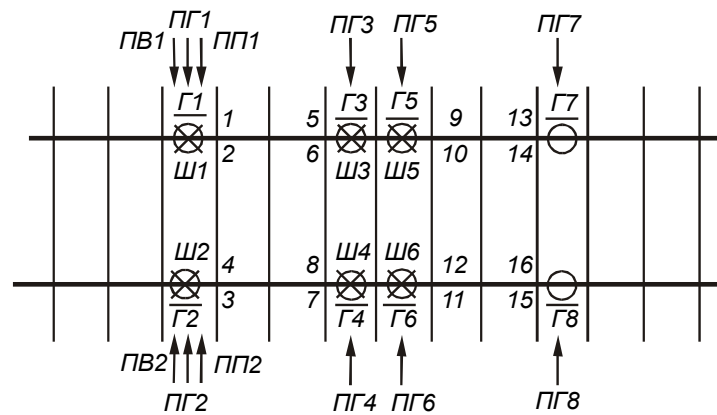


Рис. 1. Схемы установки датчиков на кривой $R=600$ м (а) и на прямом участке (б):

- Ш X – прибор для измерения вертикальных сил;
- Г — – прибор для измерения напряжений в кромке подошвы рельса;
- ПГ — – прибор для измерения напряжений в кромке головки рельса;
- ПГ ↑ – горизонтальный прогибомер по головке рельса;
- ПВ ↑ – вертикальный прогибомер;
- ПП ↑ – горизонтальный прогибомер по подошве рельса

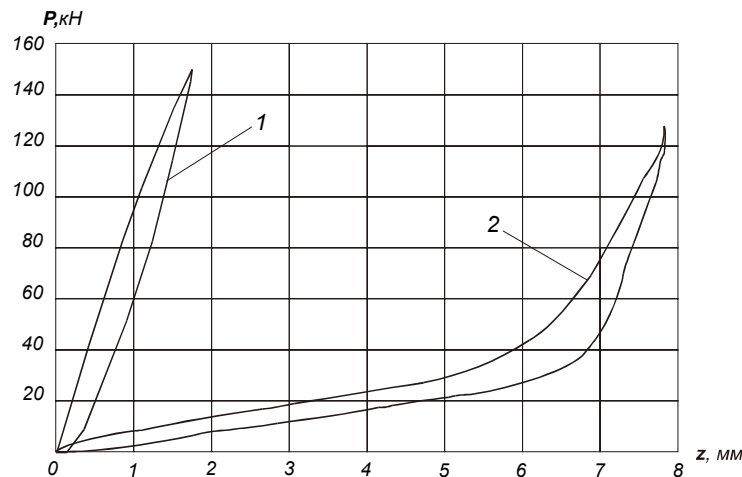


Рис. 2. Образец петли гистерезиса при измерении вертикальной жесткости пути на прямой

В кривой вертикальная жесткость и модуль упругости были больше чем в прямой из-за большей, по сравнению с прямой, эпюрой шпал (2000 шт/км). Вертикальный модуль упругости изменялся от 12,0 МПа до 73,6 МПа.

Средние значения вертикального модуля упругости 28,4 МПа на прямой и 29,6 МПа на кривой.

Горизонтальный модуль упругости пути в прямом участке изменялся в пределах от 7,0 МПа до 20,0 МПа, (среднее значение 10,9 МПа), а на кривой – от 10,7 МПа до 26,3 МПа (среднее значение 19,7 МПа).

Как показали исследования ДИИТа, проводившиеся на Юго-Западной железной дороге [2], значения вертикального модуля упругости на участках со скреплением КБ находились в пределах 8,0...50,0 МПа, среднее значение модуля упругости на исследуемых участках оказалось равным 26,0...27,2 МПа в интервале нагрузок 40...80 кН.

Исследования ДИИТа показали также, что горизонтальный модуль упругости пути на ж. б. шпалах со скреплением КБ в прямой изменяется в пределах от 3,2 МПа до 9,4 МПа (среднее значение 6,1 МПа).

Проверим гипотезу о равенстве средних значений вертикального модуля упругости пути со скреплениями КБ и КПП, а также гипотезу о равенстве средних значений горизонтального модуля упругости пути. Зафиксировав уровень значимости $\alpha = 0,01$ проверим гипотезу о равенстве средних значений вертикального модуля по формуле (t -распределение Стюдента) [3]:

$$t = \frac{\bar{U}_1 - \bar{U}_2}{\sqrt{\frac{(n_1 - 1) \cdot S_1^2 + (n_2 - 1) \cdot S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \cdot \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}}, \quad (1)$$

где t – распределение Стюдента;

$\bar{U}_1$ – среднее значение модуля упругости пути со скреплением КПП;

$\bar{U}_2$ – среднее значение модуля упругости пути со скреплением КБ;

n_1, n_2 – объемы соответствующих выборок;

S_1^2, S_2^2 – соответствующие распределения дисперсий.

Для вертикального модуля при альтернативной гипотезе $\bar{U}_1 > \bar{U}_2$ получаем правостороннюю критическую область:

$$P(t > t_\alpha) = 0,01; t_\alpha = 2,33, t > 2,33;$$

при $\bar{U}_1 = 28,4$ МПа; $\bar{U}_2 = 27,2$ МПа; $n_1 = 10$; $n_2 = 208$; $S_1^2 = 2,68$ МПа²; $S_2^2 = 65,6$ МПа².

В этом случае $t = 0,33$, что меньше $t_\alpha = 2,33$, а значит t не принадлежит критической области, поэтому принимаем гипотезу о равенстве средних значений вертикального модуля упругости.

Для горизонтального модуля также принимаем правостороннюю критическую область:

$$P(t > t_\alpha) = 0,01; t_\alpha = 2,39, t > 2,39;$$

при $\bar{U}_1 = 19,7$ МПа; $\bar{U}_2 = 10,7$ МПа; $n_1 = 17$; $n_2 = 50$; $S_1^2 = 0,81$ МПа²; $S_2^2 = 0,86$ МПа².

В этом случае значение статистики $t = 32,1$, что больше $t_\alpha = 2,39$, т. е. принадлежит критической области, поэтому гипотеза о равенстве средних значений неверна.

Таким образом вертикальная жесткость пути на ж. б. шпалах со скреплением КПП практически не отличается от жесткости пути на ж. б. шпалах со скреплением КБ. Однако, горизонтальная поперечная жесткость пути на же-

лезобетонных шпалах со скреплением КПП в 1,5–2,0 раза больше, чем при скреплении КБ.

По показаниям каждого датчика при заданной скорости и направлении движения составлялась первичная выборка (выборочная совокупность), которая считалась случайным извлечением из генеральной совокупности. На основании этого осуществлялась статистическая обработка опытных данных.

Для каждой выборки определялись по стандартной методике основные статистики, а именно: среднее, среднеквадратическое отклонение и максимальное вероятное значение при принятом в расчетах пути на прочность уровне не превышения вероятности 0,994. Эти выборки группировались:

- в прямом участке пути для каждого экипажа для каждой скорости движения;

- в кривом участке пути отдельно для первых и вторых (в трехосных тележках – третьи) осей каждого экипажа для каждой скорости движения по наружной и внутренней нитям.

В кривом участке пути с увеличением скорости движения опытного подвижного состава средние значения вертикальных сил увеличивались по наружной нити и уменьшались по внутренней. Под груженым вагоном были получены наибольшие значения вертикальных сил: максимальные вероятные – 175,9 кН, максимальные наблюдавшиеся – 187,3 кН и средние 123,4 кН. На прямом участке пути были зафиксированы следующие значения вертикальных сил для груженого вагона: средние – 110,1 МПа, максимальные вероятные – 171,5 кН, максимальные наблюдавшиеся – 183,8 кН. Вертикальные силы, передающиеся на путь под груженым вагоном, так же как и под остальным подвижным составом на прямой и в кривой были фактически одинаковыми.

Однако вертикальные прогибы рельсов под подвижным составом на прямой были в 2–2,5 раза больше чем на кривой и составляли 2,0–3,5 мм, а максимальные вероятные 4,1 мм. В кривой вертикальные прогибы не превышали 1,5 мм. Это явление связано с большей жесткостью подрельсового основания в кривой, а также с наличием на прямой шпал с провесами.

Полученные результаты вертикальных прогибов соответствуют величине вертикальных прогибов рельсов Р65 на железобетонных шпалах со скреплением КБ под таким же подвижным составом. Как показали исследования ДИИТа [4] вертикальные прогибы рельсов достигали в среднем 3,0–3,3 мм, а максимальные вероятные до 4,7 мм.

Максимальные значения боковых сил в кривом участке пути наблюдались под локомотивом 2М62, и не превысили по средним значениям – 32 кН, по максимальным вероятным – 61 кН, а по максимальным наблюдавшимся – 73 кН, а в прямом участке пути – под порожним полувагоном (максимальным наблюдавшимся – 23,3 кН)

Максимальные отжатия головки рельсов наблюдались под порожним вагоном на прямом участке пути. При скорости движения 60 км/ч значения отжатий головки рельсов составили 1,9 мм, а при скорости движения 80 км/ч они увеличились уже почти в 2 раза (3,4 мм). Это происходит из-за неустойчивости порожнего вагона при скоростях движения больших 65 км/ч. У остальных единиц подвижного состава средние значения отжатий головки рельсов не превысили 0,5 мм. В кривом участке пути максимальные наблюдавшиеся значения отжатий головки рельсов наружной нити для локомотивов не превышали 1,4 мм при скорости 100 км/ч, а для рельсов внутренней нити – 1,6 мм при скорости 40 км/ч для груженого вагона.

Большой разброс значений напряжений в кромке подошвы рельсов наблюдался на прямом участке пути. В одной группе датчиков (1–8) значения напряжений в кромке подошвы рельсов не превышали по средним значениям – 15 МПа, по максимальным вероятным – 61 МПа, по максимальным наблюдавшимся – 68 МПа. В другой группе датчиков (13–16) средние значения напряжений достигали – 112 МПа, максимальные вероятные и максимальные наблюдавшиеся – 149 МПа. Такой большой разброс значений напряжений в кромке подошвы рельсов наблюдался из-за плохой подбивки балласта под шпалами и наличия шпал с провесами.

В кривом участке пути максимальные значения напряжений в кромке подошвы рельсов наблюдались в наружной кромке подошвы рельсов наружной рельсовой нити при скорости движения опытного подвижного состава 80 км/ч и составили под колесами груженого полувагона 125 МПа. Средняя величина изменялась в пределах 30...40 МПа, что соответствует величине напряжений в рельсах Р65 на железобетонных шпалах со скреплением КБ под тем же подвижным составом. Как показали предыдущие исследования ДИИТа, средняя величина напряжений в наружной кромке наружной рельсовой нити под груженым полувагоном находилась в пределах 28...78 МПа.

Как видно, из выше сказанного, кромочные напряжения в подошве рельсов, как в прямом, так и в кривом участках пути со скреплениями КПП не превысили допустимые значения 240 МПа.

Всесторонний анализ результатов проведенных настоящих исследований, а также результатов ранее выполненных исследований позволяют сделать следующие выводы:

- вертикальный модуль упругости пути на железобетонных шпалах со скреплением КПП соответствует жесткостным характеристикам пути на железобетонных шпалах со скреплением КБ;

- кромочные напряжения в рельсах Р65 и их вертикальные прогибы на пути с железобетонными шпалами и скреплением КПП под воздействием груженого полувагона оказываются примерно такими же, как и на пути с железобетонными шпалами и скреплением КБ;

- горизонтальные отжатия головки рельсов под опытными экипажами, за исключением порожнего полувагона, не превышали 1,5 мм. Этому способствовала сравнительно большая поперечная жесткость пути на ж. б. шпалах со

скреплением КПП превышающая в 1,5–2,0 раза поперечную жесткость на пути со скреплением КБ;

- таким образом, по прочности пути условия обращения подвижного состава на пути с железобетонными шпалами и скреплением КПП могут быть приняты такими же, как и для пути с железобетонными шпалами и скреплением КБ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Інструкція по устрою та утриманню колії залізниць України. Затверджено наказом Укрзалізничі від 06.04.1998 р. № 82Ц.

2. Воробейчик Л. Я., Гнатенко В. П., Климов В. И., Леванков И. С. Некоторые результаты экспериментального определения жесткости пути. В кн.: Исследования взаимодействия пути и подвижного состава. – Вып. 148. – Д., ДИИТ, 1974, с. 9–16.

3. Колде Я. К. Практикум по теории вероятностей и математической статистике. М. – 1991.

4. Волошко Ю. Д., Татуревич А. П., Янин В. М. Особенности вертикального воздействия на путь грузовых поездов при скоростях движения 90–100 км/ч. В кн.: Исследования взаимодействия пути и подвижного состава. Вып. 188. – Д., ДИИТ, 1977, с. 18–22.

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАБОЧЕГО МЕСТА ДОРОЖНОГО МАСТЕРА ДИСТАНЦИИ ПУТИ

У даній статті визначені функції, задачі і вимоги, пропонувані до підсистеми автоматизованого робочого місця колійного майстра дистанції колії.

В данной статье определены функции, задачи и требования, предъявляемые к подсистеме автоматизированного рабочего места дорожного мастера дистанции пути.

The functions, task and the requirements showed to a subsystem, the automated workplace of the roadman of a distance of a way are determined in the article.

В соответствии с решениями Департамента пути и сооружений МПС России в ПГУПС ведется разработка автоматизированного рабочего места дорожного мастера дистанции пути (АРМ-ПД) и исследование вопроса целесообразности использования карманных переносных компьютеров в АРМ дорожного мастера.

Разработка АРМ-ПД базируется на всем ранее разработанном программном обеспечении АСУ путевым хозяйством железных дорог РФ (АСУ-П). Внедрение АСУ-П на головном полигоне показало, что одной из крайне необходимых частей АСУ-П является именно АРМ дорожного мастера. Разработка этой подсистемы основывается на концепции АСУ-П, предложенной ВНИИАС, разработанных технологической, функциональной и информационной моделях АСУ, а также инициативных разработках по разделу «Текущее содержание пути», предпринятых на Красноярской, Восточно-Сибирской, Куйбышевской, Северо-Кавказской, Горьковской и других железных дорог.

АРМ дорожного мастера является составной частью автоматизированной подсистемы управления работами текущего содержания пути (АСУ-ТСП). В ходе работы над АРМ-ПД разработана функциональная модель управления текущим содержанием пути, с применением CASE-технологий, а именно методологии IDEF.

В соответствии с разработанной моделью основные задачи (функции) подсистемы АСУ-ПЧ следующие:

- планирование, организация и учет мероприятий по контролю состояния пути;
- планирование, организация и учет мероприятий по контролю состояния пути;
- контроль состояния пути, учет неисправностей;

- ведение баз нормативно-справочной информации, баз данных технического паспорта дистанции пути;
- планирование работ годовое, сезонное, среднесрочное (полумесячное, месячное, по результатам комиссионных осмотров), ежедневное оперативное;
- управление предприятиями и подразделениями;
- учет материалов;
- организация путевых работ: подготовка, учет, контроль, диспетчерское управление;
- выполнение путевых работ;
- учет и контроль выполненных работ;
- формирование отчетов.

Функции управления текущим содержанием пути распределяются между основными автоматизированными рабочими местами. Основные рабочие места АСУ-ТСП – это АРМ-Д (диспетчера дистанции пути), АРМ-ПЧИ (инженера по текущему содержанию пути), АРМ-ПЧ (руководителя дистанции), и конечно АРМ-ПД (дорожного мастера).

Для организации выполнения функций управления необходим единый центр обработки оперативных данных в дистанции пути (сервер). Предлагается в качестве такого центра создать (восстановить) автоматизированное рабочее место диспетчера дистанции пути (АРМ-Д).

В функции АРМ-Д входят: учет выполнения работ по ремонтам и текущему содержанию пути, учет работы машин, учет сбоев в работе (браки, острорельсовые рельсы, неудовлетворительные километры, опасные неисправности пути, сбои рельсовых цепей, дорожно-транспортные происшествия, опоздания поездов и др.). На рабочем месте АРМ-Д производится выдача, учет, отмена предупреждений, контроль за своевременностью их отмены; за-

явка на предоставление «окон», учет их предоставления и использования. В части контроля за состоянием пути на АРМ-Д производится планирование осмотров, контроль, учет хода осмотров, регистрация сводных отчетов о результатах осмотров, учет хода проверок пути путеизмерителями, рельсов дефектоскопами, регистрация сводных результатов. Также выполняются такие организационные работы, как учет поступления, выгрузки, погрузки, отправки грузов, а также формирование всевозможных отчетов по данным АСУ-ПЧ, АРМ-ПД и АРМ-ТО.

Вторым по важности в управлении работами текущего содержания пути является рабочее место дорожного мастера. Его основные функции:

- паспортизация, поддержание модели околотка;
- регистрация состояния пути из всех источников информации;
- планирование работ всех уровней (годовое, сезонное, месячное, оперативное);
- организация работы околотка;
- учет материалов;
- организация взаимодействия с диспетчером дистанции;
- выдача заявок на предупреждения и «окна».

В ходе обследования движения информации на уровне околотка выделены задачи, требующие наибольшего времени на обработку информации: ведение полумесячного плана-графика, подготовка документов на зарплату, подготовка материального отчета, ведение всех учетных и отчетных форм, ежедневная работа с диспетчером дистанции пути (ежесуточный отчет).

Разработан перечень сущностей (объектов), информация о которых должна храниться у ПД. Для каждого из них определен перечень атрибутов, то есть разработаны структуры таблиц баз данных. Всего разработано более 100 таблиц, в дополнение к таблицам техпаспорта. В качестве примеров можно привести такие объекты, как «Неисправность», «Осмотр», «Работа», «Окно», «Предупреждение», «Работник», «Инструктаж», «Человеко-день».

Поскольку АРМ-ПД работает в Едином информационном пространстве, разработана информационная модель АРМ-ПД и формы таблиц баз данных.

В ходе разработки АРМ-ПД рассмотрен вопрос возможности использования карманных персональных компьютеров (КПК). Обзор ха-

рактеристик КПК показывает возможность использования их дорожными мастерами при работе на линии. При этом определен перечень задач, которые могут решаться на КПК.

Определены требования к КПК, которые должны использоваться дорожным мастером. Требования к дисплею: полноцветный дисплей размеров минимум 320×240 точек, не менее 8 см по диагонали, с активной подсветкой, для возможности работать как в темноте, так и на солнце. Корпус должен быть ударопрочный, влагонепроницаемый, предоставлять возможность работы в диапазоне температур от –45 до +35 градусов, иметь минимальные вес и размеры. Обязательно наличие слотов расширения для периферии, карт памяти, для беспроводной связи с другими устройствами, периферией. Подключение к настольному персональному компьютеру должно производиться через USB, обеспечивать автоматическую синхронизацию данных в КПК и настольном компьютере (в начале и в конце рабочего дня).

Наиболее целесообразной платформой для использования является Windows CE. Это решение обусловлено конечной более низкой стоимостью владения при соответствии всем требованиям, которая складывается из стоимости существующего устройства, стоимости доработки устройства для соответствия аппаратным требованиям, стоимости ремонта, стоимости разработки программного обеспечения, стоимости поддержки, стоимости модернизации при внедрении новых коммуникационных и информационных технологий, стоимости обучения и адаптации работников железнодорожного транспорта, работающих с КПК.

В качестве этапов внедрения в систему АРМ-ПД предлагаются следующие. Первый этап – разработка и внедрение АРМ-ПД на опытном полигоне в ограниченных количествах. Второй – внедрение АРМ-ПД на сети. Третий – разработка и внедрение системы использования КПК и, наконец, – внедрение системы использования КПК в мобильной сети передачи данных.

Расчеты экономической эффективности внедрения АРМ-ПД показывают, что в основном за счет ликвидации многократного ввода обработки информации внедрение АРМ-ПД на рабочих местах начальников участков дистанции пути, с использованием как настольного, так и карманного переносного компьютера, обеспечит окупаемость затрат на внедрение за четыре года.

ВАРИАНТЫ СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ТЕКУЩЕГО СОДЕРЖАНИЯ ПУТИ МАШИНИЗИРОВАННЫМИ КОМПЛЕКСАМИ

Розглядаються питання вибору варіантів систем технічного обслуговування колії машинізованими комплексами при переході колійного господарства МПС РФ у рамках загальної реформи залізничного транспорту на нові організаційні структури і системи керування, що забезпечують зниження експлуатаційних витрат по колійному господарству.

Рассматриваются вопросы выбора вариантов систем технического обслуживания пути механизированными комплексами при переходе путевого хозяйства МПС РФ в рамках общей реформы железнодорожного транспорта на новые организационные структуры и системы управления, обеспечивающие снижение эксплуатационных расходов по хозяйству пути.

The alternative choice questions are considered for the track maintenance by the machine complexes under the transition the track keeping of MPS RF to new management and control systems providing the maintenance expenses reduction. The transition takes place in accordance with the general administration and management reorganization of railway transport.

В соответствии с Программой структурной реформы на железнодорожном транспорте РФ целями реформы являются:

- повышение устойчивости работы железнодорожного транспорта, его доступности, безопасности и качества предоставляемых им услуг для обеспечения единого экономического пространства страны и общезакономического развития;
- формирование единой транспортной системы страны;
- снижение совокупных народнохозяйственных затрат на перевозку грузов железнодорожным транспортом;
- удовлетворение растущего спроса на услуги, предоставляемые железнодорожным транспортом.

Большое значение в Программе придается реформированию организационной структуры по основным видам деятельности и систем управления. К факторам, вызвавшим необходимость коренных преобразований в этой области, относятся:

- недостаточная эффективность сложившейся в границах железных дорог и отделений системы управления перевозками и инфраструктурой, что приводит к снижению производительности труда;
- необходимость значительного повышения доходности железных дорог, сокращения эксплуатационных расходов, расширения финансовых возможностей для восстановления изношенной части основных фондов

и приобретения новых технических средств;

- потребность в повышении скоростей движения поездов, внедрении тяжеловесного подвижного состава, устранении барьеров в продвижении поездопотоков.

Доля основных фондов путевого хозяйства железных дорог РФ составляет примерно половину стоимости всех основных фондов железнодорожного транспорта, а эксплуатационные расходы (без учета амортизации) – 20–25% (и не имеют резких колебаний в течение последних шести лет). Поэтому без реорганизации путевого комплекса реформа железнодорожного транспорта не возможна.

Целью реорганизации и развития инфраструктуры путевого хозяйства является обеспечение: снижения себестоимости и доли эксплуатационных затрат в путевом хозяйстве при возрастающих объемах перевозок; обеспечение возможности обращения на сети железных дорог подвижного состава нового поколения; повышение скоростей движения грузовых поездов; развитие скоростного движения пассажирских поездов; безопасности движения поездов.

Основные направления реорганизации и развития путевого хозяйства базируются на следующем комплексе взаимосвязанных мероприятий:

- создание и внедрение малообслуживаемых конструкций пути для различных условий эксплуатации и расширение полигона бесстыкового пути; создание и внедрение ресурсосберегающих технологий при теку-

щем содержании пути и всех видов ремонтов;

- оснащение железных дорог современными, надежными, высокопроизводительными путевыми машинами, обеспечение их текущего содержания и ремонта и повышение эффективности их использования;
- совершенствование средств диагностики и контроля пути;
- совершенствование структуры и системы управления путевым хозяйством на основе информационных технологий и др.

Одними из основополагающих направлений реорганизации путевого комплекса являются: коренное изменение подходов к системе текущего содержания пути и концентрация ремонта и обслуживания путевой техники в специализированных предприятиях при одновременном выводе из эксплуатации малопроизводительных и морально устаревших машин с заменой современными машинами.

В соответствии с выше заявленным направлением реорганизации на дистанции пути возлагается надзор за состоянием пути и устранением только тех неисправностей, которые препятствуют безопасному пропуску поездов с установленными скоростями. Остальные работы по восстановлению стабильности пути должны выполняться с определенной периодичностью механизированными комплексами, исходя из его фактического состояния.

Основной задачей технического обслуживания пути является обеспечение его стабильности и предсказуемого состояния в течение всего периода эксплуатации. В состав работ по техническому обслуживанию пути должны входить путевые работы, выполняемые в межремонтном цикле: профилактического характера, по устранению отдельных неисправностей, планово-предупредительная выправка и промежуточные ремонты.

Система технического обслуживания железнодорожного пути включает в себя следующие компоненты:

- зону технического обслуживания (протяженность путей различных классов);
- стратегию распределения путевых работ между предприятиями путевого комплекса, принятую дорогой на определенный период времени (например, пять лет);
- предприятия путевого комплекса, их специализация и количество, мощность, распределение мест базирования в пределах полигона;

- технологию организации работ предприятий путевого комплекса в пределах полигона;
- периодичность выполнения путевых работ;
- технологию выполнения путевых работ.

Вопросы выбора систем технического обслуживания текущего содержания пути механизированными комплексами (механизированными дистанциями пути – ПЧМ), являются частным вопросом общей темы, связанной с совершенствованием системы технического обслуживания пути.

Текущее содержание пути это система, функционирование которой очень четко регламентировано системой норм и правил.

Основными критериями, влияющими на выбор, являются:

Класс путей и конструкция пути, определяющие нормативные и фактические (потребные) объемы работ по планово-предупредительной выправке. Класс пути определяет нормативную продолжительность межремонтного цикла и схему ремонтов, что позволяет рассчитать нормативный объем – выполнить перспективное планирование на 5–6 лет вперед. В то же время класс пути и конструкция определяют эксплуатационную работу участка и фактическое состояние по результатам проверок пути диагностическими средствами с учетом таких факторов, как структура грузопотока, осевые нагрузки, вид и качество выполнения предыдущего вида ремонта, пропущенный тоннаж и др. Все это определяет фактические объемы работ для текущего планирования. Соотношение нормативных и фактических объемов работ позволяет сделать корректировку при определении количества выправочных комплексов на текущий период.

Схема дороги, географическое положение, протяженность одно- и двухпутных участков, структура грузо- и пассажиропотоков. От этих параметров зависит технология предоставления «окон» для работы механизированных комплексов, что в свою очередь будет определять выработку комплексов и, как следствие, их количество.

Принятая дорогой стратегия выполнения путевых работ силами ПМС, ПЧМ, ПЧ и др. организациями, их мощность. Этот параметр позволяет определить зоны технического обслуживания текущего содержания пути механизированными комплексами и одновременно провести корректировку количества ПЧМ в пределах рассматриваемого полигона, в том

числе и с различной укомплектованностью комплексами.

Очень важным критерием назначения системы технического обслуживания пути является организация работ комплексов по планово-предупредительной выправке на полигоне (в зонах обслуживания), определяющая периодичность предоставления «окон», их продолжительность, совмещение и возможность работы комплексов под прикрытием «окон» для выполнения капитальных работ.

Механизированные дистанции пути (ПЧМ) выполняет путевые работы или участвует в их выполнении, входящие во все три группы работ (1-я группа – работы капитального характера, 2-я – работы по текущему содержанию пути и 3-я – реконструкция пути), причем наибольший перечень работ соответствует 1-ой группе, что соизмеримо с перечнем работ капитального характера, выполняемых ПМС. Работы текущего содержания пути (2-я группа) сведены к трем видам – планово-предупредительная выправка пути (В), замена негодных шпал и снего-, водо-, пескоборьба. Существует такая практика, что дистанции пути, помимо работ текущего содержания, выполняют и работы капитального характера. Это не соответствует функциям ПЧ, но является характерной чертой в стратегии распределения путевых работ между предприятиями дороги в настоящее время.

В 2002 г. объем работ выправочными комплексами с машинами «Дуоматик» и ВПР-02 на текущем содержании пути на Октябрьской ж. д. составлял 1450 км и, согласно данных Службы пути, был выполнен.

Имеется потенциал участия ПЧМ-Тосно в работах текущего содержания и в большем объеме – об этом говорит устойчивая тенденции в распределении работ в пределах одной дороги между ПМС и ПЧМ-Тосно. Все будет зависеть от принятой системы технического обслуживания пути, в основе которой оптимизация расходов по поддержанию пути в исправном состоянии, обеспечивающем требуемую степень надежности работы конструкции.

Учитывая, что в настоящее время «Дуоматик» является основной машиной комплекса и, видимо на ближайшую перспективу, будет основной машиной в системе технического обслуживания текущего содержания пути, ее влияние на выбор варианта системы обслуживания текущего содержания пути будет значимым при всех других влияющих параметрах. Составляющая «Дуоматика» в себестоимости всего комплекса приблизительно равна 80 % и

определяет себестоимость работы всего выправочного комплекса. В свою очередь структуру себестоимости по выправочным комплексам такова, что наибольший удельный вес имеет амортизация, которая составляет 52 % от общей себестоимости, прямые затраты и накладные расходы – 34 % и 14 % соответственно и практически не отличается от себестоимости продукции дистанции пути, где доля амортизации составляет от 55 % до 65 % при прямых затратах в 30 %.

Обобщая анализ себестоимости выправочных комплексов можно сделать следующие выводы:

во-первых, структура себестоимости выправочных комплексов практически не отличается от себестоимости продукции дистанции пути, где доля амортизации составляет от 55 % до 65 % при прямых затратах в 30 %;

во-вторых, себестоимость выправочного комплекса определяется себестоимостью ведущей машиной «Дуоматик»;

в-третьих, учитывая, что на себестоимость комплекса влияет балансовая стоимость, включающая в себя первоначальную и все затраты по вводу машин в эксплуатацию, не целесообразно проводить одиночные закупки.

Подробное рассмотрение влияния технологии предоставления «окон» на выработку машины, и как следствие всего комплекса, позволяет сделать следующие обобщения (по многолетним данным ПЧМ-Тосно Октябрьской ж. д. МПС РФ):

– при ежесуточном предоставлении «окон» увеличение «окна» на один час приводит к увеличению выработки в среднем на 500–600 м. Эта тенденция сохранена в диапазоне продолжительности «окон» от 4 до 8 часов при общей выработке от 2320 до 4650 м (метод сглаживания) и от 1860 до 3720 м (по лазеру);

– при выделении одного «окна» в течение двух суток увеличение «окна» на один час будет приводить к увеличению выработки на 450–500 м при выработке в «окно» от 5520 до 8560 м (метод сглаживания) и от 4420 до 6850 м (по лазеру);

– при выделении одного «окна» в течение трех суток «Дуоматик» имеет выработку от 10700 до 12800 м (метод сглаживания) и от 8560 до 10240 м (по лазеру), т. е. увеличение «окна» на один час приводит к увеличению выработки на 425–525 м.

Таким образом, переход от одного варианта технологии предоставления «окон» к другому дает существенный эффект – увеличивает вы-

работку машины в 2,0 и 1,5 раза, соответственно при переходе от первого варианта ко второму и от второго к третьему. Однако прирост выработки в рамках каждого варианта от увеличения продолжительности «окна» на один час практически одинаков.

При решении задачи по определению зон технического обслуживания текущего содержания пути механизированными комплексами необходимо делать учет наличия непроизводительной части работы машины по времени (порядка 17 %), связанной с различными факторами, основными из которых являются: не предоставление «окон», ремонт и транспортировка машины (практически в равных долях).

Принимая во внимание пятилетний опыт работы ПЧМ-Тосно на Октябрьской ж. д. (механизированные комплексы, имеющиеся в ПЧМ участвуют в выполнении путевых работ всех трех групп: ремонта пути, текущее содержание и реконструкция) и то, что работы по текущему содержанию носят неотложный и плано-предупредительный характер, неравномерно распределены по полигону и имеют различные фронты работ возможно применение *трехуровневой* системы технического обслуживания текущего содержания пути механизированными комплексами.

Первый уровень. Перегонная система технического обслуживания текущего содержания пути механизированными комплексами.

Второй уровень. Участковая система технического обслуживания текущего содержания пути механизированными комплексами.

Третий уровень. Локальная система технического обслуживания текущего содержания пути механизированными комплексами.

В свою очередь каждый уровень будет иметь подварианты систем технического обслуживания, отличающиеся друг от друга по зонам обслуживания и технической оснащенности предприятий, в данном случае ПЧМ и возможно ПЧ, в состав которых входят механизированные комплексы.

Основные подварианты систем:

1. Механизированные комплексы базируются в укрупненной ПЧМ, единственной на дороге.

2. Механизированные комплексы базируются в ПЧМ примерно одинаковой мощности, которые распределены по дороге (по отделениям дорог).

3. Механизированные комплексы базируются в ПЧМ различной мощности и распределены по дороге (по отделениям дорог).

4. Механизированные комплексы с различным комплектом машин базируются в ПЧМ разной мощности и распределены по дороге (по отделениям дорог).

5. Механизированные комплексы с различным комплектом машин базируются в ПЧМ и ПЧ и распределены по дороге (по отделениям дорог).

Трехуровневая система технического обслуживания имеет в основе три варианта организации работ на перегоне.

Первый уровень – работа комплексов на протяжении целых перегонов в «окна» большой продолжительности.

Второй уровень – работа комплексов на отдельных участках в «окна» средней продолжительности и под прикрытием «окон» для выполнения усиленного капитального УК), капитального (К), усиленного среднего (УС) и среднего (С) ремонтов.

Третий уровень – работа комплексов на локальных участках в ежедневно предоставляемые «окна» продолжительностью 3–4 часов и под прикрытием «окон», предоставляемых для работы комплексов по участковой системе технического обслуживания и ремонтов пути.

В настоящее время на Октябрьской ж. д. Работает одна крупная ПЧМ, имеющая в своем составе шесть комплексов с машиной «Дуоматик» и находятся на стадии создания шесть предприятий, условно названные мини-ПЧМ. Опыт работы этих трех мини-ПЧМ, укомплектованных в данный момент машинами ВПР-02 и ПМГ в сезоне 2002 г. показал их полезность и эффективность.

Определение зон технического обслуживания текущего содержания пути механизированными комплексами, для условий Октябрьской ж. д. можно выполнить расчетом, сопоставляя нормативные (перспективные) и фактические (текущие) объемы работ по плано-предупредительной выправке, ориентируясь на среднюю выработку основной машины комплекса по дороге.

Очень важным вопросом является обоснование перечня машин, входящих в механизированные комплексы, особое внимание при этом необходимо уделить механизированным комплексам, предполагаемым для работы по системам технического обслуживания второго и третьего уровня. Вероятней всего, механизированные комплексы, используемые при локальной системе будут состоять из совершенно новых по конструкции машин (аналоги таких машин имеются за рубежом).

Оценку эффективности работы механизированных комплексов по каждой из систем следует выполнять по данным длительных эксплуатационных наблюдений за процессом накопления неисправностей и их ростом по мере наработки тоннажа. Для этого необходимо заложить контрольные и опытные участки (там

где работы ведутся механизированными комплексами), на которых с определенной периодичностью проводить всестороннюю диагностику состояния пути и одновременно фиксировать затраты на поддержание пути в исправном состоянии.

ВПРОВАДЖЕННЯ НОВИХ КОНСТРУКЦІЙ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ НА ЗАЛІЗНИЦЯХ УКРАЇНИ

Аналізуються пройдені етапи і перспективи розвитку конструкцій залізничної колії в умовах формування транспортної системи перевезень України.

Анализируются пройденные этапы и перспективы развития конструкций железнодорожного пути в условиях формирования транспортной системы перевозок Украины.

The passed stages and prospects of the track construction development are analyzed in condition of the shaping the transport system of transportation of the Ukraine.

Розвиток європейської транспортної мережі відіграє важливу роль у формуванні системи перевезень України. У зв'язку з цим, для підвищення конкурентноздатності залізниць, необхідно поліпшити якість роботи колійного господарства, що безпосередньо впливає на техніко-економічні показники роботи галузі.

Для рішення цих важливих питань Головне управління колійного господарства Укрзалізниці надає великого значення розвитку колійного господарства і підвищенню технічного рівня залізниць України відповідно до європейських стандартів для забезпечення швидкісного руху поїздів в умовах збільшення пропускної і провізної спроможностей.

Одним з важливих напрямків розвитку колійного господарства є впровадження нових конструкцій пружних проміжних рейкових скріплень для колії з залізобетонними шпалами замість складної і металоємної конструкції проміжного скріплення типу КБ.

Перші пружні проміжні рейкові скріплення почали застосовуватися на залізницях України в 1996–1997 рр. Однією з перших була конструкція безпідкладочного пружного скріплення типу SB-3 (Польща).

Однак, дослідна експлуатація рейкової колії з пружним проміжним скріпленням типу SB-3 на залізницях України виявила ряд недоліків цієї конструкції, що відомі фахівцям колійного господарства.

З метою підвищення надійності і працездатності пружного безпідкладочного скріплення типу SB-3 фахівцями Науково-конструкторського технологічного бюро колійного господарства Укрзалізниці (НКТБ ЦП УЗ) були проведені певні зміни, що торкнулися всіх елементів цієї конструкції.

Розроблена конструкція безпідкладочного скріплення типу КПП-5 дозволила збільшити надійність і міцність вузла в цілому, що під-

тверджено динаміко-міцностними випробуваннями рейкової колії з рейками типів Р65 і UI60 і скріпленням типу КПП-5. Були також визначені граничні умови для експлуатації таких скріплень.

У липні 2003 року комісією Укрзалізниці проведені приймальні випробування по введенню в серійну експлуатацію пружного безпідкладочного проміжного скріплення типу КПП-5.

В разі впровадження цих скріплень розширена область застосування пружних скріплень при збільшених вантажопотоках змішаного і пасажирського руху поїздів до 25–30 млн т брутто, а також досягнуте значне зниження експлуатаційних витрат на поточне утримання і ремонт колії, особливо для безстиківих ділянок колії збільшеної довжини.

Поряд з розробкою скріплення типу КПП-5, НКТБ ЦП УЗ розробило пружне проміжне рейкове скріплення для залізобетонних шпал типу КПП-12, яке може застосовуватися й у стрілочних переводах, а також типу КППД-2 для колії з дерев'яними шпалами, які розташовані у складних ділянках колії і кривих радіуса 300 м і менше.

НКТБ ЦП УЗ разом із заводами-виготовлювачами розроблена конструкція колії суміщеної колії 1435 мм і 1520 мм на залізобетонних шпалах.

При цьому розроблені і впроваджені у виробництво спеціальні залізобетонні шпали типу Ш2С-1 під безпідкладочне пружне рейкове скріплення типу КПП-5.

Проведені динаміко-міцностні випробування і експлуатаційні спостереження показали надійність і економічність цієї конструкції.

Дослідні ділянки безстикової рейкової колії суміщеної колії 1520 і 1435 мм покладені на Львівській залізниці з епюрою 1840 шт./км і 1520 шт./км.

Попередній аналіз виконаних експлуатаційних і експериментальних випробувань суміщеної рейкової колії 1520 і 1435 мм на залізобетонних шпалах з пружним проміжним скріпленням при зменшеній епюрі укладання шпал 1520 шт./км показав відповідність вимогам до рейкової колії 1520 і 1435 мм і наявність переваг за техніко-економічними показниками, у порівнянні з рейковою колією на дерев'яних шпалах з костильним скріпленням, а також у порівнянні з рейковою колією при епюрі укладання шпал 1840 шт./км із залізобетонними шпалами і пружними проміжними скріпленнями.

При використанні нової технології укладання суміщеної рейкової колії з залізобетонними шпалами і епюрою 1520 шт./км отримана можливість застосування існуючих укладальних кранів по їхній вантажопідйомності, оскільки маса кожної шпали суміщеної колії – 368 кг при масі звичайної залізобетонної шпали – 265 кг.

Основною перевагою конструкції безстикової суміщеної колії з залізобетонними шпалами і пружним проміжним скріпленням є значне збільшення терміну служби колії, а також зменшення витрат на капітальний ремонт і поточне утримання. Позитивним фактором у роботі нової конструкції колії є перерозподіл усіх навантажень у зв'язку з наявністю чотирьох рейкових ниток замість традиційних двох.

У цілому дослідні ділянки суміщеної рейкової колії відповідають вимогам інструкцій ЦП/0050 і ЦП/0081.

НКТБ ЦП УЗ розроблені і затверджені Укрзалізницею «Норми устрою та утримання суміщеної залізничної колії (1520 і 1435 мм) і колії 1435 мм».

НКТБ ЦП УЗ разом з ВАТ «Дніпропетровський стрілочний завод» (ДнСЗ) розробляє нові і удосконалюють існуючі конструкції стрілочних переводів і глухих пересічень.

Розроблені і знаходяться в дослідній експлуатації стрілочні переводи:

- типу Р65 марки 1/9 зі зниженим зносом конструктивних елементів на залізобетонних брусах (пр. 65 109Ж-01.00.000);
- типу Р65 марки 1/11 зі зниженим зносом конструктивних елементів на залізобетонних брусах (пр. 65 111Ж-01.00.000);
- подвійний перехресний типу Р65 марки 1/9 на залізобетонних брусах (пр. 65 109Ж-03.00.000).

Виготовлені ВАТ «Дніпропетровський стрілочний завод» дослідні зразки покладені на всіх залізницях України і в даний час проходять експлуатаційні випробування.

Нові конструкції стрілочних переводів зі зниженим зносом конструктивних елементів на залізобетонній основі і подвійний перехресний стрілочний перевід мають ряд переваг перед старими проектами стрілочних переводів, найважливішими з яких є надійність у роботі і зменшення трудовитрат на поточне утримання, що підтверджується проведеними в даний час експлуатаційними випробуваннями.

НКТБ ЦП УЗ разом з ДнСЗ ведеться робота над проектами стрілочних переводів типу Р65 марки 1/11 безстикового, а також марок 1/11 і 1/18 із хрестовинами з безупинною поверхнею катання. Застосування таких нових конструкцій стрілочних переводів на залізницях України дасть можливість підвищити швидкості руху по них, що є актуальним на даний момент.

Для забезпечення високих швидкостей руху по колії і стрілочним переводам НКТБ ЦП УЗ ведуться експлуатаційні спостереження за покладеними в колію високоміцними клеєболтовими ізолюючими стиками, виготовлених за новою технологією, що дозволяє забезпечити їхню надійність і довговічність.

Проводяться спостереження і експериментальні випробування алюміно-термітного зварювання стиків, що дасть можливість швидко і якісно виконувати роботи з устрою безстикової колії і безстикових стрілочних переводів.

НКТБ ЦП УЗ розробляються нормативні документи на всі конструкції колії і стрілочні переводи, а також на їхні елементи.

Ведуться роботи над новою конструкцією верхньої будови колії на шурупах на залізобетонних шпалах із пружними клемами, що дозволить забезпечити зниження трудовитрат при поточному утриманні колії і підвищення безпеки руху поїздів на ділянках із вантажо-напруженістю до 100 млн т брутто в рік і більше.

Уся діяльність в освоєнні нових технологій у колійному господарстві всіма науковими організаціями і заводами-виготовлювачами, під керівництвом Головного управління колійного господарства Укрзалізниці, спрямована на досягнення високих швидкостей руху поїздів, комфорту і безпеки перевезення пасажирів і вантажів на залізницях України.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ПУТИ

У статті проаналізована сучасна система технічного обслуговування колії і запропоновано удосконалення організації ремонтно-колійних робіт на основі нових показників.

В статье проанализирована современная система технического обслуживания пути и предложено усовершенствование организации ремонтно-путевых работ на основе новых показателей.

The modern system of track service maintenance is analysed and improvement of the organization of track repair works is offered on the basis of new parameters.

В соответствии с действующими нормативами, работы на пути подразделяются на текущее содержание и ремонты. Финансирование каждой из этих групп работ осуществляется из различных источников: текущее содержание за счет расходов по эксплуатации, а ремонты – из соответствующего ремонтного фонда. Такая система сложилась на сети с середины тридцатых годов прошлого века, и вполне обеспечивала требования и условия работы железных дорог того времени. При этом основная часть работ текущего содержания осуществлялась на начальном этапе достаточно многочисленными путевыми бригадами вручную, а на ремонтах пути основной техникой являлись электробалластеры и путеукладчики.

Планирование ремонтных работ вплоть до 1994 г. осуществлялось по нормам межремонтного тоннажа ППР-64, основное назначение которых заключалось в обосновании потребностей путевого хозяйства в Госплане.

В современных условиях в основу оценки потребности в ремонтных работах все в большей степени ложатся данные о фактическом состоянии пути, получаемые с помощью современных информационных технологий, а разнообразный набор путейской техники позволяет в широких пределах варьировать технологиями производства работ для целенаправленного устранения конкретных возникающих расстройств.

В этих условиях на повестку дня встает вопрос о создании единой системы технического обслуживания пути в период между капитальными ремонтами; при этом необходимость выполнения конкретного вида работ определяется наличием и темпом развития соответствующих деформаций пути.

В состав работ по техническому обслуживанию пути должны входить:

- устранение расстройств геометрии рельсовой колеи III и IV степеней и их сочетаний, а также профилактическое (машинизированное) устранение отступлений II степени;

- машинизированное устранение местных локальных расстройств с применением соответствующей техники;

- сплошная выправка положения в пути в плане и профиле современными высокопроизводительными машинами при наличии необходимых условий для производства этих работ;

- выполнение промежуточных ремонтов пути в сроки и в объемах необходимых для обеспечения устойчивой работы пути.

Объемы работ на отдельных участках определяется фактическим состоянием пути, которое в свою очередь, определяется тремя группами факторов:

- зависящими от условий эксплуатации, по развитию которых можно установить определенные закономерности расстройств рельсовой колеи, выхода из строя материалов верхнего строения пути и т. д.;

- не зависящими от параметров эксплуатации, представляющими собой набор принятых постоянных величин в определенных условиях (работы по содержанию земляного полотна, водоотводных и водопропускных сооружений, охрана пути и переездов и т. д.);

- субъективными, определяемыми опытом и квалификацией обслуживающего персонала, наличием материалов и технических средств.

В данной статье рассматриваются факторы, связанные с расстройствами рельсовой колеи. Расстройства геометрических параметров рельсовой колеи, в основном, определяются конструкцией верхнего строения пути и условиями эксплуатации. Например, на рис. 1 представлено влияние пропущенного тоннажа на распределение километров по числу отступлений II степени.

Не менее важными факторами, являются: выполняемые путевые работы и система стимулирования работников дистанций пути.

Например, влияние последнего – фактора стимулирования представлено на рис. 2.

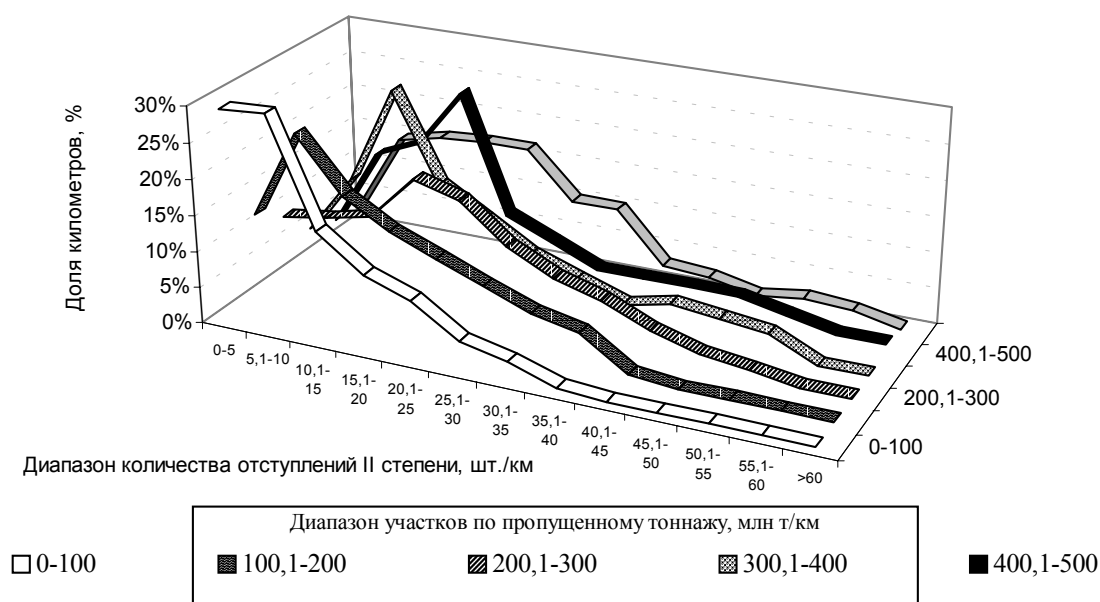


Рис. 1. Процентное распределение среднемесячного количества отступлений II степени в зависимости от пропущенного тоннажа

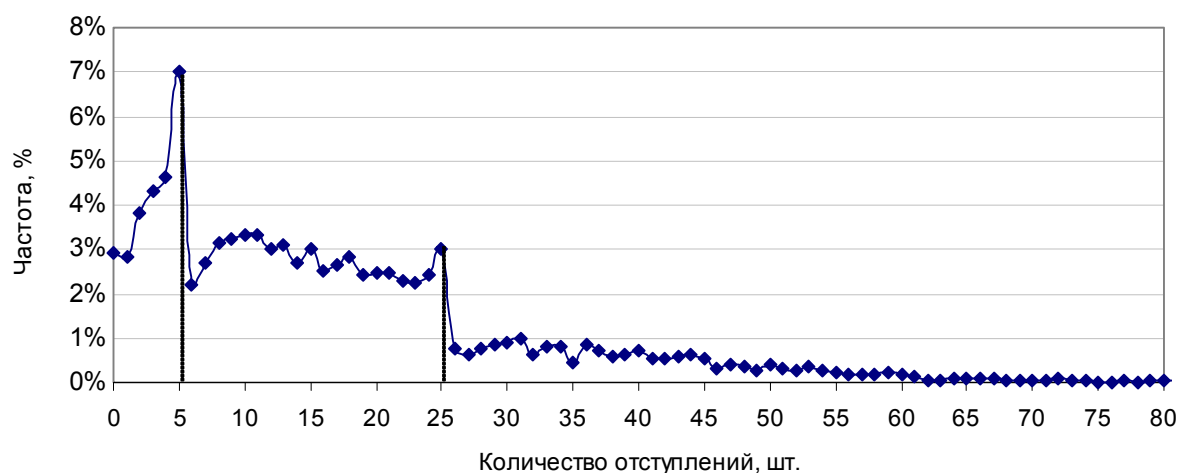


Рис. 2. Распределение среднемесячного количества отступлений II степени

Из графика видно, что характер распределения искажается в точках, соответствующих 5 и 25 отступлениям на километре. Это связано с тем, что эти значения являются границами качественных оценок состояния рельсовой колеи «отлично»–«хорошо» и «хорошо»–«удовлетворительно», и определяются стремлением обслуживающего персонала (в ходе текущего со-

держания) удерживать путь в пределах более высокой оценки.

На текущем содержании пути работы по устранению расстройств пути выполняются, как правило, вручную, либо с помощью электроинструмента, и лишь иногда с помощью машин.

Технология работ вручную с устранением отдельных расстройств пути ведет свое начало

с первого периода эксплуатации железных дорог. Путь легкого типа должен был постоянно находиться под наблюдением; численность путевых бригад составляла тогда 3–4 человека на километр пути.

По мере увеличения мощности пути численность контингента, естественно, стала сокращаться, однако технология устранения расстройств пути оставалась неизменной, вплоть до появления машин, применение которых на ремонтах пути повысило уровень механизации до 65–80 %, а на текущем содержании – 10–20 %, в зависимости от вида выполняемых работ.

Выправка пути в профиле включает в себя устранение отступлений по уровню, перекосов и просадок. Устранение таких отступлений производится следующими вариантами: укладкой наспальных (ДО) или подрельсовых (КБ) прокладок; подбивкой пути с подъемкой на соответствующую величину с помощью ручных подбоек; аналогично вручную с помощью ЭШП; методом суфляжа, и в ряде случаев – с помощью машин типа ВПР.

На чистом балласте укладка наспальных (подрельсовых) прокладок позволяет ликвидировать в первую очередь просадки и перекосы без нарушения балластной постели и может при качественном выполнении работ обеспечить стабильное положение пути до производства планово-предупредительной выправки с их снятием.

Применение суфляжа обеспечивает достаточно быструю и малотрудоемкую выправку, однако ее качество в значительной мере определяется квалификацией производственного персонала и степенью загрязнения балластной призмы. Основное достоинство данной технологии состоит в сохранении целостности балластной постели.

Из ручных способов устранения отступлений наибольшее распространение получила выправка пути с помощью электрошпалоподбоек. Этот способ позволяет получить приемлемые результаты на чистом балласте, но неэффективен на участках с выплесками, где требуется замена балластного слоя.

Выправка пути ручными подбойками при щебеночном балласте мало эффективна и способна дать только кратковременный эффект, хотя в силу малочисленности путевых бригад метод имеет достаточно широкое распространение.

Сравнительная оценка эффективности устранения отдельных расстройств геометрии рельсовой колеи вручную приведена табл. 1. Данные получены на основании обработки результатов выборочных наблюдений в местах производства работ с различных эксплуатационных участков; эффективность оценивалась по относительной продолжительности действия результата проведенных работ.

Таблица 1

Вид работ по выправке	Конструкция пути	Условная эффективность	Влияющие факторы
Укладка регулировочных прокладок	Р65 ж. б. КБ Р65 Д ДО	1,0–0,9	Материал прокладок
Подбивка ручными подбойками	Р65 ж. б. Р65 Д	0,2–0,3	Вид и состояние балласта
Подбивка ЭШП с подъемкой	То же	0,4–0,7	В зависимости от качества выполнения работ
Суфляж	Р65 Щ	0,5–0,6	В зависимости от опыта работников

Приведенные данные отчетливо показывают, что, как с точки зрения трудоемкости, так и качества работ, наиболее эффективным является устранение отступлений ГРК за счет промежуточных скреплений, если их конструкция позволяет производить такие работы.

Возникающие локальные расстройства пути (в том числе отступления геометрических

параметров рельсовой колеи) связаны в первую очередь с нарушениями в самой его конструкции. Особенность *локальности* заключается в том, что при стабильности всего участка имеются всплески нестабильности отдельных отрезков пути в одинаковых условиях эксплуатации.

Возникновение локальных расстройств пути носит случайный характер, хотя конструкцион-

но их появление зачастую предопределено следующими причинами:

- дефектами земляного полотна, балластной призмы и материалов верхнего строения пути;

- нарушениями в технологии выполнения работ на текущем содержании.

Отметим, что расстройства геометрических параметров рельсовой колеи могут являться как причиной возникновения локальных неисправностей, так и их следствием. Этим объясняется необходимость включения работ по устранению локальных расстройств ГРК в общий состав работ по устранению локальных неисправностей.

По обобщенным результатам исследований состава путевых работ, проведенных во ВНИИЖТе, в ВУЗах и на дорогах от 30 % до 50 % всего объема работ приходится на устранение выплесков, особенно в зоне стыков.

Задачи оздоровления зоны стыков и устранения выплесков составляют наиболее масштабную проблему существующего текущего содержания.

Таким образом, список работ по механизированному устранению локальных расстройств на коротких отрезках пути, в общем виде, будет следующим: ремонт и замена негодных шпал; ремонт и замена негодных креплений; замена загрязненного балласта (на выплесках, в стыках и т. д.); правка рельсов в стыках; механизированная выправка выборочная или на месте устранения дефектов конструкции ВСП.

В настоящее время, на ряде участков с мощным верхним строением (в т. ч. с бесстыковым путем) сложились сравнительно легкие условия эксплуатации с невысокой грузонапряженностью, при этом из строя выходят только отдельные элементы конструкции (например, крепления железобетонных шпал).

В этих условиях полная замена рельсошпальной решетки далеко не во всех случаях является экономически целесообразным мероприятием. Поэтому необходимо рассмотреть вопрос о применении специализированных видов ремонтных работ, направленных на оздоровление отдельных выходящих из строя элементов верхнего строения с выправкой (при необходимости) геометрии рельсовой колеи.

Для устранения отступлений в продольном профиле (просадки, перекосы, отступления по уровню) необходимо приступить к разработке технологии и технических средств для пневмо-суфляжа, позволяющих, как показывает зару-

бежный опыт, устранять небольшие отступления без нарушения постели шпал.

Для устранения отступлений, связанных с выходом из строя элементов верхнего строения пути, нужны машины локального действия, способные выполнить следующие операции: вырезку загрязненного балласта в нескольких шпальных ящиках (например, в зоне стыка); замену отдельных узлов промежуточных креплений на железобетонных шпалах; замену отдельных шпал; устранение отдельных отступлений в плане и профиле, как в пути, так и на стрелочных переводах; балластировку локальных участков; стабилизацию локально выправленных участков, с помощью министаблизаторов.

Эти машины призваны заполнить нишу между работами, выполняемыми в ходе ППВ и промежуточных ремонтов с одной стороны и работами, выполняемыми вручную или с помощью малой механизации с целью минимизации последних.

Для устранения отдельных отступлений по геометрии рельсовой колеи механизированная выправка, как правило, не применяется вследствие неэффективности использования высокопроизводительных машин на локальных участках. Поэтому, одной из важнейших задач в настоящее время является создание облегченных машин, предназначенных для быстрого устранения отдельных отступлений на уплотненном балласте с высокой скоростью перемещения по пути. Появление таких машин – необходимость, которая вызвана не только требованием повышения качества выправочных работ, но и реорганизацией линейных подразделений с последующим укрупнением обслуживаемых границ и уменьшением контингента.

В общем виде, эффективность устранения отдельных отступлений определяется следующим выражением:

$$N_{II} + \Delta N_{II} \Gamma_t - \sum n < [N],$$

где N_{II} – среднее количество отступлений II степени за 2–3 месяца перед принятием решения, шт./км;

ΔN_{II} – интенсивность прироста отступлений II степени по участку по данным за предыдущий год или предшествующий период, шт./млн. т;

Γ_t – тоннаж, который пройдет по участку до начала зимнего периода, млн. т. км/км;

$\sum n$ – суммарное количество отступлений, устраняемых в ходе механизированного технического обслуживания пути за месяцы, оставшиеся до зимнего периода, шт./км;

$[N]$ – допускаемое количество отступлений (без учета отступлений по ширине колеи), шт./км.

При известных начальных условиях: количестве отступлений II степени и интенсивности их прироста, задаваясь числом отступлений,

Пропущенный
тоннаж, млн. т



Рис. 3. Схема увеличения межремонтного срока за счет механизированного устранения локальных расстройств рельсовой колеи ($\sum N=\{21; 30\}$)

Расчетом технико-экономических показателей (в соответствии с действующими методическими рекомендациями) установлено, что комплекс машин по устранению локальных отступлений в условиях дистанции пути может окупиться за 5 лет, если его стоимость не превысит 26,9 млн руб., а при сроке окупаемости 10 лет – 43,6 млн руб. (при соотношении эффективности механизированного устранения к ручному 1:3).

Анализ приведенных данных показывает, что, варьируя числом устраняемых в квартал отступлений от 5 до 15 штук можно в большинстве случаев добиться дополнительного пропуска по пути до 40 и более млн т. В условиях среднесетевой грузонапряженности это эквивалентно перенесению сроков сплошной выправки пути, как минимум, на один год.

устраняемых в ходе одиночного их устранения, можно определить пропускаемый по пути тоннаж, на который увеличится период до момента необходимости проведения сплошной выправки пути.

Результаты расчетов представлены диаграммой на рис. 3.

Выводы. Единая система технического обслуживания должна включать в себя весь спектр работ текущего содержания и промежуточных ремонтов.

Организация ремонтно-путевых работ при техническом обслуживании пути должна базироваться на показателях:

- фактического состояния, учитывающих интенсивность расстройств пути, в том числе геометрические параметры рельсовой колеи;
- эффективности применяемых технологий и технических средств;
- введением механизированных комплексов для устранения локальных расстройств пути.

Применение специализированных комплексов для устранения локальных неисправностей безусловно повысит и производительность и качество работ по техническому обслуживанию пути.

В. В. РИБКІН, М. Б. КУРГАН, Д. М. КУРГАН (ДПТ),
В. І. ХАРЛАН (Придніпровська залізниця)

РАЦІОНАЛІЗАЦІЯ ПЕРЕБУДОВИ КРИВИХ В ПЛАНІ ПРИ ПІДВИЩЕННІ ШВИДКОСТЕЙ РУХУ ПОЇЗДІВ

Запропонований підхід перебудови кривих в плані базується на мінімізації дії вантажного рухомого складу на колію і комфортальній їзді пасажирів при впровадженні швидкісного руху.

Предложен подход переустройства кривых в плане, который основывается на минимизации действия грузового подвижного состава на путь и комфортабельность езды пассажиров при введении скоростного движения.

The approach of a reorganization of curves in the plan which is based on minimization of action of a cargo rolling stock for a way and comfortableness of passengers driving at introduction of high-speed movements is offered.

Загальні положення. Постановка задачі

Сьогодні в Україні ведеться активна робота щодо організації швидкісного залізничного сполучення, поліпшується якість обслуговування пасажирів. Укрзалізниця має Програму впровадження прискореного руху пасажирських поїздів на 2002–2006 рр. – «Столичний експрес». Згідно Програми в липні 2002 р. був уведений в експлуатацію денний швидкісний пасажирський експрес сполученням Харків–Київ, а з 1 серпня почав курсувати швидкісний поїзд сполученням Дніпропетровськ–Київ.

Досягти установленної маршрутної швидкості 100 км/год тільки за рахунок організаційно-технологічних заходів (перерозподіл поїздопотоків на мережі, вдосконалення графіка руху

поїздів, раціонального використання наявних технічних засобів) неможливо. Необхідно було впровадити й більш дорогі заходи – модернізацію залізниці, що включала заміну верхньої будови колії, штучних споруд та інших пристроїв залізниці, а також провести реконструктивні роботи пов'язані, перш за все, з перебудовою кривих.

Щоб визначитись з необхідними заходами щодо модернізації й реконструкції тих чи інших ділянок залізниці був проведений аналіз технічного стану, параметрів поздовжнього профілю й плану залізниці. У якості прикладу на рис. 1 і 2 наведена загальна характеристика профілю й плану лінії Київ–Дніпропетровськ.

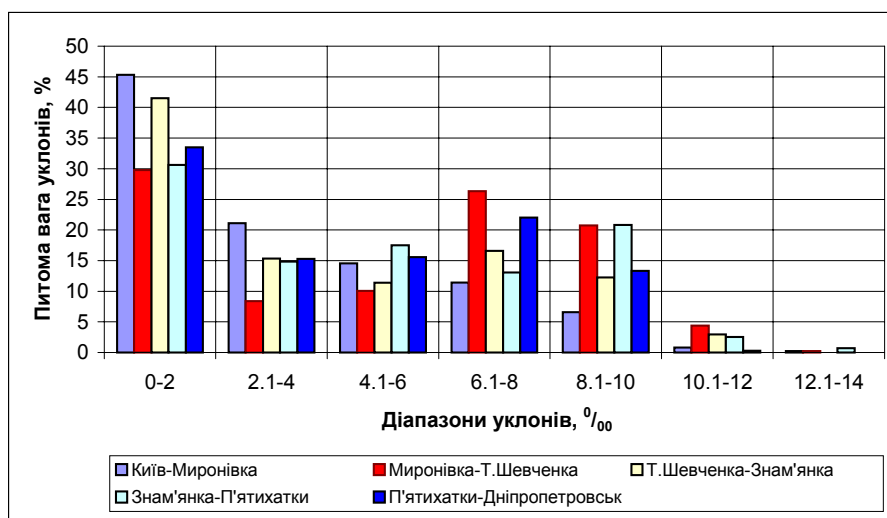


Рис. 1. Гістограма розподілу уклонів

Як видно з рис. 1, найбільш складними за профільними умовами є ділянки Миронівка–Т. Шевченко і Знам'янка–П'ятихатки–Дніпропетровськ, де питома вага уклонів більших за 4 ‰ становить 50 % і більше. Зменшуючи масу

поїзда, навіть при існуючих електровозах, можна вирішити задачу підвищення максимальної швидкості. Більш серйозною сьогодні є задача підвищення швидкості руху в кривих.

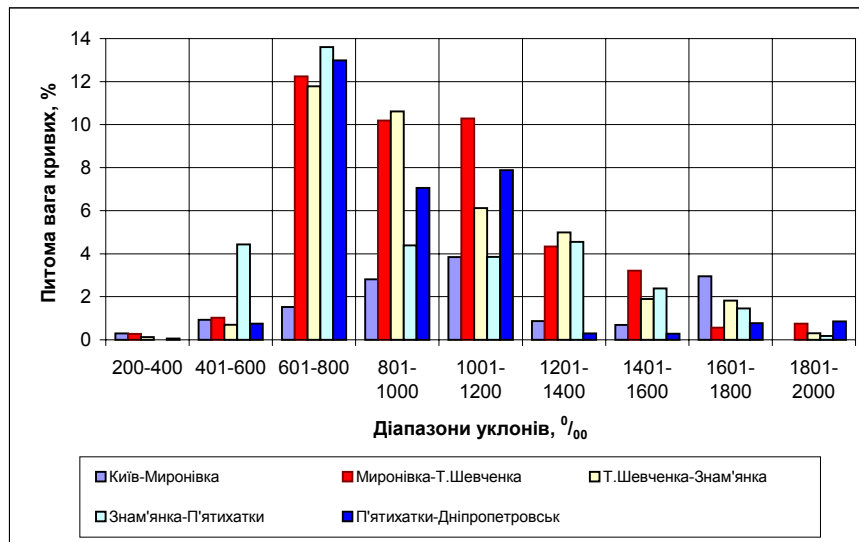


Рис. 2. Гістограма розподілу кривих

З рис. 2. видно, що найскладнішими з точки зору плану лінії (протяжність кривих з радіусами менше 1500 м) є ділянки Миронівка – Т. Шевченка (42 %) і Т.Шевченка – Знам'янка (36 %). Не набагато кращий план на інших ділянках, за виключенням першої. На етапі впровадження максимальної швидкості 140 км/год (прискорений рух) на всьому напрямку було заплановано уположити більше 20-ти кривих, в тому числі 8 – на ділянці Придніпровської залізниці Дніпропетровськ–П'ятихатки.

Ліквідація таких бар'єрних місць як криві, поставила перед практиками і науковцями задачу обґрунтування параметрів плану лінії (мінімального радіуса, підвищення зовнішньої рейки, довжини перехідних кривих і прямих вставок між суміжними кривими) в залежності від структури поїздопоту, рівня максимальної швидкості та ін. факторів.

Існуюча методика визначення мінімального радіусу

У нормативному документі, що діє до теперішнього часу в Україні [1] у п. 2.13 сказано «Величину наименьшего радиуса кривых при усилении (реконструкции) существующих железных дорог следует устанавливать в зависимости от намечаемых скоростей движения пассажирских и грузовых поездов и величины радиусов существующего пути». Фактично на цьому вичерпуються рекомендації, що стосуються реконструкції існуючих залізниць. Не дають відповіді на це питання і будівельно-технічні норми Російської Федерації [2].

Методика визначення мінімальних радіусів кривих за умов забезпечення міцності і стійкості

ті колії і рухомого складу, безпеки руху й комфорту пасажирів викладена в роботі проф. Єршкова О. П. [3]. Дотримання цих умов описується трьома розрахунковими формулами:

– забезпечення однакової вертикальної силової дії на обидві рейкові нитки від сумарного потоку поїздів

$$\sum Q_i^{30B} = \sum Q_i^{BH}; \quad (1)$$

– неперевищення непогашених прискорень, спрямованих від центру кривої при проходженні найбільш швидкого поїзда

$$\alpha_{\text{нп пас}} \leq [\alpha_{\text{нп}}]_{30B}; \quad (2)$$

– обмеження непогашених прискорень, спрямованих усередину кривої при проходженні вантажного поїзда з найменшою швидкістю

$$\alpha_{\text{нп вантаж}} \leq [\alpha_{\text{нп}}]_{\text{BH}}. \quad (3)$$

Зі спільного вирішення умов (1) і (2), одержуємо формулу для визначення $R_{\min}$

$$R_{\min \text{ рек}} = \frac{V_{\text{макс пас}}^2 - kV_{\text{серез}}^2}{3,6^2 [\alpha_{\text{нп}}]_{30B}}, \quad (4)$$

де $V_{\text{серез}}$ – середньозважена швидкість поїздопоту [4]; k – коефіцієнт, що враховує зміщення центру ваги екіпажу в зовнішню сторону по відношенню до осі кривої.

Формула (4) не враховує динаміку перевезень. При збільшенні на швидкісних залізницях питомої ваги пасажирського руху зростає середньозважена швидкість $V_{\text{серез}}$, а величина $R_{\min}$ зменшується. Недоліком вище викладеного

підходу є й те, що швидкості поїздів різних категорій у місці розташування кривої задаються детермінованими [5].

Доповнення до існуючої методики визначення мінімального радіуса

Як показав аналіз, фактичні швидкості руху поїздів є випадковими величинами [4]. Щоб дослідити вплив усього спектра швидкостей від мінімальних до максимальних на величину підвищення зовнішньої рейки, за даними швидкостемірних стрічок вантажних і пасажирських поїздів були побудовані графіки розподілу швидкостей [6]. На рис. 3 показаний фрагмент такого розподілу.

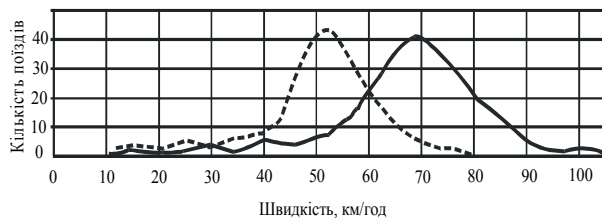


Рис. 3. Розподіл швидкостей руху (сувільна лінія відповідає пасажирському, а пунктирна – вантажному руху)

Аналіз статистичних даних показав, що розподіл швидкостей руху поїздів у одному перетині колії для всіх поїздів даного типу (однакові вантажі) наближається до нормального закону. Оцінка відхилень емпіричного розподілу від нормального за критеріями згоди показала, що в більшості вибірок ці відхилення не значимі, і в подальших розрахунках можна використовувати теоретичні криві розподілу швидкостей [6].

Для прогнозування розподілу швидкостей на ділянках залізниць, де передбачається введення швидкісного руху поїздів, можна використовувати теоретичні криві по типу таких, які представлені на рис. 3.

Максимальні значення швидкостей за таким розподілом (див. рис. 3) установлюються тяговими розрахунками, а середньоквадратичне відхилення приймається за результатами статистичної обробки швидкостемірних стрічок [4], тобто приблизно таким, як до реконструкції залізниці. Розрахунки показують, що в більшості випадків величина середньоквадратичного відхилення складає 10–17 км/год.

Таким чином, потік поїздів представляється у вигляді тривимірної поверхні, що є апроксимуючою для реального розподілу мас і швидкостей поїздів [7]. Така поверхня описується

рівнянням $N = f_F(V, Q)$, що визначає кількість поїздів для заданої швидкості й маси. Сумарний вплив потоку поїздів на колію визначається за формулою

$$F = \int_{Q_{\min}}^{Q_{\max}} \int_{V_{\min}}^{V_{\max}} Q \cdot f_{\alpha}(V, R, h) \cdot f_F(V, Q) dV dQ, \quad (5)$$

де $f_{\alpha}(V, R, h)$ – непогашене поперечне прискорення, що залежить від швидкості і параметрів кривої (радіуса й підвищення).

З метою наближення функції f_F до реальних умов експлуатації, потік поїздів розбивається на категорії, для кожної з яких задаються параметри законів розподілу. Наприклад, у роботі [7] вантажні поїзди представлені в наступних видах: повносоставні (під час перевезення легких вантажів маса рухомого складу обмежується корисною довжиною приймально-відправних колій) і повновагомні поїзди (їхня маса обмежена потужністю локомотива при русі по керівному підйому). Крім того, враховуються приміські та поїзди інших категорій.

При визначенні оптимального підвищення в кривій вирішується наступна система рівнянь:

$$F(h) \rightarrow \min; \quad (6)$$

$$f_{\alpha}(V_{\max}, R, h) \leq [\alpha]_{\text{нр}}; \quad (7)$$

$$f_{\alpha}(V_{\max}, R, h) \geq [\alpha]_{\text{вн}}. \quad (8)$$

де $F(h) \rightarrow \min$ – мінімальна сумарна дія поперечних сил на колію в кривій. Останнє забезпечується в тому випадку, коли виконується умова

$$\sum n_i Q_i \alpha_{\text{нр}(i)} \rightarrow \min,$$

де $n_i, Q_i, \alpha_{\text{нр}(i)}$ – число, маса і непогашені прискорення, що реалізуються поїздом i -ї категорії.

Знаючи план лінії, можна сформулювати вимоги до структури поїздопотіку і швидкостям руху всіх категорій поїздів.

Відповідно до формул (6–8) в ДПТі розроблена програма з використанням імовірного моделювання поїздопотіку. В результаті розрахунків визначаються мінімально рекомендуємий радіус $R_{\text{мілрек}}$ (за умови 6) і мінімально допустимий радіус $R_{\text{мілдоп}}$ (за умов 7 і 8), а також встановлюється відповідне підвищення зовнішньої рейки.

Визначення підвищення зовнішньої рейки в кривій за умови оптимальної роботи колії

Підвищення зовнішньої рейки в кривих забезпечує приблизно однакове вертикальне навантаження рейкових ниток, дозволяючи при цьому зменшити величини направляючих, бічних і рамних сил і тим самим знизити вплив на колію і забезпечити умови комфортабельної їзди пасажирів. Щоб підтвердити цю тезу, при виконанні розрахунків була використана математична модель і програма обчислень, розроблені лабораторією динаміки і міцності рухомого складу ДПТА.

Так як на існуючих міжнародних транспортних коридорах має місце суміщений вантажний і пасажирський рух поїздів, то виконувалось моделювання просторових коливань як для вантажного, так і для пасажирського вагонів.

В якості приклада в табл. 1 приведені значення сумарних бічних сил, що виникають при русі вантажного вагона в кривій радіусом 700 м.

Таблиця 1

Сумарні бокові сили при русі вантажного вагона в кривій радіуса 700 м

Підвищення зовнішньої рейки, мм	Сумарні бокові сили, кН, при швидкості руху, км/год			
	40	60	80	100
30	160,23	130,81	155,21	203,96
60	144,20	117,65	140,71	186,22
90	124,54	107,82	127,98	170,98
120	114,25	108,44	114,65	156,21
150	109,56	110,56	110,15	142,30

За даними табл. 1 побудовані графіки залежності сумарних бокових сил від швидкості руху при різних значеннях підвищення зовнішньої рейки, рис. 4.

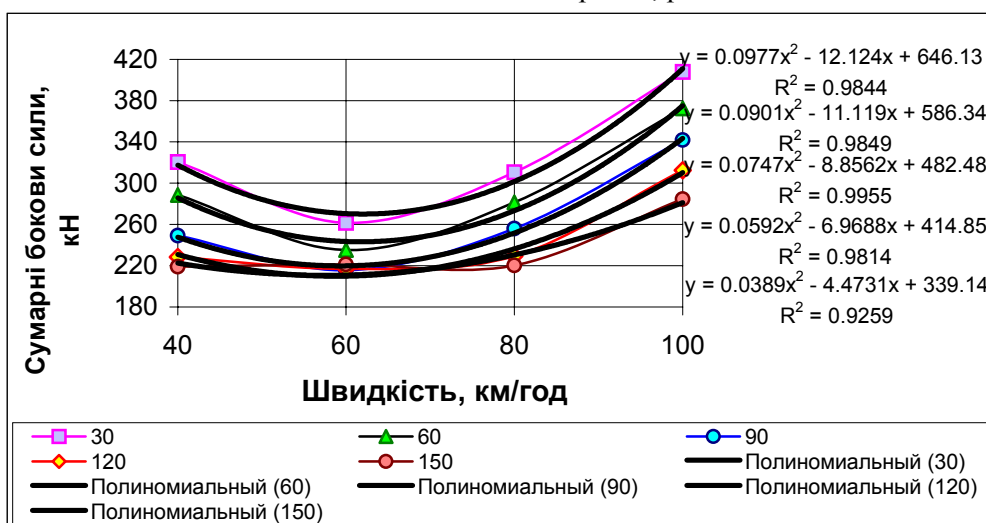


Рис. 4. Залежність сумарних бокових сил від швидкості руху

Аналіз графіків показав, що при певних рівнях швидкості і підвищенні зовнішньої рейки при русі екіпажа по кривій має місце мінімум дії на колію сумарних бокових сил. Середня бокова сила, що діє на відрізок колії може бути представлена у вигляді

$$HB_{\text{сер}}(h) = \int_{\underline{V}}^{\overline{V}} HB(V, h) f(V) dV.$$

Залежність бокової сили від швидкості руху і підвищення зовнішньої рейки можна представити у вигляді полінома (див. рис. 4)

де

$$HB(V, h) = aV^2 + bV + c, \quad (9)$$

$$a = a_1h^2 + a_2h + a_3; \quad b = b_1h^2 + b_2h + b_3;$$

$$c = c_1h^2 + c_2h + c_3.$$

В результаті виконаної апроксимації отриманих при моделюванні даних, були встановлені залежності $HB(V, h)$ і побудовані графіки шуканих коефіцієнтів a, b, c , рис. 5–7.

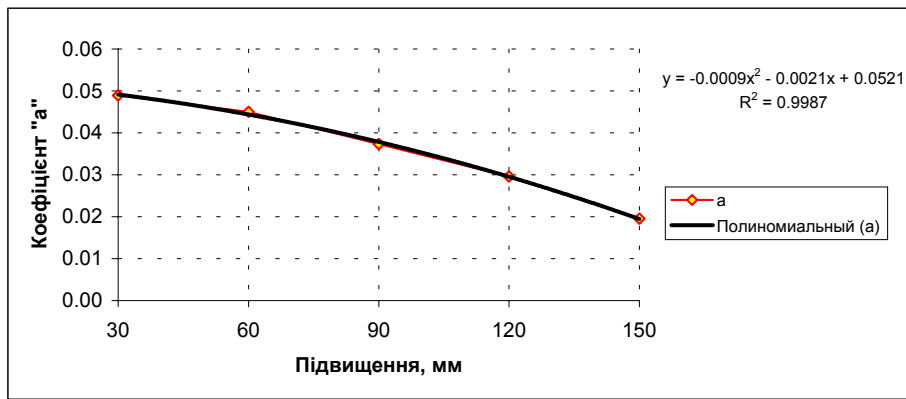


Рис. 5. Графік залежності коефіцієнта $a(h)$

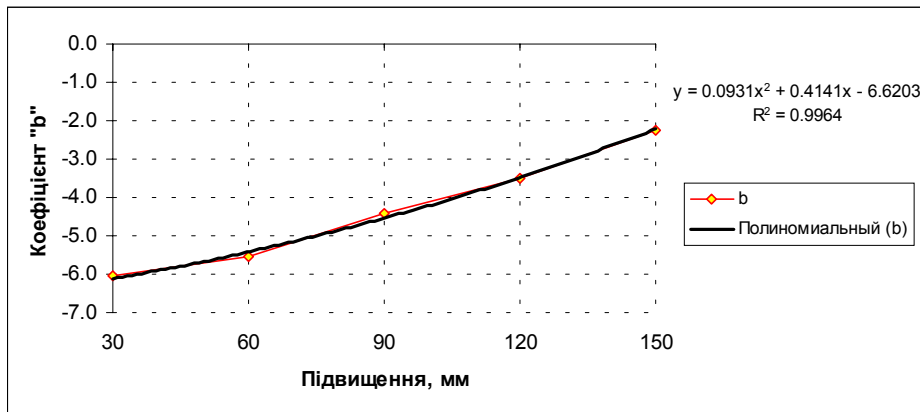


Рис. 6. Графік залежності коефіцієнта $b(h)$

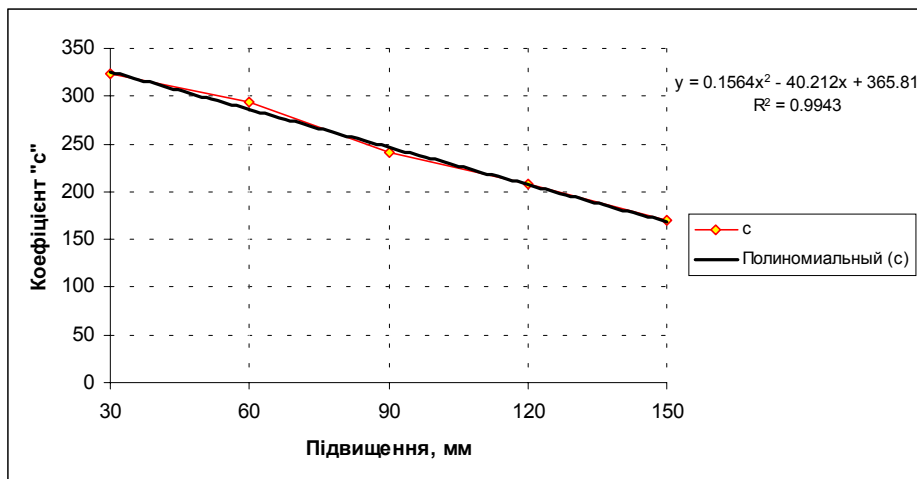


Рис. 7. Графік залежності коефіцієнта $c(h)$

Значення отриманих коефіцієнтів a, b, c для рівняння $HV = ah^2 + bh + c$ приведені в табл. 2

У результаті проведених розрахунків отримана аналітична залежність функції (9), використовуючи яку були встановлені значення бокових сил, табл. 3.

Аналіз даних табл. 3 показав, що отримані в результаті моделювання бокові сили можна представити у вигляді аналітичних залежностей з похибкою в основному до 5%, що знаходиться у межах точності розрахунків.

Таблиця 2

Значення коефіцієнтів a, b, c

Підвищення зовнішньої рейки, мм	Коефіцієнти рівняння $HV = ah^2 + bh + c$		
	a	b	c
30	0,048856	-6,06192	323,0635
60	0,045037	-5,55965	293,1680
90	0,037325	-4,42810	241,2420
120	0,029606	-3,48443	207,4235
150	0,019469	-2,23658	169,5715

Таблиця 3

Співставлення фактичних і розрахункових бокових сил

Підвищення зовнішньої рейки, мм	Швидкість, км/год	Бокові сили, кН		Відхилення, %
		фактичні	розрахункові	
30	40	160,23	158,76	1,48
	60	130,81	135,23	-4,42
	80	155,21	150,79	4,42
	100	203,96	205,43	-1,47
60	40	144,20	142,84	1,36
	60	117,65	121,72	-4,07
	80	140,71	136,64	4,07
	100	186,22	187,58	-1,36
90	40	124,54	123,84	0,70
	60	107,82	109,93	-2,11
	80	127,98	125,87	2,11
	100	170,98	171,68	-0,70
120	40	114,25	115,42	-1,17
	60	108,44	104,94	3,50
	80	114,65	118,15	-3,50
	100	156,21	155,04	1,17
150	40	109,56	111,26	-1,70
	60	110,56	105,46	5,09
	80	110,15	115,25	-5,09
	100	142,30	140,60	1,70

З використанням стандартної програми Maple 7 була виконана мінімізація функції (9) і встановлено, що мінімальний вплив на колію від сумарної дії всіх бокових сил (для розглянутого прикладу) матиме місце при швидкості руху вантажного поїзда в кривій радіусом 700 м близько 60 км/год з встановленим підвищенням зовнішньої рейки 130 мм.

У результаті моделювання і проведених розрахунків встановлено, що співвідношення швидкостей руху і діапазон їхньої зміни по кожній категорії поїздів має важливе значення для встановлення підвищення зовнішньої рейки і розрахунку довжини перехідної кривої, а також для визначення рівня динамічного впливу поїздів на колію. Раніше вважалося [3], що мінімум бічного впливу рухомого складу на колію в кривих буде при непогашених відцентрових прискореннях $\alpha_{\text{нп}} \rightarrow 0$. Таке ствердження справедливе тоді, коли екіпаж розглядається спрощено у вигляді матеріальної точки чи відрізка, що рухається по геометрично плавних кривих.

Моделювання процесу взаємодії рухомого складу і колії в кривих ділянках показав, що при врахуванні таких факторів як пружність ресорного підвішування, нерівностей на колії і колесах рухомого складу, віджатіє рейкових ниток під навантаженням, наявність зазорів між гребенями коліс і рейками, що приводить до здвигу центра тяжіння екіпажу відносно вісі колії, оптимум функції сумарних бічних сил має місце при менших значеннях швидкості руху, ніж за умовою $\alpha_{\text{нп}} = 0$, рис. 8. Дані зіставлення швидкостей руху приведені в табл. 4. Слід звернути увагу, що підвищення зовнішньої рейки, знайдене за умови оптимальної взаємодії рухомого складу й колії не є остаточним вирішенням проблеми.

Таблиця 4

Зіставлення швидкостей руху в кривій радіуса 700 м за умови мінімальних непогашених прискорень і бічного впливу на колію

Показники	Підвищення, мм				
	30	60	90	120	150
Швидкість, км/год при $\alpha_{\text{нп}} = 0$, (рис. 7)	45	60	72	83	93
Швидкість, км/год при сумарних бічних силах $\sum HV \text{ min}$, (рис. 3)	60	62	64	66	70
Зміна швидкості, %	25,0	3,2	-12,5	-25,8	-32,9

При призначенні більшого підвищення ніж розрахованого за умови (9) не забезпечується рівність силового впливу від потоку поїздів на рейкові нитки в кривих, що можна допустити з метою пропуску швидкісних поїздів. При цьому в кривих радіусів менших за 800...900 м може бути збільшена швидкість руху поїздів і зменшена вартість пробігу поїзда, рис. 9

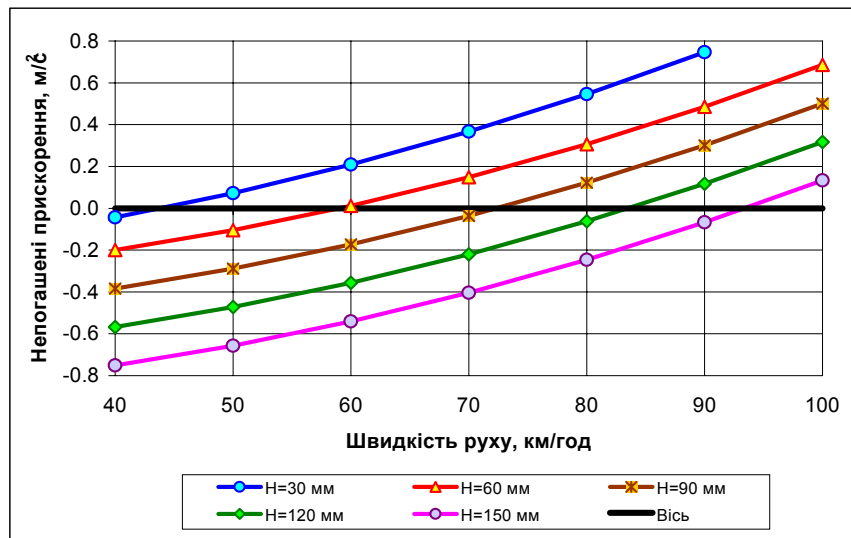


Рис. 8. Зміна непогашених поперечних прискорень в кривій радіуса 700 м в залежності від швидкості руху і підвищення зовнішньої рейки

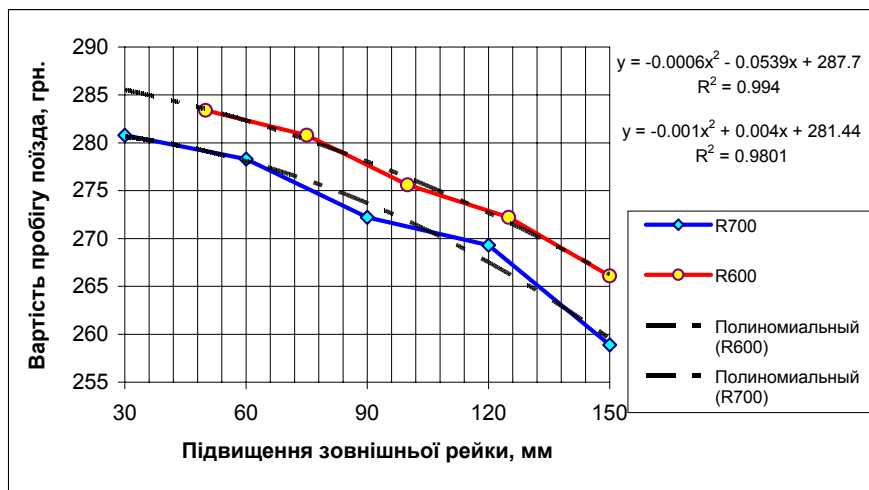


Рис. 9. Графіки вартості пробігу поїзда в залежності від встановленого підвищення зовнішньої рейки в кривих радіусом 600 і 700 м

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Строительные нормы и правила. Железные дороги колеи 1520 мм. СНиП II-39-76. М.: Стройиздат, 72 с.
2. Строительно-технические нормы Министерства путей сообщения Российской Федерации. Железные дороги колеи 1520 мм. СТН Ц-01-95. М., 1995. – 86 с.
3. Высокоскоростное движение (на железных дорогах) / Под ред. Н. В. Колодяжного. – М.: Транспорт, 1976. – 416 с.
4. Правила визначення підвищення зовнішньої рейки і встановлення допустимих швидкостей в кривих ділянках колії. – Д.: Арт-Прес, 1999. – 44 с. (ЦП-0056)

5. Курган Н. Б., Курган Д. Н., Рыбачок П. И. Определение минимального радиуса кривых в плане для достижения проектных скоростей // Залізничний транспорт України. – 1999. № 2. – С. 2–4.
6. Орловский А. Н., Цыганенко В. В., Воробейчик Л. Я., Патласов А. М. Определение возвышения наружных рельсов в кривых по фактическим скоростям движения поездов // Залізничний транспорт України. – 1999, № 4. – С. 10–12.
7. Блохин Е. П., Кирпа Г. Н., Корженевич И. П., Курган Н. Б. Определение параметров плана линии при организации скоростного сообщения Западной Европа-Львов // Транспорт / Зб. наук. праць ДПТУ. Вип. 6. Д.: Арт-Прес, 2000. – С. 21–28.

КРИТЕРИИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДОПУСКАЕМОЙ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ В КРИВЫХ

Проаналізовані наявні критерії визначення допустимої швидкості руху в кривих, вказані напрямки розвитку при розгляданні швидкісного руху.

Проанализированы существующие критерии определения допускаемой скорости движения в кривых, указаны направления развития при рассмотрении скоростного движения.

The existing criteria of admitted speed definition of movement in curves are analysed, directions of development are specified by consideration of high-speed movement.

Для определения допускаемой скорости движения в кривых на железных дорогах Украины в настоящее время руководствуются инструкцией ЦП-0056 [1]. В качестве основных критериев используются три: непогашенное ускорение – $\alpha_{\text{нп}}$, м/с^2 , скорость изменения непогашенного ускорения – Ψ , м/с^3 и скорость подъема колеса по отводу возвышения наружного рельса – f , мм/с .

Определению максимально допустимых значений перечисленных критериев посвящено большое количество исследований. Для пассажирских поездов согласно [1] принято максимальное непогашенное ускорение $0,7 \text{ м/с}^2$ при движении по одиночным кривым и $0,4 \text{ м/с}^2$ для сопряженных кривых без переходной кривой; скорость нарастания непогашенного ускорения – $0,6 \text{ м/с}^3$, а для многорадиусных кривых, направленных в одну сторону, и для сопряженных кривых без переходной кривой – $0,3 \text{ м/с}^3$; допустимая скорость подъема колеса по отводу возвышения $28\text{--}35 \text{ мм/с}$.

История выбора и виды критериев для оценки плавности и комфортабельности пассажиров при движении в кривой подробно описана в работе проф. Ершкова О. П. [2]. Там же дан широкий обзор критериев, используемых в ряде других стран.

Опыт эксплуатации показал, что выше приведенные критерии являются не только характеристиками плавности хода и условий комфортабельности езды пассажиров, но и в существенной степени отражают уровень динамического воздействия на путь. Предложен и ряд других критериев, которые применяются при выполнении различных расчетов, однако не являются определяющими. Так, для оценки внезапного изменения поперечных ускорений Δ определяют относительное изменение непогашенного ускорения в рассматриваемом сечении и потерю кинетической энергии при ударе

набегающего колеса в наружный рельс [3]. Может оцениваться полное поперечное горизонтальное ускорение, которое согласно [4] не должно превышать значение $1,7 \text{ м/с}^2$.

Проф. Г. М. Шахунянц в работе [5] для оценки комфортности езды пассажира предлагает использовать полное ускорение, действующее на пассажира $\alpha_{\text{полн}}$, которое складывается из поперечного, возникающего при движении по окружности, вертикального – при движении по кривым в вертикальной плоскости и по переломам продольного профиля и продольного ускорения, связанного с процессами торможения и разгона

$$\alpha_{\text{полн}} = \sqrt{\alpha_{\text{поп}}^2 + \alpha_{\text{верт}}^2 + \alpha_{\text{прод}}^2}. \quad (1)$$

В работе [6] отмечается, что при определении допускаемой скорости движения в кривых нужно также учитывать импульсные ускорения, величина которых должна быть менее $2\text{--}2,5 \text{ м/с}^2$. Также отмечается, что на пассажира действуют суммарные ускорения, которые для оценки предлагается разделить на отдельные составляющие. При этом предлагаются следующие нормативные значения – для продольных ускорений $0,9\text{--}1,0 \text{ м/с}^2$; для вертикальных – $0,5 \text{ м/с}^2$, для поперечных горизонтальных – $0,7\text{--}1,0 \text{ м/с}^2$.

В. С. Шаройко, занимаясь вопросами оценки комфортабельности езды пассажиров [7; 8] пришел к выводу, что «при кратковременном воздействии (до 3 с) допускаемое ускорение может быть равно $2,0 \text{ м/с}^2$. При значительных интервалах (низкой частоте) кратковременное воздействие таких ускорений не вызывает (по объективным и субъективным данным) неприятных ощущений у пассажиров и обеспечивает комфортабельные условия езды».

А. Н. Трофимов в [9] отмечает, что по обработке экспериментальных данных средние ус-

корения в кузове пассажирского вагона для вертикальных и горизонтальных колебаний соответственно достигают 1,58 и 0,93 м/с², а максимально вероятные – 3,91 и 1,99 м/с².

Основной критерий, используемый в расчетах, – значение непогашенного ускорения – хотя и характеризует процесс движения, но не учитывает динамических процессов и, таким образом, является статическим. Проиллюстрируем это на конкретном примере. На рис. 1. показана кривая (график стрел и возвышений наружного рельса). Стрелы измерялись от середины хорды длиной 20 м с шагом 10 м. На этой кривой в мае 2003 г. были проведены экспериментальные поездки сцепа, включающего пассажирский вагон, оборудованный для проведения измерений. На рис. 2 (в соответствии с горизонтальным масштабом рис. 1) показаны графики горизонтальных ускорений для скоростей движения 110 и 160 км/ч, измеренные на

шкворне передней по ходу движения тележки пассажирского вагона и рассчитанные по общеизвестной формуле

$$\alpha_{\text{нп}} = \frac{V^2}{3,6^2 R} - \frac{g}{S} h \quad (2)$$

для точек, в которых измерялись стрелы и возвышения.

При сопоставлении экспериментальных и теоретических результатов можно сделать следующие выводы:

- горизонтальные ускорения при движении в кривой носят колебательный характер с пиковыми значениями, имеющими значительную амплитуду;
- амплитуда колебаний и разница между динамическими (измеренными экспериментально) и статическими ускорениями возрастает с увеличением скорости движения.

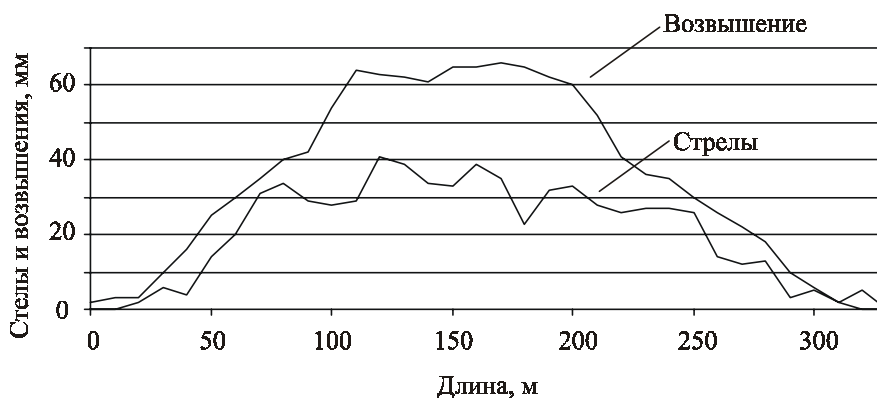


Рис. 1. Геометрические параметры экспериментальной кривой

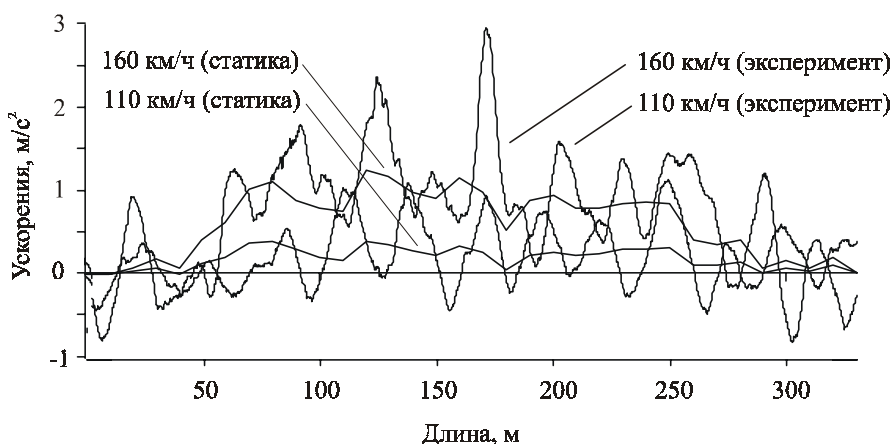


Рис. 2. Графики горизонтальных ускорений

Колебательный характер ускорений, действующих на пассажиров, как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскостях, оказывает существенное влияние на комфортабельность езды, утомляемость и самочувствие людей.

Особенно это важно для высоких скоростей движения, для которых амплитуда колебаний увеличивается.

Существенную сложность в решении данного вопроса составляет нормирование парамет-

ров колебательного процесса. Основным критерием в установлении таких норм на участках скоростного движения должна служить комфортабельность езды пассажиров. На сегодняшний день в Украине нет официальных нормативов такого характера, рассчитанных на практическое применение.

Исследования этого вопроса проводятся давно, но носят в основном теоретический характер. Еще в 1940-х гг. Э. Шперлинг на основании проводимых им опытов дал ряд рекомендаций. Коэффициент плавности хода W по методу Э. Шперлинга [10] определяется по формуле

$$W = 2,7k^{10}\sqrt{T_{\max}E_{\max}}, \quad (3)$$

где k – коэффициент, зависящий от направления и частоты колебаний;

$T_{\max}$ – интенсивность нарастания ускорений,

$$T_{\max} = \frac{d\alpha}{dt}, \quad (4)$$

где α – амплитуда ускорения;

$E_{\max}$ – наибольшая кинетическая энергия, которую приобретает при колебаниях единичная масса пассажира,

$$E_{\max} = y \cdot \alpha, \quad (5)$$

где y – амплитуда перемещения, т. е.

$$y = \iint \alpha dt dt. \quad (6)$$

Для гармонических колебаний

$$y = \frac{\alpha}{(2\pi f)^2}, \quad (7)$$

где f – линейная частота, Гц.

Подставляя выражения (4–7) в формулу (3) после преобразований получим

$$W = 0,9k^{10}\sqrt{\frac{\alpha^3}{f}} \quad (8)$$

или

$$\alpha = \left(\frac{W}{0,9k}\right)^{\frac{10}{3}}\sqrt[3]{f}. \quad (9)$$

Показатель плавности хода (или показатель комфорта) не имеет точного нормированного значения. Он определяет оценку качества езды и время усталости пассажира. Если принять $W = 3,25$ [9] и $f = 1,4$ Гц, $k(f = 1,4) = 1,1$, то

по формуле (9) получим $\alpha = 0,6$ м/с², при $W = 3,5$ [10] – $\alpha = 0,75$ м/с².

Значит, для $W = 3,25$ допускается амплитуда ускорений (т. е. величина их пиковых значений) только 0,6 м/с². Но это справедливо при постоянно действующем ускорении на протяжении 4,2 часов – время усталости пассажира при $W = 3,25$ согласно [10]. При средней скорости движения 60 км/ч за это время поезд пройдет 250 км, т. е. здесь не может идти речь об оценке движения для отдельно взятой кривой.

Также существует методика по определению комфортабельности езды пассажиров, рекомендованная к использованию ОСЖД и принятая на заседании комитета подвижного состава ОСЖД в Париже в 1994 г., – Памятка 513 «Руководящие принципы для оценки комфортности пассажира от вибрации в железнодорожных средствах передвижения» [11]. Учитывая различные цели и задачи исследования, применяются упрощенный и полный методы оценки комфортабельности езды [11]. При упрощенном методе комфорт пассажира определяется приблизительно от ускорений, действующих на уровне пола вагона. Полный метод учитывает ускорения, действующие в уровне пола, сидения и спины (спинки сидения) на сидящего человека. Учитываются ускорения, действующие во всех трех направлениях – горизонтальное, вертикальное и продольное. Для каждого направления учитываются весовые коэффициенты, зависящие от частоты колебаний. Результатом статистической обработки являются ускорения с вероятностью 50 % и 95 %: a_{50} и a_{95} .

Для расчета коэффициента пассажирского комфорта приводятся две формулы – упрощенная

$$N = 4a_{ZP95} + 2\sqrt{a_{YA95}^2 + a_{ZA95}^2} + 4a_{XD95} \quad (10)$$

и расширенная

$$N = 3\sqrt{16a_{XP50}^2 + 4a_{YP50}^2 + a_{ZP50}^2} + 5a_{YP95}, \quad (11)$$

где a – амплитуда ускорения с учетом весового коэффициента, учитывающего частоту колебаний:

1-й индекс указывает направление ускорения;

2-й индекс – место действия ускорения: P – пол, D – уровень сидения, A – уровень спинки сидения;

3-й индекс – вероятность значения ускорения по данным статистической обработки.

Коэффициент комфорта пассажира оценивается по шкале, приведенной в табл. 1.

Таблица 1

Оценка комфортности пассажира по коэффициенту N

Значение коэффициента N	Характеристика комфорта пассажира
$N < 1$	очень хороший
$1 < N < 2$	хороший комфорт
$2 < N < 4$	умеренный комфорт
$4 < N < 5$	бедный комфорт
$N > 5$	очень бедный комфорт

В зависимости от категории поезда рекомендуются следующие значения: пригородный поезд $N = 4$; обычный подвижной состав $N = 3$; подвижной состав люкс $N = 2$.

Как следует из формул (10) и (11) значения ускорений должны быть относительно небольшими. Например, если принять $N = 3$, вертикальные a_z и продольные ускорения a_x равными нулю, то из формулы (11) $a_{y95} = 0,6 \text{ м/с}^2$.

По данным проф. Г. М. Шахунянца [5] при движении исправного подвижного состава по исправному пути на прямом участке вагон испытывает продольные ускорения от $-0,25$ до $+0,25 \text{ м/с}^2$ и вертикальные ускорения от $0,25$ до $0,7 \text{ м/с}^2$. Исходя из этих значений примем $a_{x50} = 0,12 \text{ м/с}^2$, $a_{z50} = 0,48 \text{ м/с}^2$. Если на основании примеров расчетов, изложенных в [11] допустить, что $a_{y50} = 0,5 \dots$, то при весовых коэффициентах, учитывающих частоты колебаний, равных 1,0 для $N = 3$ получим $a_{y95} = 0,18 \text{ м/с}^2$.

Исходя из [5] горизонтальные ускорения, действующие на прямом участке, колеблются от $-0,25$ до $+0,25 \text{ м/с}^2$. Значит данные ускорений, приводимые в [5] для движения экипажа по прямому участку, укладываются (впритык) в интервал, получаемый по методике оценки

комфортности пассажира, изложенной в Памятке 513. Таким образом, методика оценки комфортности пассажира [11] и методика оценки плавности хода [10] в рассмотренном варианте применимы только для характеристики движения экипажа по прямому участку пути.

Еще одним фактором, который необходимо учитывать при оценке движения в кривой является направление ускорений. Пассажир ощущает действие различных ускорений в виде их геометрической суммы – полного ускорения, и в том направлении, которое определяется значениями его составляющих. На основании ускорений, измеренных в различных плоскостях во время экспериментов, указанных выше, были определены значения и направления действия полного ускорения. На рис. 3 и 4 показаны направления действия полного ускорения на уровне нижней полки над шкворнем первой по ходу движения тележки пассажирского вагона для скоростей 160 и 110 км/ч соответственно. Горизонтальные отметки длин на рисунках соответствуют геометрии кривой, показанной на рис. 1. Для сопоставления характера движения с прямым участком, показаны данные на 100 м до, и после кривой. Направление действия ускорения определялось в радианах угла в плоскости, перпендикулярной продольной оси вагона. В качестве нулевого значения принято горизонтальное направление наружу кривой.

Тогда при значениях угла $\alpha \in \left(-\frac{\pi}{4}; \frac{\pi}{4}\right)$ можно

считать, что преобладают горизонтальные ускорения, действующие наружу кривой; при

$\alpha \in \left(\frac{3\pi}{4}; \frac{5\pi}{4}\right)$ – горизонтальные ускорения,

действующие вовнутрь кривой; при

$\alpha \in \left(\frac{\pi}{4}; \frac{3\pi}{4}\right)$ и $\alpha \in \left(-\frac{\pi}{4}; -\frac{3\pi}{4}\right)$ – преобладают

вертикальные ускорения, направленные соответственно вверх и вниз.



Рис. 3. Направление действия полного ускорения при движении в кривой со скоростью 160 км/ч

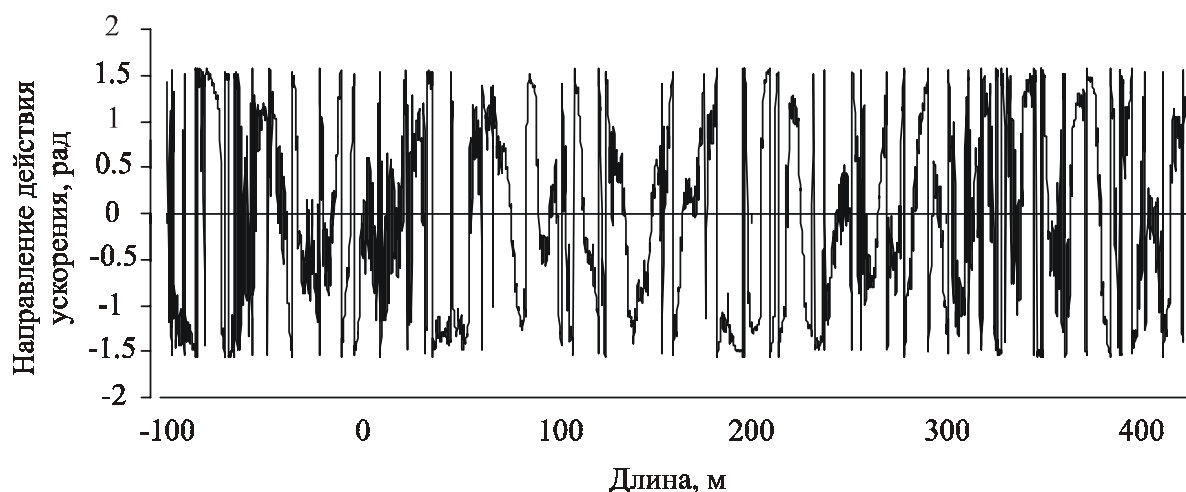


Рис. 4. Направление действия полного ускорения при движении в кривой со скоростью 110 км/ч

Как видно из рис. 3 при движении по прямому участку пути преобладали вертикальные ускорения с чередованием направления действия вверх-вниз и имеющие примерно постоянную частоту колебаний 3,7 Гц. При движении по кривой (точнее по той ее части, где непогашенное ускорение имеет существенное значение) характер действия полного ускорения изменялся. Преобладающим становилось горизонтальное, направленное наружу кривой и частота колебаний уменьшалась более чем 2 раза по сравнению с прямым участком пути (составляла примерно 1,5 Гц). Следует отметить, что при движении с более низкими скоростями, например, 110 км/ч, при которых уровень непогашенного ускорения меньше, не наблюдалось столь выразительного изменения характера действия полного ускорения (см. рис. 4). Значит, при движении по рассмот-

ренной кривой со скоростью 160 км/ч и выше пассажир будет ощущать дискомфорт как минимум оттого, что «монотонное покачивание» прервалось отходом в сторону.

Таким образом, для правильного установления допускаемых скоростей движения в кривых участках пути и норм на их содержание, особенно для высоких скоростей движения, необходимо применение методик и критериев позволяющих учитывать вышеизложенные особенности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Правила визначення підвищення зовнішньої рейки і встановлення допустимих швидкостей руху поїздів в кривих ділянках колії. ЦП-0056. – Д., 1999. – 44 с.
2. Сопряжения кривых и особенности движения подвижного состава по ним / Под ред. О. П. Ершко-

ва. Труды ЦНИИ МПС. Вып. 500. – М.: Транспорт, 1973. – 96 с.

3. Волошко Ю. Д., Юнкевич В. Г. Оптимизация динамических эффектов в пределах переходных кривых. ИВППС. – Д., 1980. – С. 101–117.

4. Ершков О. П., Львов А. А., Карцев В. Я. О допустимых значениях непогашенных ускорений и их приращений во времени на участках высокоскоростного движения. Железные дороги мира, 1977. – № 7. – С. 3–10.

5. Шахунянц Г. М. Железнодорожный путь. – М.: Транспорт, 1987. – 479 с.

6. Высокоскоростное пассажирское движение (на железных дорогах) / Под ред. Н. В. Колодяжного. – М.: Транспорт, 1976. – 416 с.

7. Шаройко В. С., Курашвили А. Е., Киселев А. С. К вопросу о комфортабельности езды пассажиров в скорых поездах. Исследование работы

стрелочных переводов под подвижной нагрузкой. – Л., 1968. – С. 74–81.

8. Шаройко В. С., Киселев А. С. О допускаемых значениях горизонтальных ускорений при кратковременном их воздействии. Труды ЛИИЖТа, 1971. Вып 323. – С. 28–39.

9. Трофимов А. Н. Неровность в жесткой крестовине и комфортабельность езды. Исследование взаимодействия пути и подвижного состава. Д., 1980. – С. 80–88.

10. Вершинский С. В., Данилов В. Н., Челпков И. И. Динамика вагона. – М.: Транспорт, 1972. – 304 с.

11. Leaflet 513. Guidelines for evaluating passenger comfort in relation to vibration in railway vehicles. Traction and Rilling Stock Committee. – Paris, 1994.

А. А. ТАТУРЕВИЧ (НКТБ ЦП УЗ)

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ПРОТИВ СХОДА ОТ ВКАТЫВАНИЯ ГРЕБНЯ КОЛЕСА НА РЕЛЬС

Викладаються результати теоретичних досліджень по удосконалюванню методики визначення коефіцієнта стійкості рухомого складу проти сходу з рейок. Дослідження проводилися на підставі аналізу конкретних випадків катастроф і аварій.

У результаті проведених досліджень отримані усереднені значення коефіцієнтів імовірності одночасної дії несприятливих факторів.

Излагаются результаты теоретических исследований по совершенствованию методики определения коэффициента устойчивости подвижного состава против схода с рельсов. Исследования проводились на основании анализа конкретных случаев катастроф и аварий.

В результате проведенных исследований получены усредненные значения коэффициентов вероятности одновременного действия неблагоприятных факторов.

The results of the basic researches are stated on the improvement of the methods of determination of the stability factor of derailing. The studies were conducted on the grounds of analysis of concrete events of the accidents and derailing.

The average values of the probability of simultaneous combination of disadvantageous factor obtained as a result of the investigations.

Наибольшее количество сходов подвижного состава с рельсов происходит из-за вкатывания гребней колес на рельс. Сам процесс схода зависит от множества факторов, которые в их вероятностном сочетании изучены еще недостаточно.

Особенно актуальной является исследование проблемы устойчивости подвижного состава от схода с рельсов из-за вкатывания гребней колес на рельс в случаях, когда условия движения поезда не согласуются с накопленным опытом или не подтверждаются инженерными расчетами по всем известным ныне методикам.

Многочисленные теоретические исследования схода колес подвижного состава с рельсов основаны, главным образом, на анализе математических моделей пространственного движения по пути с различными характеристиками верхнего строения. Однако, в силу недостаточно изученных статистических данных, эти модели могут служить основой лишь для качественного, а не количественного анализа самого процесса схода колес с рельсов, и по этой причине недостаточно надежны при практическом применении.

С этой точки зрения наиболее приемлемыми являются эмпирические методы исследования устойчивости подвижного состава против схода от вкатывания гребней колес на рельс, в разработке которых учитывается значительный опыт на базе многочисленных экспери-

ментальных исследований воздействия подвижного состава на путь.

Однако, сложность состоит в том, что при всех исследованиях изучалось влияние на процесс схода колеса с рельса тех и иных неисправностей пути и подвижного состава каждой в отдельности, а не в их вероятностном сочетании.

Как известно, условием безопасного движения колеса по рельсу является соблюдение неравенства:

$$\frac{Y_p}{P} \leq A, \quad (1)$$

где Y_p – рамное усилие; P – вертикальная динамическая нагрузка от набегающего колеса на рельс; A – величина являющаяся функцией различных факторов сопротивления набегающему колесу на рельс (фактического угла наклона изношенного гребня колеса, коэффициента трения гребня колеса о рельс, ширины рельсовой колеи, отступлений от норм содержания пути в профиле и по направлению в плане и т. д.).

Поскольку силы Y_p и P являются всегда функциями времени, то в любой момент безусловно должно выполняться условие (1). Отношение Y_p/P зависит от состояния не только пути, но и подвижного состава и режимов ведения поезда.

Отношение Y_p/P с достаточной надёжностью поддается изучению, как при теоретических, так и при экспериментальных исследованиях взаимодействия пути и подвижного состава. А величина A может быть исследована лишь в экспериментах на специальных стендах, поскольку в натурных условиях определение ее значения чрезвычайно затруднено.

Анализ проведенных за последние годы теоретических и экспериментальных исследований проблемы вкатывания гребня колеса на рельс показал, что наиболее приемлемой для практического применения является определение критического состояния вкатывания гребня колеса на рельс по зависимости:

$$\frac{Y_p}{P_1} \leq \frac{\mu b_1 + (S_2 + b_1) \operatorname{tg}(\beta - \varphi)}{S_2 - (r - R) [\operatorname{tg}(\beta - \varphi) + \mu]} - \frac{P_2}{P_1} \cdot \frac{\mu b_2 - (S_2 - b_2) \operatorname{tg}(\beta - \varphi)}{\{S_2 - (r + R) [\operatorname{tg}(\beta - \varphi) + \mu]\}} - \frac{S_2 \left\{ I_2 \mu - I_1 \operatorname{tg}(\beta - \varphi) + \frac{P_T}{n} [\mu - \operatorname{tg}(\beta - \varphi)] \right\}}{P_1 \{S_2 - (r + R) [\operatorname{tg}(\beta - \varphi) + \mu]\}} = A. \quad (2)$$

Отношение A к Y_p/P_1 принято называть коэффициентом устойчивости против схода подвижного состава с рельса из-за вкатывания гребня колеса на рельс (η), который не должен превышать величины 1, 2, т. е.:

$$\eta = A / \left(\frac{Y_p}{P_1} \right) \leq 1, 2. \quad (3)$$

В выражениях использованы следующие обозначения:

Y_p – рамная сила; P_1 – вертикальная динамическая сила от набегавшего колеса на рельс; P_2 – вертикальная динамическая сила от другого колеса той же колесной пары; μ – коэффициент трения скольжения колеса по рельсу; I_1 и I_2 – вертикальные силы инерции от колебания кузова на рессорах соответственно по первому и второму колесу колесной пары; φ – угол трения колеса по рельсу; β – угол наклона между образующей поверхности гребня колеса и горизонтальной плоскостью; r – радиус шейки оси колесной пары; R – радиус колеса по кругу катания; P_T – масса тележки; n – количество колес в тележке; S_1 – расстояние между осями рельсовых нитей; S_2 – расстояние

между боковой гранью внутреннего рельса до боковой грани упорного рельса; b_1 и b_2 – плечи сил соответственно P_1 и P_2 относительно точек контакта колес с рельсами.

Расчеты по приведенному неравенству (2) с достаточной для практических целей точностью удовлетворяют условиям безопасного движения при исправном состоянии пути и подвижного состава.

Сложность заключается в соответствующем анализе как правой, так и левой частей неравенства (1). Если определение динамической вертикальной силы, передающейся от набегавшего колеса на рельс P_1 не вызывает особых затруднений, то определение рамной силы Y_p в каждом конкретном случае всегда затруднительно, поскольку ее значение зависит от множества факторов (состояние пути и подвижного состава, режимов ведения поезда и др.).

В общем виде зависимость силы на контакте гребня колеса и рельса от ряда факторов в их вероятностной композиции может быть представлена в виде:

$$Y_p = k_1 Y_0 + k_2 Y_{\text{нп}} + k_3 Y_{\gamma} + k_4 Y_b + k_5 Y_N, \quad (4)$$

где $k_1, \dots, k_5$ – коэффициенты вероятности одновременного сочетания неблагоприятных факторов; Y_0 – направляющее усилие, определяемое расчетом на силовое вписывание подвижного состава или по графикам–паспортам для каждого конкретного подвижного состава в зависимости от непогашенного ускорения на момент схода колес с рельсов, без учета неисправностей пути и подвижного состава; $Y_{\text{нп}}$ – дополнительная боковая сила, вызываемая неисправностями пути (в основном из-за наличия отступлений от норм содержания пути по направлению в плане); Y_{γ} – дополнительное направляющее усилие (поперечная горизонтальная сила, передающаяся от колеса на рельс), зависящая от угла набегания гребня колеса на рельс; Y_b – дополнительное направляющее усилие для преодоления момента сил трения возвращающих устройств при повороте тележек в кривой; Y_N – дополнительное направляющее усилие от действия продольной силы в поезде при тяге и торможении.

Для практического анализа каждой из составляющих боковых сил уравнения (4) и определения конкретных значений коэффи-

циентов вероятности $k_1, \dots, k_5$ можно воспользоваться статистическими данными по результатам экспертных технических за-

ключений о причинах крушений и аварий, происшедших за последние 30 лет на дорогах Украины и странах СНГ (табл. 1).

Таблица 1

Характеристики участков пути в зоне крушения или аварии		Средние скорости движения поездов, км/ч	Количество сходов подвижного состава с рельсов из–за вкатывания гребня колеса на рельс при различных режимах ведения поезда													Всего случаев
			Выбег и тяга на переломах продольного профиля				Полное служеб- ное и экстренное пневматическое торможение				Электрическое торможение (рекуперативное или реостатное)					
			Расчетные значе- ния продольных сил в поезде, кН				Расчетные значе- ния продольных сил в поезде, кН				Расчетные значения продольных сил в поезде, кН					
			100–200	200–300	300–400	400–500	100–200	200–300	300–400	400–500	100–200	200–300	300–400	400–500	>500	
Прямые	бесстыковой	60–70	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
		70–80	–	–	–	–	2	1	2	–	–	–	–	–	–	5
	звеньевой	35–50	–	–	1	–	1	1	2	–	–	1	1	1	1	9
		50–60	–	2	1	–	1	1	1	–	–	–	–	–	–	6
Переходные кривые	бесстыковой	35–50	–	1	1	–	1	1	2	1	–	–	–	–	–	7
		50–60	–	1	1	–	1	1	1	–	–	–	–	–	–	5
	звеньевой	30–40	1	1	1	1	1	1	2	1	–	–	–	–	–	9
		40–60	–	1	1	–	–	1	1	1	–	–	–	1	–	6
Круговые кривые R = 350–650 м	бесстыковой	35–50	–	2	2	3	–	2	1	1	–	–	–	–	–	11
		50–60	–	2	1	2	–	–	–	–	–	–	–	–	–	5
	звеньевой	30–40	1	2	2	2	1	1	1	2	–	–	–	1	–	13
		40–60	–	1	2	4	1	2	1	1	–	–	1	1	1	15
Стрелочные переводы из рельсов типа Р65 М1/11 на деревянных брусках (при движении на боковой путь)	передний вылет рамного рельса	30–40	–	1	2	–	1	1	–	–	–	–	–	–	–	5
	стрелка	30–40	–	2	1	–	1	1	1	–	–	–	–	–	–	6
	переводная кривая	30–40	–	2	1	–	2	2	–	–	–	–	–	–	–	7
	крест. узел	30–40	–	2	2	–	1	1	2	–	–	–	–	–	–	8
	закрестовин. кривая	30–40	–	1	1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	2
Итого			2	21	20	12	14	17	17	7	–	1	2	4	2	119

Данные, представленные в таблице, относятся к пути на щебеночном балласте с рельсами типа Р65 длиной 25 м на деревянных шпалах: и костыльном скреплении, бесстыковому пути на железобетонных шпалах и раз-

дельном скреплении, стрелочным переводам из рельсов типа Р65 марки 1/11 на деревянных брусках.

Сходы подвижного состава с рельсов на безстыковом пути в данном случае не связаны с выбросом как таковым.

Масса поезда, непогашенное ускорение в рассматриваемых случаях учитывались через реализуемые в каждом конкретном случае значения продольных сил в поезде. Анализ данных таблицы показал, что путь в прямых участках является достаточно устойчивым против сходов подвижного состава из-за вкатывания гребня колеса на рельс, за исключением режимов ведения поезда при полном служебном пневматическом торможении (с разрядкой давления воздуха в тормозной магистрали одной ступенью на 1,2–1,7 см² и экстренном торможении при скоростях движения в пределах 70–80 км/ч (особенно пассажирских поездов)).

Звеньевой путь на деревянных шпалах менее устойчив, особенно в кривых участках при наличии отступлений по направлению в плане (углов), неисправностей подвижного состава и неблагоприятных режимов ведения поезда.

Среди всех режимов ведения поезда наибольшее воздействие на продольную динамику, а следовательно, и на путь оказывают режимы выбега и тяги, экстренное и полное служебное пневматическое торможения.

В режиме выбега и тяги на переломах продольного профиля линии (при движении со спуска на подъем) при наличии порожних вагонов с неисправностями экипажной части и углов в плане (в кривых) возникает реальная угроза выдавливания вагонов в голове и в хвосте поезда.

Аналогичными отрицательными последствиями характеризуются также и режимы полного служебного пневматического торможения, которые особенно неблагоприятно сказываются в случаях их применения при движении поезда на боковое направление стрелочных переводов с остановкой и применением на последнем этапе движения прицельного торможения вспомогательным прямым действующим тормозом локомотива для остановки.

Экстренное торможение наиболее опасно при больших скоростях движения, особенно длинносоставных поездов, как грузовых, так и пассажирских.

Электрическое торможение, особенно рекуперативное, оказывает повышенное воздействие на путь локомотивов и вагонов в голове поезда на спусках с уклонами более 10 %.

В кривых участках пути при реализации продольной тормозной силы поезда более 500 кН возникают сходы подвижного состава с рельсов либо из-за выдавливания порожних или легко-весных вагонов в голове поезда (особенно при несовпадении центров сцепок более 100 мм и наличии просадок пути IV и V степеней неисправности), либо из-за распора рельсовой колеи (с последующей раскантовкой рельсов) на деревянных шпалах из-за кустовой гнилости шпал, или отступлений от норм и допусков устройства рельсовой колеи по направлению в плане IV и V степеней неисправности.

Рекуперативное и реостатное торможения поездов в зоне стрелочных переводов материалами всех служебных расследований причин крушения и аварий грузовых поездов, как правило, не учитываются, поскольку они формально не разрешены действующими инструкциями. Однако, на практике оба вида электрического торможения фактически применяются. Установить сам факт его применения можно лишь косвенными методами.

Максимальные продольные силы в поезде при всех экспертизах крушений и аварий обычно находились в пределах 200–400 кН, что меньше допускаемых для грузовых груженых вагонов 1000 кН и 500 кН – для порожних.

Однако необходимо учитывать, что указанные допускаемые продольные силы являются предельными лишь по условиям выдавливания вагонов в голове поезда при исправном подвижном составе и пути. При наличии неисправностей, в зависимости от их сочетания, сходы подвижного состава с рельсов происходят при значительно меньших значениях продольных сил (200–400 кН), а на горно-перевальных участках с уклонами 15–30 ‰ эти силы превышают 500 кН, что непосредственно угрожает безопасности движения.

Еще более важен анализ процентного соотношения влияния на устойчивость подвижного состава против схода от вкатывания гребней колес на рельс всех неблагоприятных факторов (неисправностей пути, подвижного состава и режимов ведения поезда), как каждого в отдельности так и в их сочетании.

Такой анализ был проведен по результатам обработки 119 случаев крушений и аварий.

Из всех рассмотренных экспертиз 15 % случаев крушений и аварий произошли из-за наличия только отдельного и единственного фактора, в том числе:

- по причинам неисправности пути – 4 %;
- неисправности подвижного состава – 3 %;
- неблагоприятных режимов ведения поезда – 8 %.

45 % крушений и аварий произошли при сочетании всех без исключения неблагоприятных факторов. При этом влияние каждого фактора в доленом отношении составляло:

- неисправности пути – 18 %;
- неисправности подвижного состава – 13,5 %;
- жесткие режимы ведения поезда – 13,5 %.

40 % крушений и аварий происходило при сочетаниях только двух факторов: неисправности пути и подвижного состава. Из них 24 % относится за счет неисправностей пути и 16 % – подвижного состава.

В общем случае крушения и аварии поездов происходили по причинам:

- неисправности пути – 44 %;
- неисправности подвижного состава – 32,5 %;
- режимы выбега и тяги на переломах продольного профиля линии – 6,3 %;
- режимы полного служебного и экстренного торможения – 8,5 %;
- электрического (рекуперативного и экстренного торможения) – 6,5 %.

На основании приведенного анализа можно в первом приближении путем экстраполяции определить усредненные коэффициенты вероятности одновременного сочетания неблагоприятных факторов $k_1^{cp}, \dots, k_5^{cp}$ в уравнении (4), а именно:

$k_1^{cp} = 0,95$ (с учетом, что Y_0 определяется расчетом с запасом 5 %);

$k_2^{cp} = 0,45$ (по неисправностям пути);

$k_3^{cp} = 0,33$ (по неисправностям подвижного состава);

$k_4^{cp} = 0,95$ (при отсутствии возвращающего устройства $k_4^{cp} = 0$);

$k_5^{cp} = 0,06 - 0,09$ (в зависимости от значений продольных сил в поезде при том или ином режиме торможения).

Методика определения каждой из составляющих уравнения (4) $Y_0, Y_{np}, Y_{\gamma}, Y_b, Y_N$ достаточно детально исследованы ДИИТом и изложены в трудах [1–10].

На основании этих методик составлена программа расчета на ПЭВМ коэффициента устойчивости против схода подвижного состава с рельсов от вкатывания гребня колеса на рельс

(η) с учетом конкретных значений усредненных коэффициентов $k_1^{cp}, \dots, k_5^{cp}$.

Результаты расчетов по данной программе были подтверждены соответствующим анализом материалов служебных расследований в каждом конкретном случае по зафиксированным характерным следам вкатывания гребня колеса на рельс, дальнейшим следам (после провала колес) на скреплениях, шпалах и балласте, имеющимся неисправностям пути и подвижного состава, фактических режимов ведения поезда, характером повала вагонов и другими характерными признаками и факторами.

Для более детального уточнения значений коэффициентов k_1 в зависимости (4) в дальнейшем планируется провести многофакторный анализ основных причин сходов подвижного состава с рельсов на основании многовариантных расчетов во всем диапазоне реальных параметров неисправностей пути и подвижного состава и режимов вождения поездов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вериго М. Ф., Коган А. Я. Взаимодействие пути и подвижного состава / Под ред. М. Ф. Вериго. – М.: Транспорт, 1986. – 599 с.
2. Лысюк В. С. Причины и механизм схода колеса с рельса. Проблемы износа колес и рельсов. – М.: Транспорт, 1997. – 188 с.
3. Справочник инженера-путейца, т. 1 / Под ред. Баилова В. В. и Чернышева М. Л. – М.: Транспорт, 1972.
4. Вериго М. Ф. Об устойчивости движения колеса по рельсу // Вести ВНИИЖТ, 1985. – С. 3–7.
5. Матусовский Г. И. Коган А. Я. Траектория движения колеса при вкатывании его на рельс // Тр. ВНИИЖТ, 1975, Вып. 542. – С. 148–155.
6. Матусовский Г. И. Об исследовании вкатывания колеса гребнем на рельс в пути, имеющем неровности // Тр. ВНИИЖТ, 1978. – Вып. 592. – С. 114–121.
7. Коган А. Я., Матусовский Г. И. Влияние конструкции и состояния пути на устойчивость колеса // Вестн. ВНИИЖТ, 1982. – С. 42–44.
8. Трофимов А. Н. Процесс всползания гребня колеса на головку рельса при движении железнодорожного экипажа на боковой путь стрелочного перевода // Тр. ЛИИЖТ, 1973. – Вып. 323 – С. 56–66.
9. Андриевский С. М., Крылов В. А. Сход колеса с рельса // Тр. ВНИИЖТ, вып. 393. – М. Транспорт, 1969. – С. 20–41.
10. Цыганенко В. В. Определение горизонтальных поперечных сил в кривых с учетом продольных сил, действующих в составе // Тр. ДИИТ, вып. 88. – Дн-ск, 1968. В кн.: Исследования взаимодействия пути и подвижного состава.

ВИЗНАЧЕННЯ СТРОКІВ СЛУЖБИ СТІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ

Наводиться методика визначення нормативних строків служби стрілочних переводів для різних параметрів експлуатаційних умов залежно від характеристик силового навантаження колії.

Приводится методика определения нормативных сроков службы стрелочных переводов для различных параметров эксплуатационных условий в зависимости от характеристик силовой загрузки пути.

The technique of definition of normative service life is shown for various parameters of operational conditions depending on characteristics of force loading of a way.

З 90-х років Українських залізницях почато масове укладання стрілочних переводів на залізобетонних брусах. Масове впровадження конструкцій стрілочних переводів із залізобетонною підрейковою основою, є одним із головних напрямків по підсиленню стрілочного господарства залізниць України. Необхідність у зміні стратегії ведення колійного господарства пов'язана в першу чергу з гострим дефіцитом власної деревини та дороговизною експортної, яка в 1,5–2 рази дорожча, ніж залізобетонні бруси власного виробництва.

Робота стрілочних переводів із залізобетонними брусами, в порівнянні з дерев'яними, відрізняється в наслідок змінившоїся маси та жорсткості колії, а відповідно змінившоюся силовою взаємодією системи «колесо-рейка». Одним з факторів, що визначають вертикальну динаміку взаємодії колеса та рейки в зоні стрілочного переводу, є переміщення колеса при русі по нерівностях, які обумовлені особливостями поверхні кочення, яка змінюється при зносі чи виході з ладу несучих елементів стрілочних переводів.

Встановлені в 1979–1991-х роках для мережі залізниць СРСР середньосітьові нормативні строки служби для стрілок і хрестовин на дерев'яних брусах на цей час застаріли і не можуть бути раціонально використані для мережі залізниць України: по-перше тому, що вони лише приблизно характеризували строки служби вказаних елементів і лише відносно тільки середньосітьових умов залізниць СРСР; по-друге тому, що ці нормативи не передбачали врахування конкретних експлуатаційних умов для конкретних залізниць та не були призначені для стрілочних переводів на залізобетонних брусах.

Як відомо розрізняються гарантійні та нормативні строки служби стрілок і хрестовин.

Гарантійні строки служби стрілок і хрестовин визначаються якістю виготовлення конструкцій на заводах і встановлюються за пого-

дженням замовника (Укрзалізниця) і виробника (заводу) з метою підвищення відповідальності підприємств постачальників стрілочної продукції. Гарантійні строки служби вимірюються величиною гарантованого мінімального пропущеного по стрілках і хрестовинах тоннажу або гарантованим мінімальним строком експлуатації (у роках) цих елементів у безаварійному режимі та означають, що на протязі гарантійного строку стрілки та хрестовини при утриманні їх в колії у відповідності з вимогами «Інструкції по устрою та утриманню колії залізниць України» (ЦП-0050) повинні працювати без зламів й інших дефектів, що порушують нормальну експлуатацію, а розміри їх зносу – не перевищувати граничних допусків, які встановлені цією ж інструкцією.

Нормативні строки служби стрілок і хрестовин визначаються кількістю пропущеного по них тоннажу T_n до досягнення величини *допустимого нормативного зносу* h_n . Нормативні величини зносу для стрілок і хрестовин різні та встановлюються, виходячи з допустимих розмірних співвідношень коліс рухомого складу і рейкової колії з урахуванням динаміки їх взаємодії та швидкості руху поїздів. Тому нормативні строки служби повинні бути різними для конструкцій, що працюють у різних умовах експлуатації, тобто при різних осьових навантаженнях, різних швидкостях руху поїздів, різних вантажонапруженості та ін. Вони також повинні бути різними для різних типів і марок стрілочних переводів.

Запропонована авторами методика визначення та розрахунку нормативних строків служби стрілок і хрестовин призначена для стрілочних переводів на дерев'яних і залізобетонних брусах типових конструкцій марок 1/11 і 1/9 (зі збірними хрестовинами з литим сердечником із марганцевистої сталі марки 110Г13Л) та передбачає можливість врахування обліку конкрет-

них існуючих (або тих, що проектується) умов експлуатації.

Сутність запропонованої методики полягає у використанні розрахункової кривої зносу поверхні кочення хрестовин (або гостряків, або

рамних рейок стрілки) для визначення нормативних строків служби конструкції (рис. 1). За розрахункову криву зносу приймається залежність, яка близька до рівняння параболи, що має аналітичний вираз виду

$$h = a\sqrt{T} + \epsilon T. \quad (1)$$

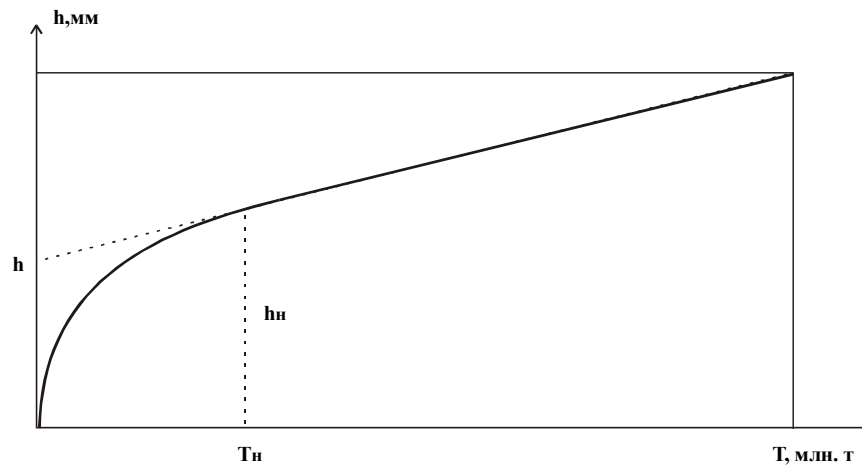


Рис. 1.

Вказана залежність (1), в порівнянні з іншими відомими залежностями найбільш правильно відтворює фізичну сутність явища зносу тому, що знос поверхні кочення відбувається головним чином внаслідок двох процесів, які протікають одночасно: за рахунок зминання металу в результаті впливу високих контактних тисків і за рахунок стирання металу внаслідок фрикційної взаємодії між колесами та поверхнею кочення елементів стрілочних переводів. Переважання того або іншого фізичного процесу визначає інтенсивність накопичення зносу в конкретний період експлуатації.

Структура формули (1) прямо відповідає фізичній сутності явища зносу. В початковий період експлуатації накопичення зносу на поверхні кочення елементів стрілочних переводів відбувається головним чином за рахунок зминання металу і в цей період найбільше навантаження бере на себе 1-й член правої частини рівняння (1) з коефіцієнтом a , потім після набуття наклепу металу на поверхні кочення, накопичення зносу продовжується головним чином за рахунок стирання металу і в цей період найбільше навантаження бере на себе 2-й член правої частини рівняння (1) з коефіцієнтом ϵ . Коефіцієнти a і ϵ у формулі (1) мають відповідні значення для кожної конкретної конструкції. Вони змінюються залежно від типу рейок стрілочного переводу та марки хрестовини, конкретного конструктивного оформлення стрілок і

хрестовин та, що не менш важливо, від умов експлуатації.

Умови експлуатації при описанні кривої зносу враховуються, по перше, підрахунком пропущеного по конструкції тоннажу T та, по друге, за допомогою використання коефіцієнтів a та ϵ рівняння (1), які розраховуються залежно від комплексної силової характеристики експлуатаційних умов за формулами:

$$\begin{aligned} a_i \pm \sqrt{|\epsilon_i|} &= (K_1)_i U_i + (C_1)_i; \\ \epsilon_i &= A_i \sin(\varpi U_i + \phi_i) + (K_2)_i, \end{aligned} \quad (2)$$

де K_1, K_2, C_1 – числові коефіцієнти, що визначаються розрахунком і мають конкретні значення для кожної марки хрестовини відповідної конструкції;

A_i, ϖ, ϕ_i – відповідно амплітуда, кругова частота й фаза зміщення відносно початку координат синусоїди, за рівнянням якої змінюється величина коефіцієнту ϵ_i рівняння виду (1).

Розрахункова залежність, що виражає неперервний функціональний зв'язок вертикального зносу h хрестовин (або гостряків, або рамних рейок) з повним комплексом експлуатаційних факторів, враховуючи узагальнену силову характеристику U та пропущений тоннаж T , що дозволяє вирішувати задачі по прогнозуванню зносу поверхні кочення в будь-який момент експлуатації, залежно від існуючих чи проекту-

емо умов експлуатації, які проектуються, має наступний вид:

$$h = \left(K_i U_i + C_1 \mp \sqrt{A \cdot \sin(\omega_i U_i + \phi_i) + K_2} \right) \times \\ \times \sqrt{T} + \left[A \sin(\omega_i U_i + \phi_i) + K_2 \right] T. \quad (3)$$

Вираз (3) є вірним для визначення величини зносу на хрестовинах будь-якої марки та типу в будь-який момент експлуатації. Він також вірний для розрахунку зносу основних елементів стрілок (рамних рейок і гостряків) з тією лише різницею, що ці елементи мають відмінну від хрестовин криву зносу, але того ж виду (1), та мають інші значення коефіцієнтів a і ϵ . Нормативні строки служби хрестовин і стрілок T_n визначаються з рішення початкового рівняння зносу (1) з використанням в якості критерію величини нормативного зносу h_n (рис. 1). Рівняння, що дозволяє розраховувати прогнозні строки служби по зносу має вид:

$$T_n = \frac{a^2 + 2h_n \cdot \epsilon}{2\epsilon^2} + \\ + \left[\left(\frac{a^2 + 2h_n \cdot \epsilon}{2\epsilon^2} \right)^2 - \left(\frac{h_n}{\epsilon} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (4)$$

Після підстановки в рівняння (4) значень коефіцієнтів a і ϵ , що обчислені за формулами виразу (2), можна розрахувати величину допустимого (нормативного) тоннажу T_n для хрестовин (або рамних рейок, або гостряків), прийнявши конкретне значення нормованого вертикального зносу h_n . Очікуваний тоннаж до набуття нормованого допустимого зносу в кінцевому підсумку визначає очікуваний строк служби хрестовини або рамних рейок, або гостряків в млн т брутто. За вказаною методикою необхідно визначати нормативні строки служби до 1-ї наплавки. Строки служби після 1-ї до 2-ї наплавки або після 2-ї до 3-ї наплавки необхідно визначати з урахуванням змін інтенсивності зносу після наплавки та з врахуванням реалізованої висоти наплавлення.

Дослідженнями встановлено, що інтенсивність зносу хрестовин після першої наплавки вища, ніж до наплавки в 1,35...1,40 рази. Таким чином для визначення нормативних строків служби по тоннажу, який пропускається від першої до другої наплавки T_{n-2} , слід до нормативного строку служби до першої наплавки T_{n-1} додати величину такого ж строку служби, але зменшену в 1,37 рази, тобто:

$$T_{n-2} = T_{n-1} + T_{n-1}/1,37. \quad (5)$$

Нормативний тоннаж для третьої наплавки визначається за формулою:

$$T_{n-3} = T_{n-1} + 2T_{n-1}/1,37. \quad (6)$$

При визначенні комплексної характеристики експлуатаційних умов U слід рахувати, що інтенсивність деформацій контактної поверхні рейок, гостряків і хрестовин проявляється у вигляді накопичення зносу та контактних дефектів, залежить від величини контактної навантаження, часу його дії Δt і швидкості відносного переміщення поверхонь колеса та рейки, що труться. Величину колісного навантаження в розрахунках зручно ідентифікувати величиною питомого колісного тиску коліс на рейку, тобто у вигляді відношення діючої динамічної сили до діаметра колеса $P_k^{\text{дин}}/d$. Швидкість відносного переміщення поверхонь, що труться, прямо залежить від швидкості руху поїзда V . Динамічне колісне навантаження, що реалізується при дії на елементи конструкції колії, визначається як сума статичного колісного навантаження і динамічної добавки:

$$P_{k \text{ max}}^{\text{дин}} = P_k^{\text{ст}} + \Delta P_k^{\text{дин}}, \quad (7)$$

де $\Delta P_k^{\text{дин}} = f(m, V)$ – величина динамічної добавки колісного навантаження, що залежить від швидкості руху та взаємодіючих мас і характеру збуджуючих факторів (нерівностей на колії або колесах).

Значення динамічної добавки контактної сили від впливу нерівності на колії ΔP_k визначається залежно від параметрів нерівності, зони її розташування на колії, характеристик жорсткості колії та типу рухомого складу.

Величина ΔP_k встановлюється експериментально або розрахунками динамічних сил за Правилами розрахунку колії на міцність.

Акумуляція зносу поверхні кочення, а також втомлених ушкоджень на поверхні кочення і в цілому по усій площині перерізу рейкових елементів залежить від кількості колісних дій N_i на ці рейкові елементи. Величина N_i прямо пропорційна пропущеному тоннажу T .

Тоннаж, що пропускається по конструкції, безпосередньо враховується в формулі (3) функціонального взаємозв'язку накопичення зносу h від пропущеного тоннажу (T).

Для врахування всіх перерахованих силових факторів, що характеризують конкретні умови експлуатації кожної конкретної конструкції

колії та визначають працездатність цієї конструкції, приймається *узагальнена характеристика силового навантаження колії у вигляді*:

$$U = U_1 + U_2 = \frac{\bar{P}_{(T)} \bar{V}_{(T)}}{g \bar{d}_{(T)}} + \frac{\Delta P_{\kappa}^{\text{дин}} \Delta t}{\bar{d}_{(T)}}, \quad (8)$$

де $\bar{P}_{(T)}$, $\bar{V}_{(T)}$, $\bar{d}_{(T)}$ – відповідно середньозважені (по тоннажу) значення колісних навантажень, що діють на рейку, швидкостей руху й діаметрів коліс рухомого складу, що рухається через розглядувану конструкцію;

Δt – час дії динамічної сили $\Delta P_{\kappa}^{\text{дин}}$ на розглядуваній ділянці довжини конструкції (рекомендується приймати довжину ділянки, яка дорівнює довжині нерівності на колії), де реалізуються найбільші динамічні сили;

$\Delta P_{\kappa}^{\text{дин}}$ – вертикальна динамічна інерційна сила, що виникає (додатково до статичного колісного навантаження) від впливу нерівностей на колії (або колесі) та від коливань рухомого складу.

Характеристика U є енергетичною характеристикою процесу взаємодії, так як враховує кількісну частину маси, що рухається й діє на колію ($VP/g = mV$ – кількість руху), і враховує час взаємодії Δt і динаміку взаємодії $\Delta P_{\kappa}^{\text{дин}}$.

Для розрахунку узагальненої характеристики силового навантаження колії U необхідно попередньо визначити значення усіх величин, що входять у формулу (8). Методика їх визначення наступна.

Усе різноманіття (спектр) колісних навантажень, що пропускаються по конструкції, може бути виражене через величину середньозваженого (по тоннажу) колісного навантаження $\bar{P}_{K(T)}$, яке складає половину осьового середньозваженого навантаження

$$\bar{P}_{K(T)} = \frac{\bar{P}_{0(T)}}{2}. \quad (9)$$

Величина середньозваженого (по тоннажу) осьового навантаження $\bar{P}_{0(T)}$ визначається за наступною методикою:

Середньозважена величина осьового навантаження в кожному окремому поїзді визначається за формулою:

$$\bar{P}_{0_i} = \frac{Q_i}{N_i}, \quad (10)$$

де Q_i – маса поїзда;

N_i – кількість осей у кожному i -му поїзді, визначається за виразом:

$$N_i = n_{\text{в}} n_{\text{о.в}} + n_{\text{о.л}},$$

де $n_{\text{в}}$ – кількість вагонів у поїзді; $n_{\text{о.в}}$ – кількість осей у вагоні; $n_{\text{о.л}}$ – кількість осей в локомотиві.

Середньозважена (по тоннажу) величина осьового навантаження для кожної однорідної групи поїздів (вантажні навантажені, вантажні порожні, пасажирські, збірні, електропоїзди), які пропускаються за рік по даній конструкції, визначається:

а) для вантажних завантажених поїздів за формулою

$$\begin{aligned} \bar{P}_0^{\text{в.нав}} &= \frac{\sum T_{\text{в.нав}}}{\sum N_i^{\text{нав}}} = \frac{\sum Q_i^{\text{в.нав}}}{\sum N_i^{\text{в.нав}}} = \\ &= \frac{\sum \bar{P}_{0_i}^{\text{в.нав}} N_i^{\text{в.нав}}}{\sum N_i^{\text{в.нав}}}, \quad (11) \end{aligned}$$

де $\sum T_{\text{в.нав}}$ – сума пропущеного тоннажу за рік по розглядуваній конструкції від вантажних навантажених поїздів. Ця сума дорівнює сумі мас пропущених за рік вантажних поїздів

$$\sum T_{\text{в.нав}} = \sum Q_i^{\text{в.нав}};$$

$\sum N_i^{\text{в.нав}}$ – кількість осей у вантажних навантажених поїздах, які пропускаються по конструкції за рік.

Таким же чином визначаються середньозважені (по тоннажу) величини осьового навантаження для інших однорідних груп поїздів, що пропускаються по розглядуваній конструкції:

б) для вантажних порожніх поїздів

$$\bar{P}_0^{\text{в.пор}} = \frac{\sum T_{\text{в.пор}}}{\sum N_i^{\text{в.пор}}} = \frac{\sum Q_i^{\text{в.пор}}}{\sum N_i^{\text{в.пор}}};$$

в) для пасажирських поїздів

$$\bar{P}_0^{\text{пас}} = \frac{\sum T_{\text{пас}}}{\sum N_i^{\text{пас}}} = \frac{\sum Q_i^{\text{пас}}}{\sum N_i^{\text{пас}}}; \quad (12)$$

г) для електропоїздів

$$\bar{P}_0^{\text{ел}} = \frac{\sum T_{\text{ел}}}{\sum N_i^{\text{ел}}} = \frac{\sum Q_i^{\text{ел}}}{\sum N_i^{\text{ел}}}.$$

Розрахункова величина середньозваженого (по тоннажу) осьового навантаження $\bar{P}_{0(T)}$ для

всього спектру рухомого складу, який пропускається по конструкції, визначається за формулою:

$$\begin{aligned} \bar{P}_{0(T)} = & \left(\sum P_0^{\text{в.нав}} N_i^{\text{в.нав}} + \right. \\ & + \sum P_0^{\text{в.пор}} N_i^{\text{в.пор}} + \sum P_0^{\text{пас}} N_i^{\text{пас}} + \\ & \left. + \sum P_0^{\text{зб}} N_i^{\text{зб}} + \sum P_0^{\text{ел}} N_i^{\text{ел}} \right) / \\ & / \left(\sum N_i^{\text{в.нав}} + \sum N_i^{\text{в.пор}} + \sum N_i^{\text{пас}} + \right. \\ & \left. + \sum N_i^{\text{зб}} + \sum N_i^{\text{ел}} \right). \end{aligned} \quad (13)$$

Кінцева розрахункова величина середньозваженого (по тоннажу) колісного навантаження, що проходить за рік по розглядуваній конструкції визначається як половина від осьового навантаження, визначеного за формулою

$$\bar{P}_{K(T)} = \frac{\bar{P}_{0(T)}}{2}. \quad (14)$$

Значення середньозваженої (по тоннажу) швидкості руху усього спектра поїздів, що пропускаються за рік по конструкції, визначається за виразом:

$$\begin{aligned} \bar{V}_{0(T)} = & \left(\sum V_0^{\text{в.нав}} Q_i^{\text{в.нав}} + \right. \\ & + \sum V_0^{\text{в.пор}} Q_i^{\text{в.пор}} + \sum V_0^{\text{пас}} Q_i^{\text{пас}} + \\ & \left. + \sum V_0^{\text{зб}} Q_i^{\text{зб}} + \sum V_0^{\text{ел}} Q_i^{\text{ел}} \right) / \\ & / \left(\sum Q_i^{\text{в.нав}} + \sum Q_i^{\text{в.пор}} + \sum Q_i^{\text{пас}} + \right. \\ & \left. + \sum Q_i^{\text{зб}} + \sum Q_i^{\text{ел}} \right). \end{aligned} \quad (15)$$

У формулі (15) прийнято:

$\bar{V}^{\text{в.нав}}$ – середньозважена величина швидкості руху усіх вантажних навантаженим поїздів, що пропущені за рік по конструкції

$$\bar{V}^{\text{в.нав}} = \frac{\sum V_i^{\text{в.нав}} Q_i^{\text{в.нав}}}{\sum Q_i^{\text{в.нав}}}, \quad (16)$$

де $V_i^{\text{в.нав}}$, $Q_i^{\text{в.нав}}$ – відповідно швидкість руху та маса кожного i -го поїзду, який пропускається за рік по конструкції.

Значення середньозваженого (по тоннажу) діаметра коліс рухомого складу, що пропускається за рік по конструкції, необхідно визначати лише у випадку обертання рухомого складу з діаметрами коліс, які суттєво відрізняються (наприклад, на коліях промислового транспор-

ту). В цьому випадку $\bar{d}_{(T)}$ визначається аналогічно середньозваженій швидкості руху $\bar{V}_{(T)}$.

На магістральному транспорті діаметри коліс вантажних і пасажирських вагонів або відрізняються не суттєво, або зовсім не відрізняються. Колеса локомотивів відрізняються за діаметром від коліс вагонів, але в загальному спектрі коліс поїздів, локомотивні колеса складають лише незначний відсоток і не можуть суттєво впливати на зміну середньозваженої величини діаметрів коліс, які обертаються.

Тому для магістрального транспорту для практичних розрахунків значення середньозваженого діаметра коліс рухомого складу $\bar{d}_{(T)}$, який обертається, слід приймати рівним середньому діаметру коліс вантажного й пасажирського вагонів і електропоїздів

$$\bar{d}_{(T)} = \frac{d^{\text{ван}} + d^{\text{пас}} + d^{\text{ел}}}{3}. \quad (17)$$

За наведеною методикою розраховані нормативні строки служби для стрілок і хрестовин для різних характеристик експлуатаційних умов для стрілочних переводів на дерев'яних і залізобетонних брусах залежно від характеристик силового навантаження колії $U + U_1$, кН·с.

Для стрілочних переводів:

– з рейок Р65 марки 1/11 на дерев'яних брусах нормативні строки служби T_n , млн т брутто, для заданої величини нормативного зносу h_n , мм, встановлюються за табл. 1 або за графіком на рис. 2;

– марки 1/9 з рейок Р65 і Р50 на дерев'яних брусах нормативні строки служби T_n , млн т брутто, для заданої величини нормативного зносу h_n , мм, встановлюються за табл. 2;

– з рейок Р65 марки 1/11 на залізобетонних брусах нормативні строки служби T_n , млн т брутто, для заданої величини нормативного зносу h_n , мм, встановлюються за табл. 3 або за графіком на рис. 2;

– з рейок Р65 марки 1/9 на залізобетонних брусах нормативні строки служби T_n , млн т брутто, для заданої величини нормативного зносу h_n , мм, встановлюються за табл. 4.

Введення єдиної методики визначення нормативних строків служби стрілочних переводів на залізницях України дозволить більш обґрунтовано планувати ремонти та заміни стрілочних переводів, формувати заказ Укрзалізниці на стрілочну продукцію, впливати на ресурсозбереження.

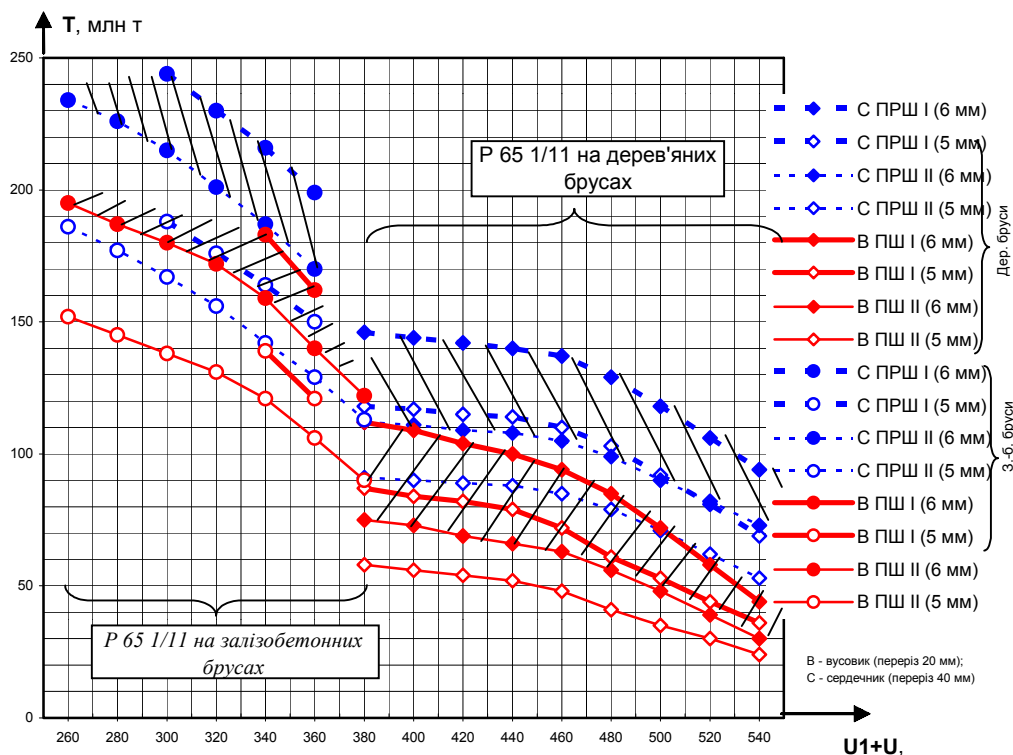


Рис. 2. Залежність нормативного зносу від комплексної силової характеристики

Т а б л и ц я 1

Нормативні строки служби стрілочних переводів Р65 1/11 на дерев'яних брусах

Тип стрілочного переводу	Марка хрестовини	Елемент переводу	Вертикальний знос, h_v , мм	Нормативні строки служби основних елементів T_H , млн т бруто				
				Характеристика силового навантаження $U+U_1$, кН·с				
				I категорія якості / II категорія якості				
				$U+U_1=384$ $U=220$	$U+U_1=449$ $U=265$	$U+U_1=472$ $U=290$	$U+U_1=495$ $U=290$	$U+U_1=530$ $U=320$
Р65	1/11	серд. ПРШ	5	118/90	113/87	108/83	90/70	75/58
			6	145/112	140/107	135/103	120/92	100/77
		серд. ПШ	5	165/128	160/122	140/108	117/90	105/82
			6	230/178	220/170	188/145	168/130	160/122
		вусов. ПШ	5	87/58	78/52	65/43	55/37	40/27
			6	112/75	98/65	90/60	75/50	50/35
		вусов. ПРШ	5	115/77	103/70	80/53	68/45	55/35
			6	147/105	135/90	105/70	88/60	72/48
		рамна рейка	4	$1,05 \cdot T_H$	$T_H = 260$	$0,85 \cdot T_H$	$0,74 \cdot T_H$	$0,67 \cdot T_H$
			5	$1,05 \cdot T'_H$	$T'_H = 320$	$0,85 \cdot T'_H$	$0,74 \cdot T'_H$	$0,67 \cdot T'_H$
			6	$1,05 \cdot T''_H$	$T''_H = 400$	$0,85 \cdot T''_H$	$0,74 \cdot T''_H$	$0,67 \cdot T''_H$

Примітки до табл. 1:

1. В чисельнику наведені значення T_n для металу хрестовин I категорії якості, в знаменнику – для II категорії якості;

2. Характеристики металу хрестовин (з марганцевистої сталі марки 110 ГІЗЛ) для I категорії якості прийняті: $\sigma_b = 81 \dots 90$ кг/мм²;

$\sigma_{0,2} = 41 \dots 49$ кг/мм²; $\frac{\delta + \psi}{2} = 31 \dots 40$ %; для II категорії якості: $\sigma_b = 65 \dots 80$ кг/мм²;

$\sigma_{0,2} = 36 \dots 40$ кг/мм²; $\frac{\delta + \psi}{2} \leq 30$ %.

3. Для проміжних значень U і U_1 значення T_n знаходяться по інтерполяції між 2-ма суміжними значеннями T_n , взятими з табл.

4. Для хрестовин типової конструкції (збірних з литим сердечником) типу Р65 марки 1/11 встановлені стійкі співвідношення по інтенсивності зносу хрестовин з металу різної якості:

$$\frac{I_{2 \text{ вус}}}{I_{1 \text{ вус}}} = 1,5; \quad \frac{I_{2 \text{ серд}}}{I_{1 \text{ серд}}} = 1,3,$$

де $I_1^{\text{вус}}$, $I_2^{\text{вус}}$ – інтенсивність зносу вусовиків для хрестовин відповідно I та II категорії;

$I_1^{\text{серд}}$, $I_2^{\text{серд}}$ – те саме для сердечників.

По інтенсивності зносу хрестовин пошерстного (ПШ) і протишерстного (ПРШ) напрямку встановлені наступні стійкі співвідношення:

а) для сердечників хрестовин:

– відповідно для нормативів зносу 5 мм і 6 мм для хрестовин з металу 1-ої категорії якості

$$\frac{I_{\text{пш}}^{\text{серд}}}{I_{\text{прш}}^{\text{серд}}} = 1,3 - 1,4;$$

– те саме для хрестовин з металу 2-ої категорії

$$\frac{I_{\text{пш}}^{\text{серд}}}{I_{\text{прш}}^{\text{серд}}} = 1,4 - 1,6;$$

б) для вусовиків хрестовин:

– для хрестовин з металу 1-ої категорії якості

$$\frac{I_{\text{прш}}^{\text{вус}}}{I_{\text{пш}}^{\text{вус}}} \approx 1,2;$$

– відповідно для нормативів зносу 5 мм і 6 мм для хрестовин з металу 2-ої категорії якості

$$\frac{I_{\text{прш}}^{\text{вус}}}{I_{\text{пш}}^{\text{вус}}} = 1,3 - 1,4.$$

Т а б л и ц я 2

Нормативні строки служби стрілочних переводів Р65 1/9 та Р50 1/9 на дерев'яних брусах

Тип стрілочного переводу	Марка хрестовини	Елемент переводу	Вертикальний знос, h_n , мм	Нормативні строки служби основних елементів T_n , млн т бруто							
				Характеристика силового навантаження $U+U_1$, кН·с							
				I категорія якості / II категорія якості							
				$U+U_1=170$ $U=110$	$U+U_1=220$ $U=145$	$U+U_1=255$ $U=170$	$U+U_1=280$ $U=180$	$U+U_1=310$ $U=205$	$U+U_1=340$ $U=215$	$U+U_1=360$ $U=235$	$U+U_1=380$ $U=245$
Р65	1/9	серд. ПРШ	5		212/163	153/118		115/88		77/60	
			6		260/200	190/147		153/118		100/78	
		вусов. ПШ	5		140/110	102/80		70/55	62/50	47/37	
			6		173/133	127/98		95/75	85/65	63/48	
		рамна рейка	4		$2,1 \cdot T_n$	$1,5 \cdot T_n$		$1,12 \cdot T_n$	$T_n=260$	$0,77 \cdot T_n$	
			5		$2,1 \cdot T'_n$	$1,5 \cdot T'_n$		$1,12 \cdot T'_n$	$T'_n=320$	$0,77 \cdot T'_n$	
			6		$2,1 \cdot T''_n$	$1,5 \cdot T''_n$		$1,12 \cdot T''_n$	$T''_n=400$	$0,77 \cdot T''_n$	
Р50	1/9	серд. ПРШ	5	158/122			70/53				25/18
			6	203/155			88/68				35/28
		вусов. ПШ	5	120/80			52/35				
			6	135/105			67/45				
		рамна рейка	4	$1,9 \cdot T_n$		$T_n=225$	$0,8 \cdot T_n$				$0,3 \cdot T_n$
			5	$1,9 \cdot T'_n$		$T'_n=270$	$0,8 \cdot T'_n$				$0,3 \cdot T'_n$
			6	$1,9 \cdot T''_n$		$T''_n=335$	$0,8 \cdot T''_n$				$0,3 \cdot T''_n$

Примітки до табл. 2:

1. Для проміжних значень $U + U_1$ значення T_n знаходяться по інтерполяції між 2-ма суміжними значеннями T_n , взятими з таблиці.

2. Нормативні строки служби для стрілок і хрестовин Р50 1/9 встановлені як тимчасові та

можуть уточнюватись після додаткових досліджень.

3. Нормативні строки служби рамних рейок стрілочних переводів Р50 1/9 і Р65 1/9 наведені як тимчасові та можуть уточнюватись після додаткових досліджень.

Т а б л и ц я 3

Нормативні строки служби стрілочних переводів Р65 1/11 на залізобетонних брусах

Тип переводу	Марка хрестовини	Елемент переводу	Вертикальний знос h_n , мм	Нормативні строки служби основних елементів T_n , млн. т бруто							
				Характеристика силового навантаження $U+U_1$, кН·с							
				I категорія якості / II категорія якості							
				$U+U_1=260$ $U=150$	$U+U_1=280$ $U=165$	$U+U_1=300$ $U=175$	$U+U_1=315$ $U=185$	$U+U_1=335$ $U=200$	$U+U_1=345$ $U=205$	$U+U_1=360$ $U=210$	$U+U_1=375$ $U=220$
Р65	1/11	серд. ПРШ	5	/185	/177	188/167	/160	/145	160/140	/130	/118
			6	/235	/225	245/215	/205	/190	212/182	/170	/155
		серд. ПШ	5								
			6								
		вусов. ПШ	5	/152	/145	/138	/135	142/123	/115	120/105	/95
			6	/195	/187	/180	/175	185/162	/153	162/140	/132
		вусов. ПРШ	5								
			6								
		рам-на рейка	4				$1,2 \cdot T_n$				$T_n = 300$
			5				$1,2 \cdot T'_n$				$T'_n = 380$
			6				$1,2 \cdot T''_n$				$T''_n = 480$

Примітки до табл. 3:

1. Для проміжних значень $U + U_1$ значення T_n знаходяться по інтерполяції між 2-ма суміжними значеннями T_n , взятими з таблиці.

2. Нормативні строки служби рамних рейок наведені як тимчасові та можуть уточнюватись після додаткових досліджень.

Таблиця 4

Нормативні строки служби стрілочних переводів Р65 1/9 на залізобетонних брусах

Тип переводу	Марка хрестовини	Елемент переводу	Вертикальний знос h_n , мм	Нормативні строки служби основних елементів T_n , млн. т бруто			
				Характеристика силового навантаження $U+U_1$, кН·с			
				I категорія якості / II категорія якості			
				$U+U_1=220$ $U=130$	$U+U_1=265$ $U=155$	$U+U_1=300$ $U=170$	$U+U_1=320$ $U=185$
Р65	1/9	серд. ПРШ	5	/175	/145	/132	
			6	/215	/183	/163	
		серд. ПШ	5				
			6				

Тип переводу	Марка хрестовини	Елемент переводу	Вертикальний знос $h_{\text{в}}$, мм	Нормативні строки служби основних елементів $T_{\text{н}}$, млн. т брутто			
				Характеристика силового навантаження $U+U_1$, кН·с			
				I категорія якості / II категорія якості			
				$U+U_1=220$ $U=130$	$U+U_1=265$ $U=155$	$U+U_1=300$ $U=170$	$U+U_1=320$ $U=185$
Р65	1/9	вусов. ПШ	5	/132		/102	/88
			6	/160		/125	/107
		вусов. ПРШ	5				
			6				
		рамна рейка	4	$1,2 \cdot T_{\text{н}}$		$T_{\text{н}} = 300$	
			5	$1,2 \cdot T'_{\text{н}}$		$T'_{\text{н}} = 380$	
			6	$1,2 \cdot T''_{\text{н}}$		$T''_{\text{н}} = 480$	

Примітки до табл. 4:

- Для проміжних значень $U + U_1$ значення $T_{\text{н}}$ знаходяться по інтерполяції між 2-ма суміжними значеннями $T_{\text{н}}$, взятими з табл.
- Нормативні строки служби рамних рейок наведені як тимчасові та можуть уточнюватись після додаткових досліджень.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

- Э. И. Даниленко. Теоретические основы и практические методы расчета прочности и износостойкости пересечений и соединений рельсовых пу-

тей промышленного транспорта. Дис. на соискание ученой степени д-ра техн. наук. – Д., 1992. – 546 с.

- Единая методика оценки силовой нагруженности пути и путевых конструкций при их проектировании и эксплуатации. Материалы совещания экспертов V комиссии ОСЖД.

3 Совершенствование ведения стрелочного хозяйства / С. В. Амелин, В. И. Абросимов, Н. Н. Елсаков, Е. К. Смыков, Л. Н. Фролов, В. Ф. Яковлев / Под ред. С. В. Амелина. – М.: Транспорт, 1983. – 240 с.

СУЧАСНИЙ ПІДХІД ДО ВИЗНАЧЕННЯ СИЛ ВЗАЄМОДІЇ КОЛІЇ ТА РУХОМОГО СКЛАДУ В ЗОНІ СТІЛОЧНОГО ПЕРЕВОДУ

Наводиться розрахункова методика визначення сил взаємодії колії та рухомого складу, описуються особливості її застосування, розрахункові схеми. Розглядаються проблеми, які виникають при розрахунках сил взаємодії колії та рухомого складу в зоні стрілочного переводу і шляхи їх вирішення.

Приводится расчетная методика определения сил взаимодействия пути и подвижного состава, описываются особенности ее использования, расчетные схемы. Рассматриваются проблемы, возникающие при расчетах сил взаимодействия пути и подвижного состава в зоне стрелочного перевода и пути их решения.

The calculation technique of definition of forces of a track and rolling stock interaction is shown, the features of its use, calculation schemes are described. The problems arising at calculations of forces of a way and a rolling stock interaction in a turnout zone and a ways of their resolving are considered.

Не дивлячись на розвиток існуючих наукових технологій до нинішнього часу не розроблено практичного інженерного методу розрахунку стрілочних переводів на міцність. Це пояснюється складністю конструкції стрілочного переводу та складністю і недосконалістю розрахункових методик, які використовуються для розрахунків стрілочних переводів. Як відомо, основою для міцнісних розрахунків стрілочних переводів є розрахунок вертикальних динамічних сил взаємодії, від величини яких і залежатиме подальший підбір міцності. Нижче описуються відповідні розрахункові схеми і наводиться методика розрахунку вертикальних сил взаємодії системи екіпаж-стрілочний перевід.

В даний час існує велика кількість розрахункових схем для теоретичного дослідження динамічних сил взаємодії колії та рухомого складу, але використання тієї чи іншої схеми потребує відповідного обґрунтування. Найбільш точними розрахунковими схемами є такі, що детально моделюють взаємодію колії та рухомого складу в просторі та враховують велику кількість ступенів свободи системи. Але надмірна деталізація розрахункової схеми потребує великої кількості вихідних даних, при підборі яких часто виникають проблеми зі знаходженням тієї чи іншої розрахункової величини. Крім того при великій кількості вихідних даних підвищується ймовірність внесення в розрахунок помилкових даних, що може призвести до значних помилок в кінцевому результаті та звести на нівець усі старання підвищити точність обчислень за рахунок уточнення розрахункової схеми. Тому розрахункова схема повинна бути підібрана таким чином, щоб при найбільш простому вигляді вона давала результат з достатньою для практичних цілей точністю.

Порівняльними дослідженнями [1; 2] доведено, що в багатьох випадках складні багаторівневі системи з великою кількістю ступенів свободи можуть бути значно спрощені при вирішенні конкретних задач без значних втрат точності розрахунків. Таку схему було запропоновано д. т. н., проф. Е. І. Даніленком [3]:

– спочатку розглядається плоска задача дії екіпажу на рейкову нитку, де схема представлена у вигляді n -вісного візка, зв'язаного через раму та кузов з другим візком (рис. 1, а). В якості збуджуючого чинника в розрахунковій схемі є нерівності на колії (стрілочному переводі) та колесі;

– далі розглядається та вирішується друга плоска задача дії екіпажу на обидві рейкові нитки з урахуванням взаємного впливу нерівностей на обох рейкових нитках чи колесах (рис. 1, б).

Запропонована розрахункова схема достатньо повно описує коливальний процес механічної системи екіпаж-колія в площині, направлений вздовж осі колії та в площині, перпендикулярній осі колії. При цьому фактично виключається ймовірність помилок, пов'язаних з неврахуванням впливу сусідніх осей або неврахуванням впливу силових чинників, які виникають на сусідній рейковій нитці та передаються на розрахункову нитку. Точність розв'язку даної задачі за даною методикою залежить лише від правильності вибору вихідних даних. На основі описаної розрахункової схеми і базується методика розрахунку сил взаємодії системи екіпаж-стрілочний перевід.

Ціль розрахунку сил взаємодії полягає в тому, щоб по відомій (заданій) нерівності та по відомим механічним характеристикам конструкції колії (стрілочного переводу) і рухомого

складу розрахувати сили взаємодії, які виникають при проході нерівності.

Диференційні рівняння коливального процесу описаної механічної системи в площині рейки (хрестовини) (рис.1, а) згідно з принципом д'Аламбера мають вигляд:

$$\left. \begin{aligned} m_1 Z''_1 + P_1 + P_2 &= 0 \\ I_1 Z''_2 + P_2 l_1 + P_1 l_1 &= 0 \\ m_2 Z''_3 - P_1 + P_3 + P_4 &= 0 \\ m_3 Z''_4 - P_2 + P_5 &= 0 \\ I_2 Z''_5 - P_3 l_2 + P_4 l_2 &= 0 \\ m_4 Z''_6 - P_3 + P_6 + \delta_{6-7} P_7 &= 0 \\ m_5 Z''_7 - P_4 + P_7 + \delta_{7-6} P_6 &= 0 \\ m_6 Z''_8 - P_5 + P_8 &= 0 \\ m_7 Z''_9 - P_6 - \delta_{6-7} P_7 + P_9 &= 0 \\ m_8 Z''_{10} - P_7 - \delta_{7-6} P_6 + P_{10} &= 0 \\ m_9 Z''_{11} - P_8 + P_{11} &= 0 \end{aligned} \right\}. \quad (1)$$

Сили взаємодії та інерції P_i , які входять в систему диференціальних рівнянь (1), визначаються з наступних залежностей:

$$\left. \begin{aligned} P_1 &= c_1 (Z_1 - Z_3 - l_1 Z_2) + k_1 (Z'_1 - Z'_3 - l_1 Z'_2) \\ P_2 &= c_1 (Z_1 - Z_4 + l_1 Z_2) + k_1 (Z'_1 - Z'_4 - l_1 Z'_2) \\ P_3 &= c_2 (Z_3 - Z_6 - l_2 Z_5 - \zeta_1(Vt)) + k_2 (Z'_3 - Z'_6 - l_2 Z'_5 - \zeta'_1(Vt)) \\ P_4 &= c_2 (Z_3 - Z_7 + l_2 Z_5 - \zeta_2(Vt)) + k_2 (Z'_3 - Z'_7 - l_2 Z'_5 - \zeta'_2(Vt)) \\ P_5 &= c_3 (Z_4 - Z_8 - \zeta_3(Vt)) + k_3 (Z'_4 - Z'_8 - \zeta'_3(Vt)) \\ P_6 &= c_4 (Z_6 - Z_9) + k_4 (Z'_6 - Z'_9) \\ P_7 &= c_4 (Z_7 - Z_{10}) + k_4 (Z'_7 - Z'_{10}) \\ P_8 &= c_5 (Z_8 - Z_{11}) + k_5 (Z'_8 - Z'_{11}) \\ P_9 &= c_6 Z_9 + k_6 Z'_9 \\ P_{10} &= c_6 Z_{10} + k_6 Z'_{10} \\ P_{11} &= c_7 Z_{11} + k_7 Z'_{11} \end{aligned} \right\}. \quad (3)$$

Аналогічно записуються рівняння коливального процесу системи в площині, перпендикулярній осі колії (рис. 1, б):

$$\left. \begin{aligned} m_1 Z''_{12} + P_{12} + P_{13} &= 0 \\ I_3 Z''_{13} + P_{12} b - P_{13} b &= 0 \\ m_{10} Z''_{14} - P_{12} - P_{13} + P_{14} + P_{15} &= 0 \\ I_4 Z''_{15} - P_{12} b + P_{13} b + P_{14} S_1 - P_{15} S_1 &= 0 \\ m_{11} Z''_{16} - P_{14} + P_{16} &= 0 \\ m_{12} Z''_{17} - P_{15} + P_{17} &= 0 \\ m_{13} Z''_{18} - P_{16} + (P_{18} + \delta_{18-19} P_{19}) &= 0 \\ m_{14} Z''_{19} - P_{17} + (P_{19} + \delta_{19-18} P_{18}) &= 0 \end{aligned} \right\}. \quad (3)$$

Значення P_i , які входять до системи (3) визначаються за наступними формулами:

$$\left. \begin{aligned} P_{12} &= c_8 (Z_{12} - Z_{14} + b Z_{13} - b Z_{15}) + \\ &+ k_8 (Z'_{12} - Z'_{14} + b Z'_{13} - b Z'_{15}) \\ P_{13} &= c_8 (Z_{12} - Z_{14} - b Z_{13} + b Z_{15}) + \\ &+ k_8 (Z'_{12} - Z'_{14} - b Z'_{13} + b Z'_{15}) \\ P_{14} &= c_9 (Z_{14} - Z_{16} - \zeta_{XP} + S_1 Z_{15}) + \\ &+ k_9 (Z'_{14} - Z'_{16} - \zeta'_P + S_1 Z'_{15}) \\ P_{15} &= c_1 (Z_{14} - Z_{17} - \zeta_{XP} - S_1 Z_{15}) + \\ &+ k_{10} (Z'_{14} - Z'_{17} - \zeta'_P - S_1 Z'_{15}) \\ P_{16} &= c_{11} (Z_{16} - Z_{18}) + k_{11} (Z'_{16} - Z'_{18}) \\ P_{17} &= c_{12} (Z_{17} - Z_{19}) + k_{12} (Z'_{17} - Z'_{19}) \\ P_{18} &= c_{13} Z_{18} - k_{13} Z'_{18} \\ P_{19} &= c_{14} Z_{19} + k_{14} Z'_{19} \end{aligned} \right\}. \quad (4)$$

В наведених рівняннях (1–4) прийняті наступні буквені позначки: m_1 – маса половини кузова; $m_2 = m_3$ – маса половини візка; $m_4 = m_5$ – приведена маса хрестовини, віднесена до одного колеса; m_6 – подвоєна приведена маса хрестовини, віднесена до двох коліс 2-го візка; $m_7 = m_8$ – приведена маса основи стрілочного переводу, віднесена до одного колеса; m_9 – подвоєна приведена маса основи, віднесена до двох коліс 2-го візка; Z_i, Z'_i, Z''_i – вертикальні переміщення мас, їх перші та другі похідні; c_i та k_i – відповідно жорсткості пружних зв'язків та коефіцієнти в'язкого тертя дисипативних зв'язків між елементами механічної системи; $\delta_{6-7} = \delta_{7-6}$ – ординати лінії впливу переміщення під силою P_6 від сили P_7 і навпаки; $\eta_1(Vt)$, $\eta_2(Vt)$, $\eta_3(Vt)$ – функції нерівностей під першим та другим колесами і під серединою 2-го візка в залежності від пройденого шляху;

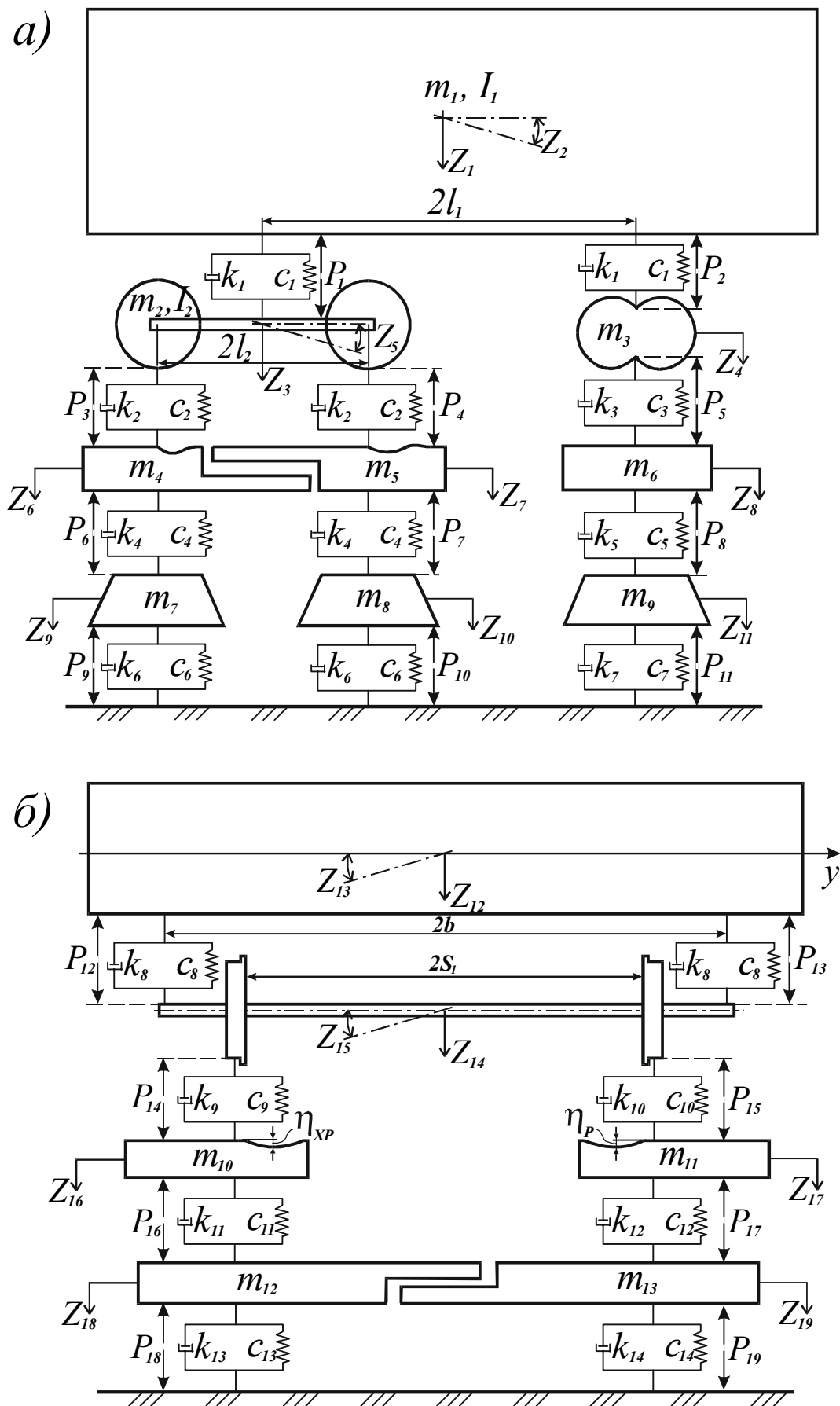


Рис. 1. Розрахункова схема взаємодії колії та рухомого складу:
а – в повздовжній площині; б – в поперечній площині

I_1 – момент інерції кузова відносно осі, перпендикулярної повздовжній площині симетрії вагона; I_2 – момент інерції візка відносно осі, перпендикулярної повздовжній площині симетрії вагона; I_3 – момент інерції кузова відносно осі, перпендикулярної поперечній площині симетрії вагона; I_4 – момент інерції візка відносно осі, перпендикулярної поперечній площині симетрії вагона; $2l_1$ – відстань між точками опирання кузова на візки; $2l_2$ – відстань між осями коліс у візку; $2b$ – відстань між точками прикладання навантажень до шийок осі колісної пари; $2S_1$ – відстань між кругами кочення колісної пари.

Для розв'язку наведених систем диференціальних рівнянь використовуються персональні комп'ютери, для чого на алгоритмічних мовах програмування складаються відповідні програми. Зокрема в ДПТі [4] задача розв'язання системи (1) була доведена до розрахункового алгоритму та комп'ютерної програми для розрахунку, а описана вище методика реалізується авторами в КУЕТТ. Для розв'язання систем диференціальних рівнянь з використанням персонального комп'ютера, як правило, застосовуються чисельні методи і одним з найбільш популярних та зручних в програмуванні є метод Рунге-Кутта 4-го порядку, який дає змогу досягати необхідної точності інтегрування диференціальних рівнянь.

Але задача визначення сил взаємодії в зоні стрілочного переводу потребує не лише правильного вибору розрахункової схеми, а й урахування цілого ряду розрахункових даних, залежних від конструкції стрілочного переводу, цілі розрахунку та інших чинників. Так при розрахунках сил взаємодії колії та рухомого складу в зоні стрілочного переводу неодмінно виникає потреба у знаходженні пружнодинамічних параметрів, величина яких суттєво впливає на кінцевий результат. Тому безпосередньому розрахунку сил взаємодії має передувати вибір або визначення пружнодинамічних параметрів

стрілочного переводу [5]. Для визначення пружнодинамічних параметрів використовується розрахунково-теоретичний метод, розроблений д. т. н., проф. Е. І. Даніленком [3], який достатньо зручно реалізовувати в комп'ютерному вигляді. В цілому блок для визначення пружнодинамічних параметрів включає розрахунок модуля пружності підстрілочної основи, жорсткості рейкових ниток, приведених мас колії в зоні стрілочного переводу.

Таким чином визначення сил взаємодії колії та рухомого складу в зоні стрілочного переводу являється складною комплексною задачею, процес розв'язання якої включає послідовність виконання розрахункових етапів визначення пружнодинамічних параметрів, приведених мас стрілочного переводу, параметрів нерівності та ін., а на заключній стадії виконується безпосередній розрахунок сил взаємодії. При використанні наведеної розрахункової методики отримується результат з достатнім рівнем точності, який можна використовувати як при аналізі роботи чи проектуванні елементів стрілочних переводів, так і при аналізі роботи або проектуванні елементів рухомого складу.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Амелин С. В., Яковлев В. Ф., Семенов И. И. О расчете на прочность элементов стрелочных переводов. – Тр. ЛИИЖТ, вып. 222. – Л., 1964.
2. Орловский А. Н., Клименко В. Н. Обоснование выбора расчетной схемы для исследования взаимодействия колеса и пути в зоне неровностей. – Тр. ДИИТ, вып. 57. – Д., 1965.
3. Даниленко Э. И. Теоретические основы и практические методы расчета прочности и износостойкости пересечений и соединений рельсовых путей промышленного транспорта: Дис. д. т. н. / ПИИЖТ. СПб., 1992.
4. Исследование взаимодействия пути и подвижного состава / Межвуз. сб. научн. тр. – Д., 1997.
5. Збірник наукових праць Київського університету економіки і технологій транспорту. – К.: КУЕТТ, 2003.

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГРУНТА НА ЗНАЧЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО МОДУЛЯ УПРУГОСТИ ПУТИ

У данній роботі доведена необхідність корегування значень вертикального модуля пружності колії шляхом врахування роду ґрунта земляного полотна, його стану та товщини й стану баластного шару. Надана чисельна оцінка параметрів, що впливають на модуль пружності колії.

В данной работе доказана необходимость корректировки значений вертикального модуля упругости пути, путем учета рода грунта земляного полотна, его состояния и толщины балластного слоя и его состояния. Дана численная оценка параметров, влияющих на модуль упругости пути.

The necessity of updating of values of the vertical module of a track elasticity is proved, by taking into account of a sort of the subgrade soil its state both thickness of a ballast layer and its state. The numerical rating of parameters influencing the module of the track elasticity is given.

В основе требований, предъявляемых к конструкции пути, лежат условия обеспечения его прочности и устойчивости, а также экономичности.

Расчетами на прочность устанавливается минимально необходимая конструкция верхнего строения пути в тех или иных условиях эксплуатации, а целесообразная конструкция верхнего строения в зависимости от грузонапряженности определяется технико-экономическими расчетами. Условия эксплуатации определяют напряженно-деформированное состояние пути. Определение вышеуказанного состояния в настоящее время производится по «Правилам производства расчетов верхнего строения железнодорожного пути на прочность» [1] и по результатам эксперимента. Для расчета по этой методике необходимы исходные величины, характеризующие особенности взаимодействия пути и подвижного состава с учетом необходимых условий эксплуатации.

Характеристики и параметры пути, определяющие его прочность, надежность, а в конечном итоге расходы на его текущее содержание делятся на три группы: конструкционные, геометрические и физико-механические. Первая группа (погонный вес рельса, тип шпал, их число, род балласта, его толщина, поперечный профиль земляного полотна) получены и определены в результате опыта эксплуатации железных дорог и с учетом научных разработок. Вторая группа (допустимые длина и амплитуда неровности на поверхности катания рельсов, характеристики состояния колеи в плане профиля и по уровню) определяются, в основном условиями обеспечения безопасности движения и стремлением снизить расходы на текущее содержание и устройство пути. Третья группа (моменты инерции и сопротивления рельсов,

твердость рельсовой стали, жесткость элементов пути, неравноупругость по протяжению пути, характеристики земляного полотна и балласта и т. д.) являются наименее исследованными для разработки рациональных значений параметров пути в зависимости от условий эксплуатации.

Одной из величин, входящих в третью группу, и относящихся к исходным данным для расчета пути на прочность является модуль упругости подрельсового основания. Он зависит от жесткости связей между элементами пути и изгибной жесткости рельса и шпал, балласта, земляного полотна, что в свою очередь влияет на величину нагрузки от вышележащего элемента на нижележащий при проходе колес подвижного состава, а также на силу взаимодействия пути и подвижного состава.

В «Правилах...» величина модуля упругости рельсового основания при укладке пути на деревянные шпалы в летнее время составляет примерно 20–30 МПа, в зимнее время 45–50 МПа. Значения модуля упругости, приведенные в «Правилах...», учитывают его зависимость от типа шпал, их длины и числа, типа рельсов, рода балласта. Такой подход «уравнивает» условия эксплуатации различных участков пути.

В экспериментальных исследованиях для получения значения модуля упругости используют петлю гистерезиса, полученную при статическом нагружении [2] и аналитические выражения, предложенные О. П. Ершовым [3].

Жесткость, получаемая экспериментально, учитывает и состояние материалов, и жесткость связей между элементами, и их изгибные свойства, что в полной мере отражает условия эксплуатации. Однако определение значения модуля упругости экспериментально достаточно

трудоемко и измерения его производятся только в исследовательских целях.

В данной работе производится уточнение значения модуля упругости пути. Корректировка этой величины производится за счет учета рода грунта земляного полотна, его состояния и толщины балластного слоя и его состояния.

Для проведения исследований по влиянию рода земляного полотна на модуль упругости пути были составлены расчетные схемы пути как сложной механической системы, позволяющей имитировать работу элементов пути в вертикальной плоскости более полно соответствующую реальным условиям и состоящую из следующих элементов: земляное полотно, балластный слой, шпалы, скрепления, рельсы. Поперечный профиль земляного полотна соответствует нормальному типовому профилю насыпи для прямого однопутного участка линий первой категории высотой 3 м. Конструкция призмы – однослойная. Геометрические разме-

ры шпал и рельсов соответствуют ГОСТам, определяющим их тип. Поверхности контактов всех составляющих модели «склеены» между собой. Возможность применения модели рассмотрена в [4].

Вертикальные силы прикладывались к обоим рельсам. Место и площадь приложения сил соответствует, месту и площади контакта колесной пары вагона с железнодорожной колеей при центральном положении первой. После проведения расчета получаем результат напряженно-деформированного состояния как всей модели в целом, так и отдельных ее элементов. Модуль упругости пути определялся по известным зависимостям, описанным в [2; 3].

При исследовании, так как грунты характеризуются плотностью, связностью, влажностью, по этим параметрам они были разбиты на пять групп, характеристики которых приведены в табл. 1 по данным [5–8].

Таблица 1

Характеристики грунтов по группам

Группа	Грунт	Коэффициент пористости ε	Нормативные значения удельных сцеплений C , кг/см ²	Угол внутреннего трения φ , град.	Модуль Юнга, E , МПа
1	Пылеватый грунт	0,45–0,75	0,08–0,02	36–26	25–30
2	Супесь	0,45–0,75	0,15–0,03	30–21	30–40
	Легкий суглинок	0,45–0,95	0,47–0,19	26–20	30–40
3	Суглинок средний	0,45–0,95	0,39–0,15	24–14	15–25
	Суглинок тяжелый	0,65–1,05	0,25–0,12	19–12	15–25
4	Глина легкая	0,55–1,05	0,81–36	21–14	10–31
5	Глина средняя	0,65–1,05	0,57–0,32	18–11	20–80
	Глина тяжелая	0,65–1,05	0,45–0,29	15–7	80–300

Были произведены вычисления для каждой группы грунтов при изменении следующих величин:

- материалов балласта (щебень, песок, гравий, ракушка);
- типов рельсов (P75, P65, P50, P43);
- типов шпал (IA, IB, IIA, IIB, IIIA, IIIB, IVA, IVB).

Также рассматривались варианты изменения жесткости по протяжению пути вводом силовой неровности:

- сила прикладывалась в пролете и над шпалой;
- при различных эпюрах шпал и смещении осей шпал на 8 см;
- при наличии куста гнилых шпал;

- при различной толщине балластного слоя;
- при различной влажности грунта и балласта.

В расчетах использованы данные существующих балластных материалов, характеристики которых достаточно широко описаны в [6; 8–10].

На основании данных, полученных путем математического моделирования, можно говорить о таких результатах.

На формирование модуля упругости пути влияют следующие показатели:

1. Изменение типа рельсов с P50 на P65 влечет за собой увеличения модуля упругости пути соответственно на 6 %;

2. Изменение типа шпал с ІА на ІІА уменьшает значение модуля упругости пути на 4 %;

3. При уменьшении расстояния между осями шпал с 0,625 – 0,5 м, модуль упругости пути увеличивается на 4 %;

4. Кустовая разрядка и сгущение шпал на допуск 8 см изменяет модуль упругости пути: при разрядке уменьшает на 12 %, при сгущении увеличивает до 16 %;

5. Наличие куста из трех гнилых шпал уменьшает модуль упругости пути на 31 %;

6. При увеличении толщины слоя балласта с 25 – 40 см, модуль упругости пути увеличивается соответственно на 37 %;

7. При увлажнении, с уменьшением углов внутреннего трения ϕ грунта и балласта уменьшается сопротивление грунта сдвигу, тем самым, уменьшая модуль упругости на 23 %, при изменении влажности с 10 до 25 %.

Таким образом, значение модуля упругости пути зависит от многих факторов, участвующих

в его формировании, некоторые из них носят случайный характер. Это вызвано как случайным разбросом параметров пути (несоответствие эпюре в пределах допуска, изменение в процессе эксплуатации толщины балластного слоя, неоднородности грунта), так и климатическими условиями, носящими случайный характер. Поэтому в результате исследования были предложены три значения модуля упругости пути для каждой группы грунтов: минимальное, максимальное и среднее. Учитывая особенности расчета пути на прочность, для определения напряжений в рельсах необходимо использовать минимальное значение модуля упругости пути, для определения напряжений в остальных элементах пути – максимальное значение этой величины. Результаты для конструкции пути с рельсами типа Р65, шпалами ІА, щебеночным балластом толщиной 40 см, представлены в табл. 2.

Таблица 2

**Модули упругости подрельсового основания в вертикальном направлении U_y (МПа)
при осевых нагрузках 220–250 кН.**

Группа грунта	Значения модулей U_y (МПа) для летних условий		
	средние	максимальные	минимальные
1	22,5	31,3	13,8
2	28,1	40,7	15,5
3	17,0	26,4	7,5
4	19,5	31,6	7,4
5	35,2	57,7	12,7

ДИИТом на основании экспериментальных исследований [11] были рекомендованы нормы по жесткостям и модулям упругости пути.

Некоторые рекомендованные значения представлены в табл. 3.

Таблица 3

**Модули упругости подрельсового основания в вертикальном направлении U_y (МПа)
при осевых нагрузках 220–250 кН и скоростях движения до 140 км/ч пассажирских
и 90 км/ч грузовых поездов для летних условий**

Характеристика конструкции пути	Значения модулей U_y (МПа) для летних условий		
	средние	максимальные	минимальные
Р65(6) 1600 (ІА,ІБ) ІЦ	17,0	27,0	7,0
Р65(6) 1840 (ІА,ІБ) ІЦ	19,0	31,0	7,5
Р65(6) 2000 (ІА,ІБ) ІЦ	25,0	42,0	8,0

Как видно результаты расчетов по исследуемой модели показывают хорошую сходимость

с рекомендованными на основании экспериментальных исследований значениями.

Таким образом, показано влияние рода грунта на значения модуля упругости пути. При этом эти значения не являются постоянным числом даже при опирании верхнего строения пути на грунт одного рода. Параметры, влияющие на формирование модуля упругости пути носят случайный характер, поэтому значения модуля упругости пути находятся в некотором интервале, границы которого определяются как разбросом характеристик, элементов верхнего и нижнего строений пути, так и геометрических отклонений, появляющихся при эксплуатации пути. Тем самым доказана необходимость корректировки значений модуля упругости пути, путем учета рода грунта земляного полотна, его состояния и толщины балластного слоя и его состояния.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Правила производства расчетов верхнего строения железнодорожного пути на прочность. – М.: Трансжелдориздат, 1954. – 70 с.
2. Вериго М. Ф. Вертикальные силы, действующие на путь при прохождении подвижного состава. Труды ВНИИЖТа, вып. 97. – М.: Трансжелдориздат, 1955. – С. 25–288.
3. Ершков О. П. Характеристики пространственной упругости рельсовой нити. Труды ВНИИЖТа, вып. 192. – М.: Трансжелдориздат, 1960. – 59–101 с.
4. Данович В. Д., Рыбкин В. В., Патласов А. М., Бондаренко И. А. Выбор расчетной схемы и параметров железнодорожного пути при расчете методом конечных элементов. – Строительство: Сб. науч. тр. ДИИТа. – Вып. 10. – Д., 2002. – С. 35–45.
5. Под редакцией Подпалого А. Ф., Чернышева М. А., Титова В. П. Справочник по земляному полотну эксплуатируемых железных дорог. – М.: Транспорт, 1978. – С. 5–31.
6. Линович Л. Е. Расчет и конструирование частей гражданских зданий. – К.: Будівельник, 1972. – 664 с.
7. Хействер Б. Д. О допускаемых напряжениях на земляном полотне. Труды ВНИИЖТа, вып. 97. – М., 1955. – С. 386–410.
8. Вериго М. Ф. Расчет напряжений в балластном слое и на основной площадке земляного полотна. Труды ВНИИЖТа, вып. 97. – М., 1955. – С. 326–352.
9. Под редакцией Варызгина Е. С. Содержание балластной призмы железнодорожного пути. – М.: Транспорт, 1978. – С. 31–47.
10. Попов С. Н. Одопускаемых напряжениях на балласт. Труды ВНИИЖТа, вып. 97. – М., 1955. – С. 353–386.
11. Рыбкин В. В., Гнатенко В. П., Татуревич А. П., Уманов М. И. Определение фактического состояния жесткости рельсовых нитей для исследования взаимодействия экипажей и пути, и оценки факторов, влияющих на износ. Отчет НИЛ ДИИТа, Д., 2001. – 45 С.

А. К. БУГАЙОВ (Придніпровська залізниця),
В. Д. ПЕТРЕНКО, О. Л. ТЮТКІН, С. В. ЦЕПАК (ДІТ)

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ПРАКТИЧНИХ РОЗРАХУНКІВ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА З ВАРІАЦІЄЮ ДИНАМІЧНОГО ВПЛИВУ

В роботі викладено результати аналізу динамічного впливу на роботу земляного полотна при переході на швидкісний рух. Наведено впровадження методу кінцевих елементів у розрахунки під час модернізації реальних споруд.

В работе изложены результаты динамического влияния на работу земляного полотна при переходе на скоростное движение. Приведено внедрение метода конечных элементов в расчеты во время модернизации реальных сооружений.

The results of dynamic influence on the subgrade work are shown in the article at the transition to high-speed motion. The intrusion of a finite element method in calculations during the innovation of real facilities is done.

Огляд науково-технічної літератури по перевлаштуванню траси Київ–Дніпропетровськ при переході до підвищеної швидкості руху поїздів до 140 км/год підтвердив складність врахування динамічної складової, що обумовлює спрощені підходи нормативної документації для проектування. Однак розгляд цього напрямку в науково-практичній роботі є необхідним, так як збільшення швидкості рухомого складу залізниць зростає на рівні з розвитком пропускної спроможності. При цьому також слід врахувати, що всі наукові дослідження земляного полотна, проводились без розвитку та формування напрямків на основі, не розробленої на даний термін, теорії управління земляним полотном.

На цьому рівні створились умови за яких на ПЧ та геотехнічних станціях відпала необхідність присутності приладів постійного контролю земполотна та вивчення і аналізу ґрунтів, що привело до скорочення інформації про земляне полотно, яка накопичується і аналізується у проєктантів. На діючих ПЧ немає можливості використовувати комп'ютерну техніку для оцінки і порівняння існуючих методів розрахунків, тому на даному етапі треба використовувати імітаційне моделювання земляного полотна методом скінчених елементів (МСЕ), як найбільш зручного, точного та наочного із відомих чисельних методів [1–5]. Практична реалізація імітаційного моделювання МСЕ проводилася на основі ліцензійного професійного комплексу Structure CAD for Windows, version 7.29 R3 (SCAD). Цей пакет відомий своєю зручністю у користуванні, наочністю результатів розрахунку, достатньою збіжністю результатів.

Лабораторією механіки ґрунтів проведено дослідження по визначенню швидкості розповсюдження та впливу силових хвильових процесів на ґрунти. В результаті випробувань визначено, що вступаюча хвиля від руху тягового електровозу в щільних ґрунтах розповсюджується швидше і досягає швидкості 3800 м/с у центрі земполотна, а на поверхні відкосу – 180–200 м/с. Ця хвиля має характер сейсмічної, розповсюджується до 50–100 м від земляного полотна, за малої частоти появ значно не впливає на споруди, а використовується в основному для врахування динамічної пружної константи при аналізі ґрунтів за формулою [2]:

$$E_d = C_p^2 \cdot \rho, \quad (1)$$

де C – швидкість розповсюдження поздовжньої хвилі, м/с;

ρ – щільність ґрунту, кг/м³.

Слід відзначити, що ця складова розрахунків використовується (у вигляді коефіцієнтів) нормативними документами тільки при розрахунках сейсмічного впливу.

Враховуючи вимоги нормативних документів, за яких достатньо висоти насипу із піску у 1 м до баластної призми для врахування динамічних властивостей руху, були досліджені вертикальні-поперечні хвилі. В результаті аналізу вимірів виявлено, що для баластного шару найбільша роль належить вертикальній складовій. Особливо в районах стику величина її зростає у 2–3 рази вище, у порівнянні із другими участками.

По даним Г. М. Шахунянца [6] доведено, що чим більше швидкість рухомого складу, тим швидше переміщується навантаження через

даний перетин колії і тим на меншу глибину проникає її вплив. На глибині 1 м від основної площадки при швидкості 50 км/год напруження у підрельсовому перерізі склали в середньому близько 43 % від напружень основної площадки, при швидкості 100 км/год – 38 %, а при швидкості 150 км/год – 32 %. Із збільшенням глибини напруження згасають і на глибині 2 м при тих же умовах складають (для швидкості 100 км/год) – 14 %, а на глибині 5 м – менше 1 %.

Враховуючи це, ми можемо впевнено сказати, що на глибині тільки 5 м вплив динамічної вертикальної складової можливо не враховувати, а нормативне значення за сумою впливу сейсмічної поздовжньої та вертикальної хвиль недостатньо досліджені і не враховуються.

Частотна характеристика, яка впливає на процес можливого відпочинку (відновлення міцностних властивостей ґрунту земполотна) та зчеплення ґрунтів, по даним нормативної документації зовсім не враховується.

Для того, щоб надати рекомендації щодо стану земляного полотна, нами проведений аналіз, сутністю якого було порівняння стану земляного полотна при різних швидкостях потягу.

Враховуючи, що збільшення швидкості приводить до зміни хвилових процесів [7], які розповсюджуються у деякій зоні масиву, а також збільшення частотного ударно-силового впливу на споруди [8], приймаємо, що збільшення частоти імпульсів від суми всіх колісних пар поїзду (наприклад у 20 вагонів), дозволяє вважати навантаження під шпальною площадкою (труби), як нескінченний-ударний процес, термін дії окремих частин є загальною сумою коротких імпульсів. Це дозволяє використати задачу Мак-Міллена, де кінцева тривалість безкінечно-ударного процесу є прямий результат

зменшення проміжків часу між послідовними ударами. Все це дозволяє «розмазати» окремий імпульс у часі, а також отримати вираз для окремої «сили»:

$$P_{\text{ср}} = mV_0 / t_0. \quad (2)$$

Із (2) зрозуміло, що збільшення сили $P_{\text{ср}}$ впливає на питоме розподілення $Q_{\text{уд}}$, і яке змінюється по параболічній залежності від V – швидкості поїзду, де при розрахунках прийнято навантаження m на вісь 20 т [6], та яке віднесе не до площі одного погонного метру шпальної решітки, тобто:

$$Q_{\text{уд}} = P_{\text{ср}} / L_{\text{шпали}} \cdot 1 = P_{\text{ср}} / 2,75. \quad (3)$$

Для того, щоб надати рекомендації щодо тану земляного полотна, нами проведено аналіз, сутністю якого було порівняння стану земполотна при різних швидкостях руху.

Проаналізовано стан земполотна з такими значеннями швидкостей:

- 1 варіант – $V = 70$ км/год.
- 2 варіант – $V = 140$ км/год.
- 3 варіант – $V = 210$ км/год.

Навантаження на земполотно взято із розрахунків на динамічний вплив потягу, який пересягається з наведеними швидкостями:

- 1 варіант – $q = 150$ кН/м².
- 2 варіант – $q = 540$ кН/м².
- 3 варіант – $q = 1200$ кН/м².

Для розрахунків обране земполотно, загальний вигляд перерізу якого наведено на рис. 1.

Схема прикладення трьох варіантів динамічного навантаження на верхню частину земполотна наведена на рис. 2.

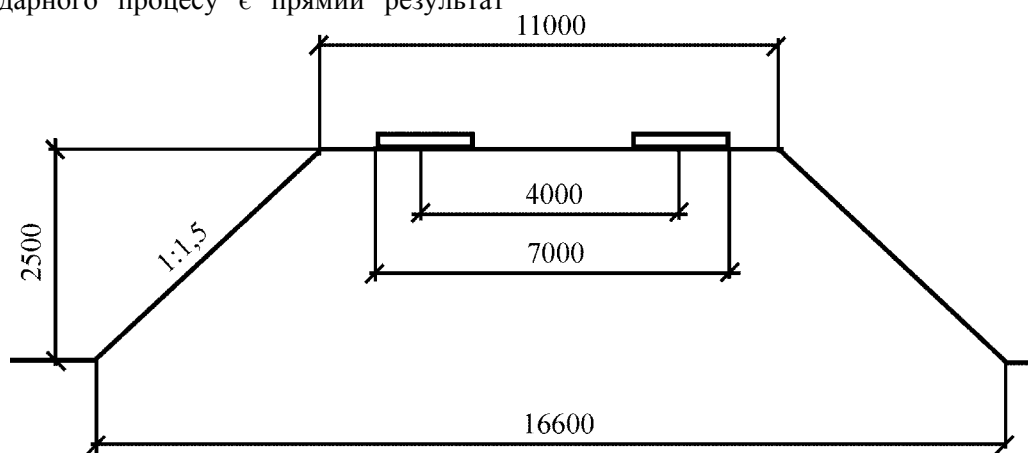


Рис. 1. Загальний вигляд перерізу земляного полотна

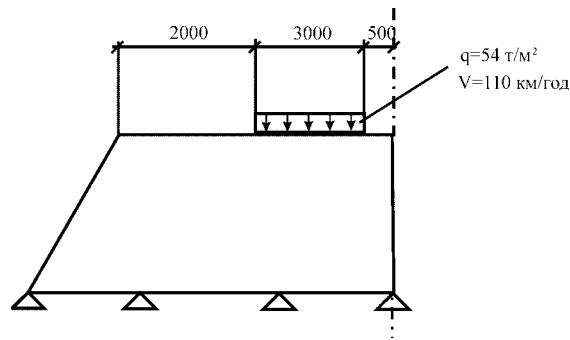


Рис. 2. Схема прикладення варіантів динамічного навантаження

Модель імітаційного моделювання МСЕ обиралася плоскою. Такий вигляд моделі зумовлений однорідністю структури земполотна і достатньо адекватно відповідає реальному перерізу земполотна на 115 км. Основні розміри узяті із технічної документації.

На рис. 3 наведена розрахункова схема земполотна. Для отримання найбільшої збіжності у всіх розрахунках застосовувалися лише узгоджені: скінчені елементи типу 44 (чотирикутний узгоджений елемент) та 42 (трикутний узгоджений елемент).

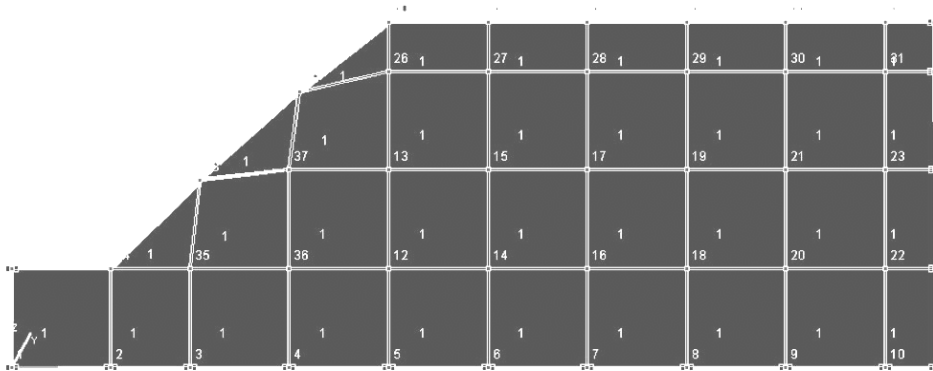


Рис. 3. Розрахункова схема земляного полотна

Кількість скінчених елементів – 34 штуки. На схему накладені граничні умови: по нижній площадці – заборона лінійних переміщень по осях X , Y , Z ; з лівого боку схеми – аналогічно; по осі симетрії земполотна – тільки X та Y , можливе переміщення по осі Z (просадка).

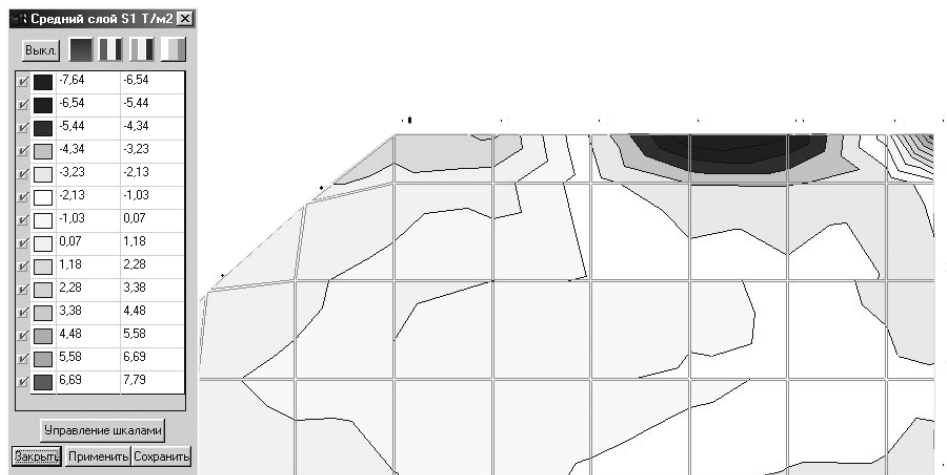
Деформативні властивості скінчених елементів визначалися за матеріалом полотна: суглинок твердий, модуль пружності $E = 35,2$ МПа, коефіцієнт Пуассона $\mu = 0,3$, питома вага $\gamma = 19$ кН/м³, тип жорсткості 1 (див. рис. 3). Товщина скінченого елемента $h_{ce} = 1$ м, розміри – від $0,5 \times 1$ м до 1×1 м.

Після проведених розрахунків з трьома варіантами навантажень, які пов'язані з трьома варіантами швидкостей потягу, проведемо порівняльний аналіз напружено-деформованого стану імітаційних моделей земполотна. Для більшої наочності скористаємося ізополями та ізолініями напружень та переміщень у моделі, які отримані із постпроцесора комплексу SCAD. Окрім картин напружень та переміщень

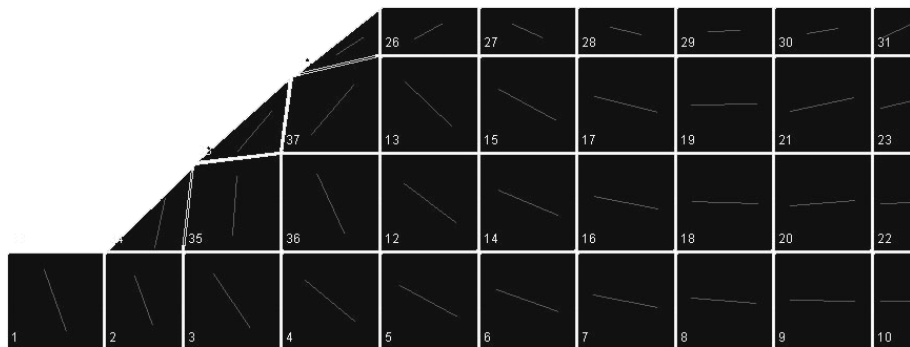
по осі Z (вертикальні), отримані також картини розміщення площадок головних напружень, що є додатковою важливою інформацією про напружений стан. Результати розрахунків наведені на рис. 4–6.

Як видно із порівнянням напруженого стану, наприклад ізоліній та ізополей, картина напружень ідентична якісно, тобто закономірність розподілу напружень у земполотні при підвищенні навантаження від динаміки потягу для цих випадків однакова. Це можна перевірити також і по розташуванню площадок головних напружень – їх розміщень у скінчених елементах цих трьох випадків ідентичне. Цей факт пояснюється тим, що однорідність земполотна та незмінність його форми призводить до виникнення закономірності розподілу напружень у тілі земполотна, що і повинне було чекати, так як відомо, що розподілення напружень, наприклад, у балках-стінках, не залежать від величин навантаження, а лише від місця його прикладення [9].

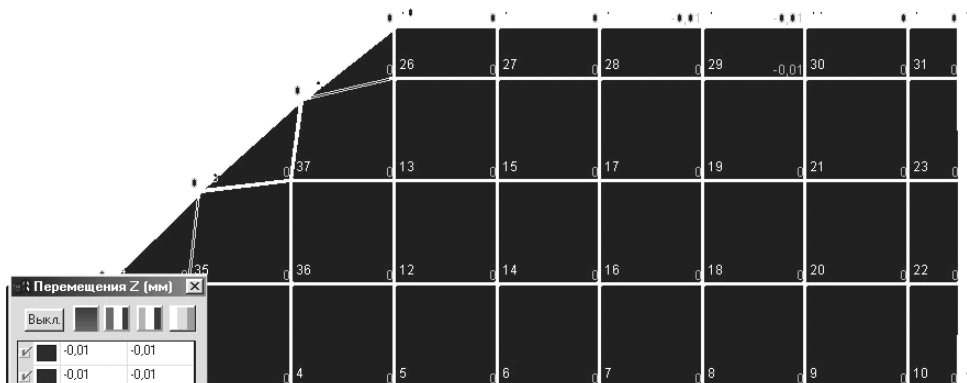
1)



2)



3)



4)

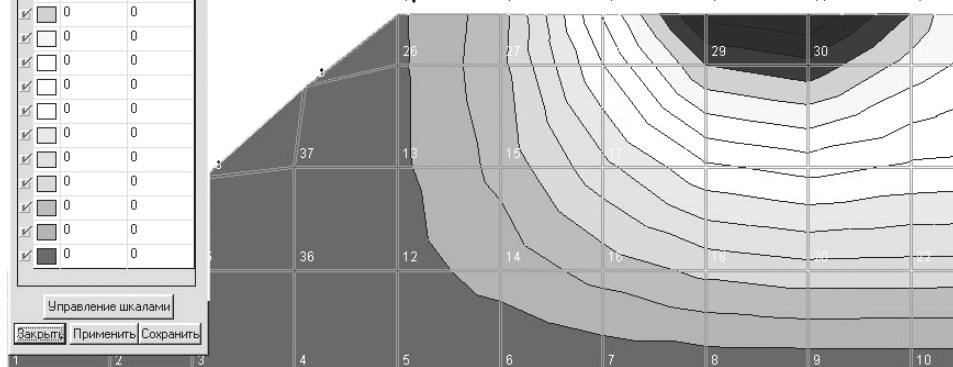
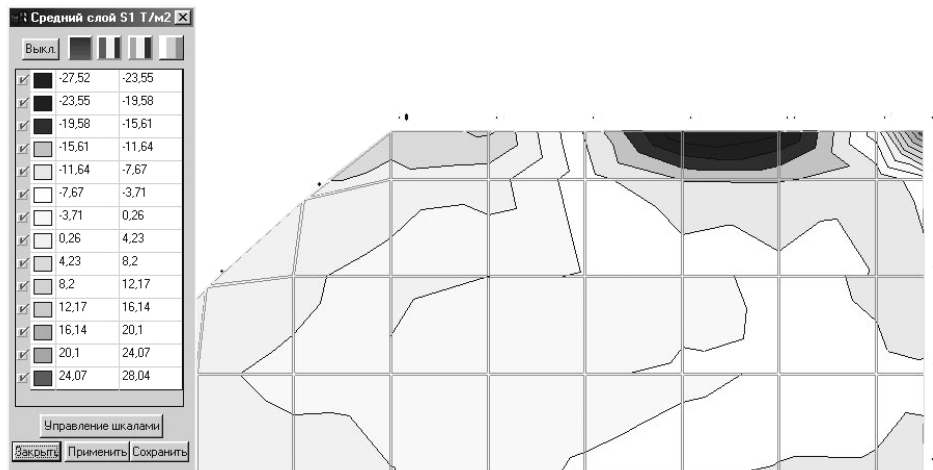
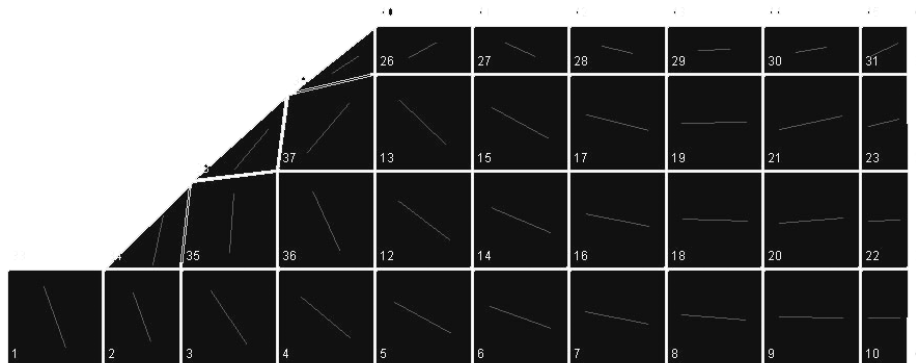


Рис. 4. Ізолінії та ізополя напружень і переміщень у моделі земполотна з навантаженням $q = 150 \text{ кН/м}^2$:
 1 – картина ізоліній та ізополів напружень; 2 – схема розташування площадок головних напружень;
 3 – числові значення вертикальних переміщень; 4 – картина ізоліній та ізополів переміщень по осі Z (вертикальні)

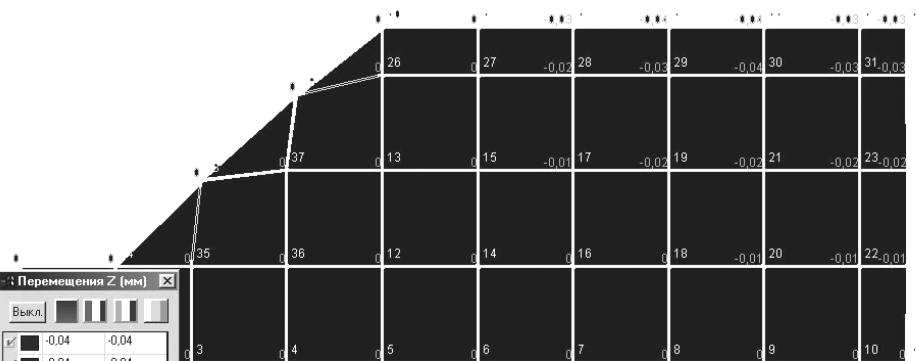
1)



2)



3)



4)

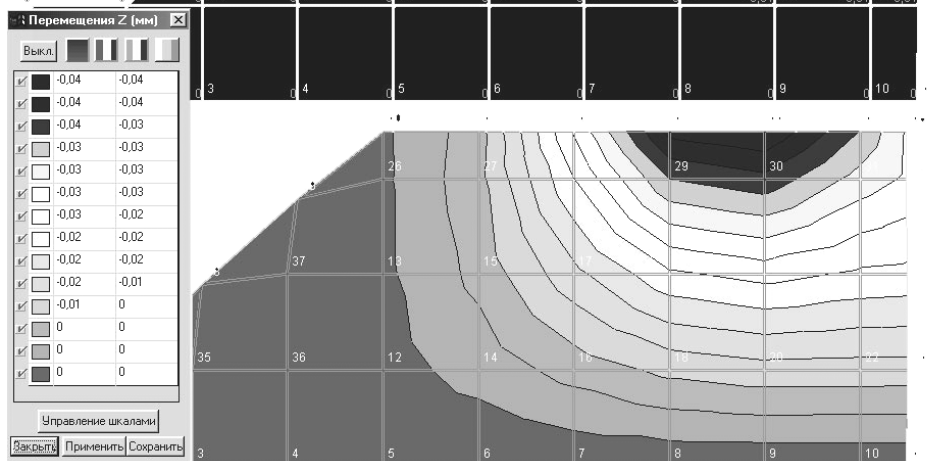
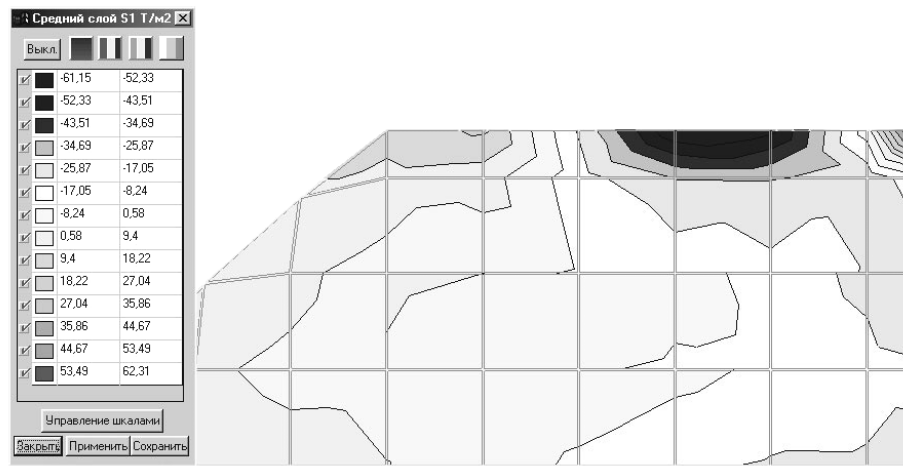
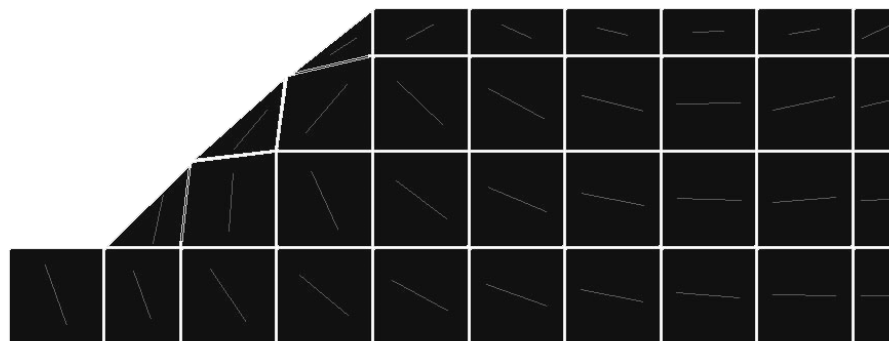


Рис. 5. Ізолії та ізополі напружень і переміщень у моделі земполотна з навантаженням $q = 540 \text{ кН/м}^2$:
 1 – картина ізоліїв та ізополів напружень; 2 – схема розташування площадок головних напружень;
 3 – числові значення вертикальних переміщень; 4 – картина ізоліїв та ізополів переміщень по осі Z (вертикальні)

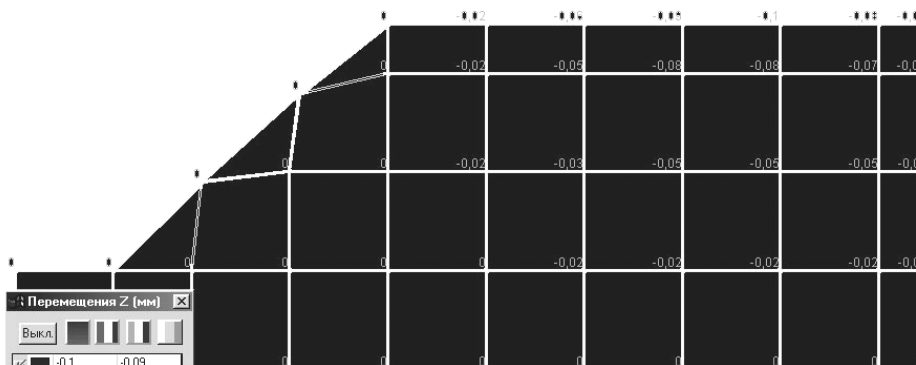
1)



2)



3)



4)

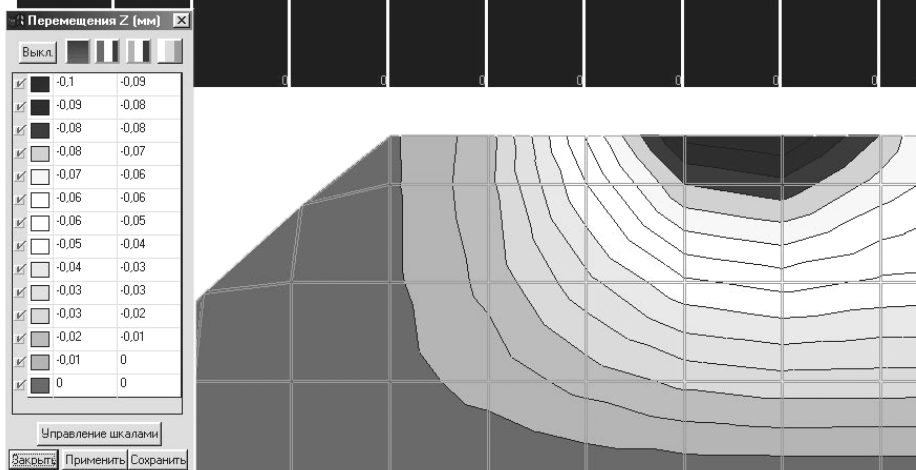


Рис. 6. Ізолінії та ізополя напружень і переміщень у моделі земполотна з навантаженням $q = 1200 \text{ кН/м}^2$:

1 – картина ізоліній та ізополів напружень; 2 – схема розташування площадок головних напружень;

3 – числові значення вертикальних переміщень; 4 – картина ізоліній та ізополів переміщень по осі Z (вертикальні)

Кількісна картина напружень у трьох варіантах, навпроти, змінюється значно. Причому, нами знайдена закономірність кількісного розподілу напружень, а саме – величина напружень у двох варіантах навантаження змінюється пропорційно різниці між навантаженнями, тобто, якщо навантаження зростає у 2 рази, якісно напруження не змінюється, а кількісне зростає у 2 рази. Це можна побачити із порівняння, наприклад, максимальних напружень (див. рис. 4–6):

- 1 та 2 варіанти:

$$(-27,52)/(-7,64) \approx 3,6; 24,07/6,69 \approx 3,6.$$

Порівняємо навантаження на модель

$$540/150 = 3,6.$$

- 2 та 3 варіанти:

$$(-61,15)/(27,52) \approx 2,2; 53,49/24,07 \approx 2,2.$$

Порівняємо навантаження на модель

$$1200/540 = 2,22.$$

- 1 та 3 варіанти:

$$(-61,15)/(-7064) \approx 8,0; 53,49/6,69 \approx 7,99.$$

Порівняємо навантаження на модель

$$1200/150 = 8.$$

Усі інші проміжні значення напружень також укладаються у цю закономірність. Можна зробити висновок: картини напружень при різних навантаженнях, не змінюючись якісно, змінюються кількісно на величину, яка дорівнює різниці між навантаженнями, яка названа нами передавальне число напружень

$$n = q_1/q_2; \sigma_1 = n \cdot \sigma_2,$$

де n – передавальне число напружень; q_1 та q_2 – відповідно навантаження варіантів 1 та 2; σ_1 , σ_2 – відповідно напруження варіантів 1, 2.

Окрім порівняльного аналізу напруженого стану слід визначити, що його неоднорідність веде до появи зон пластичного деформування, а саме під дією сили у центрі моделі (ядро пластичного деформування). Характер пластичного деформування зумовлений у цих зонах високим рівнем напружень стиску (до 0,6 МПа у випадку 3, рис. 6, 1). Але навпроти, відбувається і явище пластичного деформування, що викликає напруження розтягу (до 0,5 МПа у випадку 3, рис. 6, 1), а саме – випирання. Такі ж зони розташовуються у міжколіїному проміжку і, що більш небезпечно, на відкосі земполотна. Із кількісного аналізу напружень переміщень мож-

на зробити висновок, що при швидкості 210 км/год ця зона стає нерівноважною, переходячи у межовий стан, що веде до втрати земполотном стійкості. Причому, слід відзначити, що вертикальні переміщення з підвищенням швидкості розповсюджується на більш нижчі шари земполотна – у варіанті 1 – 0,8 м, у варіанті 2 – 2,5 м, у варіанті 3 – 2,8 м у глибину. Це ще раз доводить те, що у варіанті 3 нарівні з високим рівнем напружень виникає серйозна картина переміщень, що призводить до появи великих зон пластичного деформування. Збільшення напружень на межі баластного шару та основному майданчику земполотна приводить до збільшення швидкості конвергенції, тобто вирівнювання властивостей за рахунок проникання ґрунтів земполотна у баласт, а також до зменшення товщини шару баласту, який поглинає енергію руйнування – навантаження від рухомого складу.

За результатами розрахунків можливо відзначити, що експлуатація земляного полотна для швидкості руху поїздів у 140 км/год, безумовно можлива по запасах міцності. Для подальшої експлуатації земполотна, особливо при збільшенні кількості швидкісних потягів, необхідно забезпечення даної ділянки приладами постійного контролю, базою обробки отриманої інформації та призначення міжремонтних термінів в межах ПЧ.

БІБЛОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Бате К., Вилсон Е. Численные методы анализа и метод конечных элементов: Пер. с англ. – М.: Мир, 1982. – 448 с.
2. Немчинов Ю. И. Расчет пространственных конструкций (метод конечных элементов). – К.: Будівельник, 1980. – 232 с.
3. Метод суперэлементов в расчете инженерных сооружений // В. А. Постнов, С. А. Дмитриев, Б. К. Емышев, А. А. Родионов. – Л.: Судостроение, 1989. – 288 с.
4. Рикардс Р. Б. Метод конечных элементов в теории оболочек и пластин. – Рига.: Зинатне, 1988. – 284 с.
5. Сеницин А. П. Метод конечных элементов в динамике сооружений. – М.: Стройиздат, 1978. – 230 с.
6. Шахунянц Г. М. Железнодорожный путь: Уч. для вузов ж.-д. трансп. – 3-е изд. – М.: Транспорт, 1987. – 479 с.
7. Глушко В. Т., Ямщиков В. С., Яланский А. А. Геофизический контроль в тоннелях. – М.: Недра, 1987. – 287 с.
8. Введение в теорию механического удара. Пановко Я. Г. – М.: Наука, 1977. – 224 с.
9. Дарков А. В. Кузнецов В. И. Строительная механика. – М.: Высшая школа, 1962. – 472 с.

СОЗДАНИЕ И ВНЕДРЕНИЕ УПРУГИХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРОМЕЖУТОЧНОГО СКРЕПЛЕНИЯ РЕЛЬСОВОГО ПУТИ

Розглядаються проблеми розвитку рейкового транспорту та підвищення технічного рівня конструкцій проміжного рейкового скріплення.

Рассматриваются проблемы развития рельсового транспорта и повышения технического уровня конструкций промежуточного рельсового скрепления.

The development problems of a rail transport and heightening of a technological level of a construction of an intermediate rail fastening are considered.

В современной практике для снижения динамического взаимодействия пути и подвижного состава, а также для уменьшения расстройств рельсового пути широкое применение получили упругие элементы промежуточных скреплений, жесткостные и диссипативные параметры которых находятся в определенных соотношениях между собой и с параметрами клеммных соединений. В рамках существующих условий эксплуатации, осевых нагрузок и скоростей движения такие прокладки достаточно устойчиво обеспечивают оптимальные характеристики вертикальной упругости колеи, в особенности на железобетонных шпалах и стрелочных брусьях.

В промежуточных рельсовых скреплениях упругие элементы выполняют следующие функции:

- снижают динамическое воздействие на путь и обеспечивают виброзащиту подрельсового основания пути, что предохраняет балластную призму и уменьшает рост неровностей пути;
- благодаря высоким жесткостным и демпфирующим свойствам материала упругие элементы определяют частоту собственных колебаний узла скрепления и изменяют весь спектр частот колебаний от низких до звуковых;
- оказывают доминирующее влияние на основные параметры пространственной жесткости узла скрепления; определяют вертикальную жесткость, продольную жесткость на сдвиг вдоль рельса и совместную жесткость с пружинными клеммами;
- повышают надежность узла скрепления в целом, улучшают ремонтпригодность и позволяют повысить скорость движения поездов.

Для создания упругих элементов рельсовых промежуточных скреплений использованы результаты теоретических и экспериментальных исследований автора совместно с учеными ряда

ведущих организаций [4–30].

Наиболее важными упругими элементами рельсовых промежуточных скреплений являются упругие прокладки и клеммы.

В практике [1–9] наиболее часто используют прокладки толщиной 5...14 мм с жесткостью на сжатие 50...120 т/см (для пластмассовых 250 т/см); для регулировки положения рельсов по высоте в ряде случаев используют специальные прокладки-регуляторы разной толщины.

Резиновые прокладки эксплуатируются при переменных температурах окружающей среды –55...+70 °С и действии активной внешней среды: осевое масло, щелочь, повышенная концентрация озона и кислорода воздуха, действие электрических полей и т. д.

На узел скрепления действуют вертикальные нагрузки от колес; помимо этого в результате совместного действия вертикальных и поперечных составляющих колесной нагрузки на рельсовую нить появляется крутящий момент. Таким образом, резиновые прокладки испытывают следующие нагрузки: постоянные статические вертикальные нагрузки от рельса, эпизодические поездные динамические нагрузки, статические и динамические сдвиговые нагрузки от угона и возврата рельса и крутящий момент, приводящий к некоторому перекосу прокладок.

Требуемый срок службы прокладок без выхода жесткостных и диссипативных параметров за пределы допускаемых значений составляет примерно 4...6 лет при годовом грузопотоке 100 млн т. брутто; за время эксплуатации прокладки получают около $3 \cdot 10^7$ циклов динамической нагрузки с амплитудой деформации $A = 1,5...2,5$ мм и частотой $\omega = 3...25$ Гц (высокочастотные гармоники могут достигать нескольких мегагерц); относительная деформация сжатия резиновых прокладок достигает

25...30 %.

Выбор марки резины. Испытаниям подлежали две модели серийных резиновых прокладок из резины первой группы на основе СКИ-3 (табл. 1); в этой же таблице приведены основные технологические показатели для двух моделей резин, из которых для изготовления опытной партии прокладок была выбрана рези-

на № 1; состав исходной смеси: СКИ-3+СКМС+АРКМ-15 по 50 масс. частей, технический углерод – 65 масс. частей, окись цинка – 5 масс. частей и др. Для испытаний по определению вязко-упругих свойств модельные образцы и резиновые прокладки изготавливались из специальной смеси резины.

Таблица 1

Результаты исследований физико-механических характеристик опытной партии резиновых прокладок рельсового пути, одиночных и двойных перекрестных стрелочных переводов

Наименование показателей	Серийные резиновые прокладки ДСТУ 2805-94	Резиновые прокладки по ТУ 38-105-683-87	Экспериментальные образцы опытных прокладок конструкции НКТЬ ЦП УЗ	
			1	2
Условная прочность при растяжении, кг/см ²	73	172	182	145
Относительное удлинение при разрыве, %	220	335	340	300
Относительная остаточная деформация после разрыва, %	6	12	6	12
Твердость по ШОРуА, ед.	60	75	67	75
Температурный предел хрупкости, °С	–30	–55	–58	–52
Истираемость, см ³ /квт час	426	256	197	131
Коэффициент теплового старения по относительному удлинению при 70 °С, 144 час., %	0,55	0,73	0,68	0,60
Удельное объемное сопротивление, Ом/см	$2,6 \cdot 10^{-9}$	$9,1 \cdot 10^{-9}$	$9,9 \cdot 10^{-9}$	$9,8 \cdot 10^{-9}$
Изменение массы образца после воздействия осевого масла при 23 °С в течении 24 час., %	6,1	6,8	7,0	
Изменение относительного удлинения после старения в воздухе при 100 °С, 24 часа, %	–8,3	–27,3	–46,1	–11,3
Относительная остаточная деформация сжатия при 30% сжатии при 70 °С 24 часа	39,8	32,1	20,6	30,1
Параметры вулканизации стандартных и опытных образцов	151 °С 10 мин	143 °С 15 мин	151 °С 20 мин	
Вулканизационная усадка	2,0	1,5	1,9	
Усталостная выносливость при многократном растяжении, E=150%, циклов до разрушения	520	1890	21460	21840
Коэффициент диссипации энергии	0,40	0,42	0,68	0,69
Статическая жесткость при 30 % относительном сжатии, кг/см	$12 \cdot 10^4$	$11 \cdot 10^4$	$8 \cdot 10^4$	
Срок службы, лет	0,5–1,0		5,7 – 6,0	

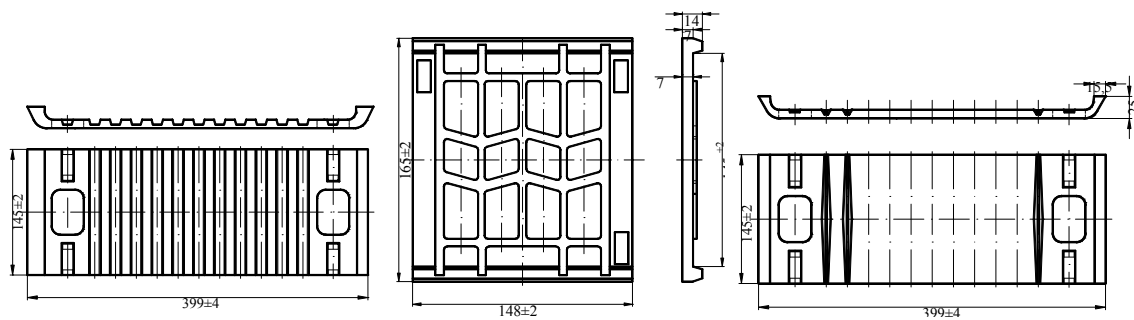
Образцы для испытаний и их отбор. Определение вязко-упругих свойств упругих прокладок, методы проведения испытаний, количество образцов и их геометрические размеры, обработка результатов испытаний регламентированы действующими стандартами. Поэтому исследование модельных образцов и резиновых прокладок различных типов проводились с максимальным приближением к стандартам.

На рис. 1, 2 показаны некоторые конструкции опытной партии упругих прокладок для двойного перекрестного стрелочного перевода и рельсовых промежуточных скреплений.

Отбор образцов проводился по твердости и статической жесткости при выдержке образцов под нагрузкой не менее одного часа; прокладки отбирались по жесткости при монофазном сжатии при деформации до 30 %.



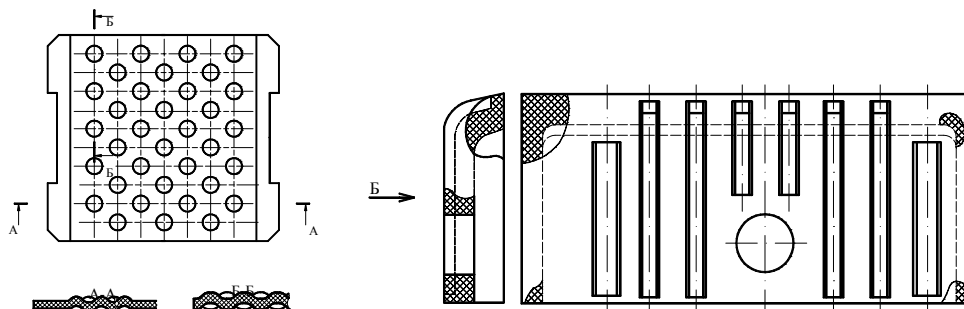
Рис. 1



а – напальная подкладка типа ПН (ЦП-328)

б – подрельсовая подкладка типа ПРЦП-4

в – напальная подкладка типа ПНЦП31-1



г – полиуретановая подрельсовая подкладка с переменным

д – гаситель динамических ударов

Рис. 2. Упругие прокладки рельсовых промежуточных креплений

Определение твердости. Измерение твердости по ШОРу А регламентировано стандартом ГОСТ 263-75. Стандарт предусматривает измерение твердости образцов без видимых повреждений, шероховатостей, пор, посторонних включений; образцы должны иметь толщину не менее 6 мм, измерение твердости каждого

образца осуществляется в трех точках не менее трех раз.

Твердость модельных образцов и резиновых прокладок измерялась переносным прибором 2033 ТИР; погрешность перемещения индентора в каждой точке шкалы прибора $\pm 0,025$ мм. Величина твердости резины № 1 показана в табл. 2.

Таблица 2

Физико-механические характеристики образцов резины	Усредненные значения
Твердость по ШОРу А	70
Коэффициент Пуассона	0,485
Условно-равновесный модуль сдвига G_{∞} , Мпа	17,4
Условно-равновесный модуль Юнга E_{∞} , Мпа	52,2
Мгновенный модуль сдвига G_0 , Мпа	28,3
Динамический модуль сдвига (при $\omega = 20$ 1/с и $\gamma = 0,30$) G_q , МПа	24,2
Коэффициент диссипации энергии ψ	0,68
Статическая жесткость C_{∞} резиновых прокладок первой группы при 30 % относительной деформации сжатия, кг/см	80000
Статическая жесткость C_{∞} резиновых прокладок второй группы при 30 % относительной деформации сжатия, кг/см	48000

Определение коэффициента Пуассона. Наряду с модулем сдвига, модулем Юнга и коэффициентом диссипации энергии этот параметр является важнейшим, особенно для наполненных резин. Для слабонаполненных резин обычно коэффициент Пуассона принимается $\nu = 0,5$ и используется во всех практических расчетах. Для наполненных резин коэффициент ν не остается постоянным и зависит от вида и концентрации наполнителя; при сухом трении на торцах для большинства резин с наполнителем свыше 50 масс. частей техуглерода $\nu = 0,465 \dots 0,485$.

Определение температуры в резиновых образцах. При эксплуатации резиновые прокладки испытывают действие внешнего температурного поля, вызванного сезонными климатическими изменениями, и температуру от диссипативного разогрева при действии периодически повторяющихся динамических нагрузок. Сезонная температура окружающей среды изменялась в пределах $-55 \dots +70$ °С; температура внутри резинового массива прокладки от диссипативного разогрева была сравнительно небольшой и колебалась от $+2$ °С до $+5$ °С

(превышение над температурой внешней среды).

Температура резиновых элементов на их поверхности и в массиве измерялась медь-константановыми точечными и игольчатыми термопарами; выходной сигнал от термопар регистрировался потенциометром постоянного тока ПП-63 или милливольтметром. Тарировка термопар проводилась по отдельной методике.

Определение статических характеристик. К таким характеристикам относятся: жесткость прокладок при монофазном сжатии, условно-равновесный модуль сдвига и условно-равновесный модуль Юнга.

Жесткостные характеристики резиновых прокладок определялись при монофазном сжатии на механической установке FP 100/1 фирмы «Heckert» (ФРГ) с автоматической записью зависимости «сила – перемещение» и на гидравлическом прессе усилием до 50 т. Скорость нагружения прокладок $0,01 \dots 0,001$ м/с, точность регистрации силы $2 \dots 5$ %, по перемещению точность записей определялась точностью индикатора часового типа, т. е. до $0,01$ мм.

Полученные, для двух типов прокладок из резины № 1, зависимости «сила-перемещение»

показаны на рис. 3. Как видно, линейность зависимости $P \approx \Delta$ практически отсутствует и поэтому применимость линейного закона Гука возможна лишь для малых величин деформации. При относительной деформации сжатия 30 % и более, что наблюдается в реальных условиях эксплуатации прокладок, существует нелинейная связь между нагрузкой и деформацией и поэтому модуль упругости можно определить лишь в дифференциальной форме.

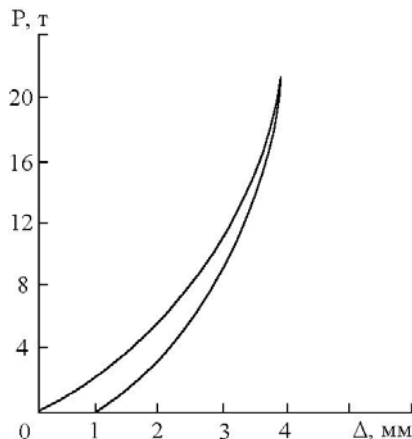


Рис. 3. Статистически обработанные зависимости $P \sim \Delta$ для партии из пяти напальных прокладок ($h = 10$ мм) из резины № 1; скорость деформации 0,001 м/с

Как отмечалось выше, релаксационные процессы лежат в основе всех особенностей проявления резиной вязкоупругих свойств. Одной из таких особенностей является тот факт, что при деформировании резиновой прокладки зависимость «сила-перемещение» различна при нагрузке и разгрузке (см. рис. 3). При этом, как правило, образуется открытая петля гистерезиса (в динамике она носит замкнутый характер и называется закрытой). Такая петля гистерезиса характеризует количество энергии, рассеиваемой в материале за один цикл деформирования и расходуемый на нагрев образца и на изменение его структуры. Площадь петли обычно определяется свойствами резины, скоростью деформирования образца и температурой окружающей среды.

Релаксационные процессы проявляются также в том, что зависимость «сила-перемещение» для первого цикла нагрузки отличается от последующих циклов. При повторных циклах площадь петли гистерезиса уменьшается стремясь к некоторому равновесному значению. Поэтому при исследовании вязкоупругих свойств прокладок жесткость при сжатии определялась по петле гистерезиса третьего или пятого цикла.

На рис. 4 показана кривая релаксации для пары образцов из резины № 1, полученная при простом сдвиге и относительной деформации 30 %. Нелинейный участок кривой релаксации ab согласно Г. М. Бартеневу относится к процессу химической релаксации. Как видно, за время нагружения в течение 24 часов процесс химической релаксации не стал установившимся, и механические характеристики образцов следует рассматривать как кинетические. В этом случае условно-равновесный модуль сдвига определяется экстраполяцией линейного участка на ось сил; обычно переносят значение модуля сдвига в точке K на ось модуля и это значение модуля считается условно-равновесным. Для более точных расчетов кривую релаксации получают при длительных временах нагружения. Найденные таким образом значения модуля сдвига (или модуля Юнга) использовались в дальнейших расчетах. В табл. 2 показаны их значения, обработанные статистически для партии из 9 пар элементов из резины № 1.

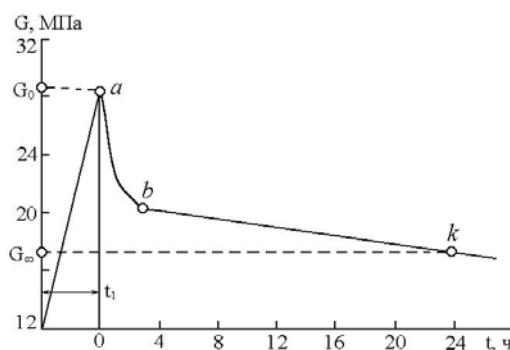


Рис. 4. Кривая релаксации для резины № 1:
 t_1 – время нагружения

Определение жесткости прокладок при монофазном сжатии и сдвиге. Для рассматриваемых случаев нагружения жесткость характеризует кинематическую реакцию прокладки на приложенную нагрузку и при малых деформациях определяется геометрическими параметрами изделия и способом приложения нагрузки.

Рассмотрим случай плоского сжатия призмы $a \times b \times h$. Жесткость такой призмы определяется из соотношения [5; 11; 29; 30]:

$$C_n = 3\beta_n Gab/h;$$

$$\beta_n = \frac{\tilde{E}_y}{\tilde{E}} = \frac{2(1-\nu)y_0}{(1-\nu) \left[2(1-2\nu)y_0 - \frac{\nu}{2} \sum_{n=1}^{\infty} x_n/k_n^2 \right]}, \quad (1)$$

где $y_0 = h/a$; $k_n = (2n-1)\pi/2y_0$; x_n – неизвестные, определяемые из бесконечной системы алгебраических уравнений [5; 11; 29; 30]; G – модуль сдвига резины; ν – коэффициент Пуассона резины; $\tilde{E}$, $\tilde{E}_y$ – действительный и условный модули Юнга; β_n – коэффициент ужесточения на торцах при сжатии; его определение для конкретных типов резиновых прокладок дано в [6].

Для конкретных случаев более удобно использовать аппроксимационные формулы [5; 11; 29; 30]:

$$\beta_n = \frac{\pi^2}{6} \left[1 + \frac{\pi^2}{48} a_1^2 \right] (0,992 - 0,304 a_1^{-1} + 0,2 a_1^{-2}) \quad (2)$$

или

$$\beta_n \approx \frac{1-\nu}{(1+\nu)(1-\nu) + 5,882\nu(1-\nu)y_0^2}, \quad (3)$$

где $a_1 = a/h$.

Формула (2) дает хорошие результаты при $h \leq a \leq 20h$, а формула (3) при $0 \leq y_0 \leq 1$ и $1/3 \leq \nu \leq 1/2$.

В случае предварительного сжатия прокладки на величину Δ_z жесткость можно найти из выражения:

$$C_n = \frac{G_{ab}}{h} \cdot \frac{\xi}{\operatorname{tg} \xi}. \quad (4)$$

где величина ξ находится из уравнения:

$$1 - \frac{\Delta_z}{h} = \frac{\sin 2\xi}{2\xi}.$$

При сдвиге жесткость призмы определяется из соотношения:

$$C_\tau = \frac{GF}{h} \beta_\tau; \quad (5)$$

$$\beta_\tau = 1 - 0,4682(1-\nu)y_0, \quad (6)$$

где F – площадь сдвига; β_τ – коэффициент ужесточения на торцах призмы при сдвиге.

Из формулы (3) вытекает некоторое предельное равенство: для малых y_0 будет:

$$\lim_{y_0 \rightarrow 0} \frac{\tilde{E}_y}{\tilde{E}} = \frac{1-\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)}. \quad (7)$$

Из (7) следует, что при уменьшении толщины прокладки жесткость стремится к некото-

рому предельному значению, т. е.:

$$\tilde{E}_y \approx \frac{\tilde{E}}{3(1-2\nu)} = \tilde{K}, \quad (8)$$

где $\tilde{K}$ – модуль объемного сжатия.

Это важное положение имеет существенное значение, т. к. при $\nu \approx 0,5$ (несжимаемый материал) тонкие резиновые элементы работают в условиях, близких к всестороннему сжатию и, следовательно, их жесткость существенно возрастает. В зависимости от геометрического параметра y_0 и величины коэффициента Пуассона условный модуль прокладки может изменяться от модуля Юнга E_0 до модуля объемного сжатия $\tilde{K}$.

С целью повышения работоспособности конструкции промежуточных креплений проведены также исследования работы упругих клемм. Остановимся на результатах некоторых исследований.

На рис. 5 а, б показаны упругие клеммы типа КП-5.1 и КП-5.2 упругого промежуточного крепления типа КПП-5.

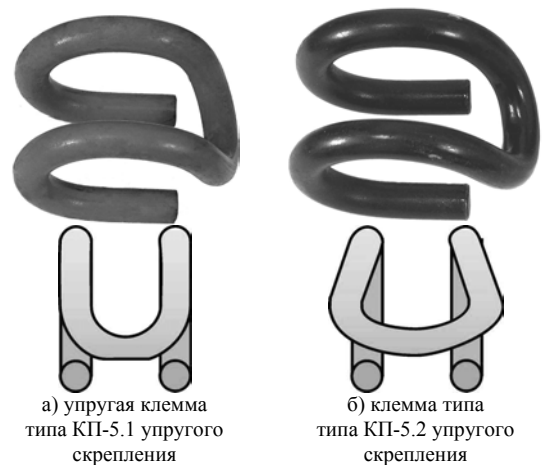


Рис. 5. Упругие клеммы безподкладочного анкерного промежуточного крепления

Основной отличительной способностью клеммы типа КП-5.2 от клеммы типа КП-5.1 является применение в средней части клеммы (место контакта клеммы и изолирующего вкладыша) расширенного участка клеммы (по сравнению с клеммой типа КП-5.1) в сочетании с увеличением радиусов изгиба средней части клеммы и ее разветвлением в стороны относительно концевых элементов клеммы и смежных с ними изогнутых частей.

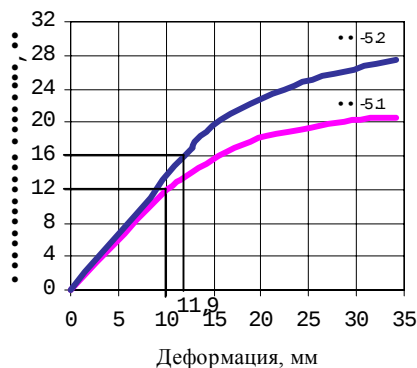
Такое техническое решение позволило увеличить в 2,5 раза площадь контакта между расширенной средней частью и сферической

впадиной изолирующего вкладыша, а также уменьшить напряженно-деформированное состояние средней части клеммы при выполнении технологических процессов «монтажа-демонтажа» клемм при сборке и разборке узла скрепления.

Проведенные исследования позволили провести сравнение показателей прочности и жесткости клемм типа КП-5.1 и КП-5.2.

На рис. 6, а показаны примеры зависимости средних значений упругой и неупругой деформации пружинных клемм типов КП-5.1 и КП-5.2 от изменения величины нагрузки на контакте с подошвой рельса для различных опытных партий.

а



б

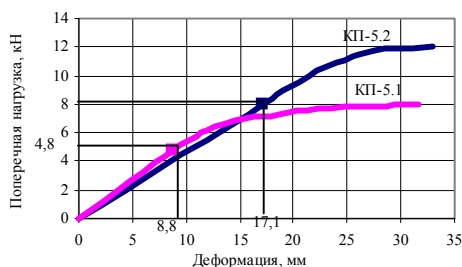


Рис. 6. Зависимости средних значений упругой и неупругой деформации пружинных клемм типов КП-5.1 и КП-5.2

от изменения величины нагрузки:

а – при вертикальных нагрузках на контакте подошвы рельса и клемм; б – при поперечных нагрузках между концевыми участками клемм

Установлено, что в вертикальном направлении прочность упругих клемм типа КП-5.1 в зоне пропорциональной зависимости деформации от нагрузки (упругая стадия) находится в пределах 10...14 кН при деформации 9...10 мм, а для клемм типа КП-5.2 упругая стадия находится в пределах 13...16 кН при деформации 10...13 мм. При этом, прочность клемм типа КП-5.2 на 13 % выше прочности клемм типа КП-5.1. Жесткость клемм типа КП-5.1 и КП-5.2 находится соответственно в пределах

10...12 кН/см и 10...13,4 кН/см.

На рис. 6, б показаны примеры зависимости средних значений упругой и неупругой деформации пружинных клемм типов КП-5.1 и КП-5.2 от изменения величины поперечной нагрузки между свободными концевыми участками клемм (т. е. места совместного контакта клемм и анкеров).

Установлено, что при поперечной раздвижке концевых участков клемм прочность упругих клемм типа КП-5.1 в зоне пропорциональной зависимости деформации от нагрузки (упругая стадия) находится в пределах 4,2...4,8 кН при относительном изменении деформации 8,2...8,4 мм, а для клемм типа КП-5.2 упругая стадия деформации соответствует прочности 8,0...8,2 кН при относительном изменении деформации 17,1...17,5 мм. При этом, прочность клемм типа КП-5.2 при поперечной нагрузке на 80 % выше чем для клемм типа КП-5.1, а величина упругой поперечной деформации клемм типа КП-5.2 в два раза выше чем для клемм типа КП-5.1.

При этом, жесткость в поперечном направлении для клемм типа КП-5.1 находится в пределах 5,1÷5,5 кН/см, а для клемм типа КП-5.2 – 4,3...4,5 кН/см. Следовательно, величины упругой податливости клемм типа КП-5.2 более чем на 20 % лучше по сравнению с клеммами типа КП-5.1.

Принимая во внимание, что при технологическом процессе «сборка-разборка» узла скрепления типа КПП-5 происходит относительная раздвижка концевых участков клемм на 16,5 мм при переходе свободного конца клеммы через головку анкера до захода в открытое отверстие анкера, следует вывод, что клеммы типа КП-5.1 имеющие упругую поперечную деформацию до 8,2...8,4 мм достигают расширения до 16,5 мм переходя через неупругую стадию, что соответственно приводит к накоплению остаточных деформаций при относительном уширении клемм. В связи с этим, клеммы типа КП-5.1 позволяют осуществлять около 3 монтажных циклов. В дальнейшем клеммы типа КП-5.1 не приемлемы для эксплуатации.

В клеммах типа КП-5.2 величина упругой поперечной деформации равна 17,1...17,5 мм, что превышает величину рабочей деформации при монтажных работах, равной 16,5 мм. Следовательно, клеммы типа КП-5.2 обеспечивают технологический процесс «сборка-разборка» узла скрепления при многоцикличном выполнении монтажных работ. По результатам испытаний установлено, что клеммы типа КП-5.2

могут обеспечить 100 циклов «сборка-разборка» скрепления.

В скреплении типа КПП-1 использована плоская подрельсовая прокладка типа ПРП-2.3 из полиамида или полиэтилена, показанная на рис. 7, а, которая является близким аналогом прокладки для скрепления типа СБ-3. На рис. 7, б показана подрельсовая прокладка переменного профиля типа ПРП-2.1 из полиуретана, которая используется в скреплении типа КПП-5.

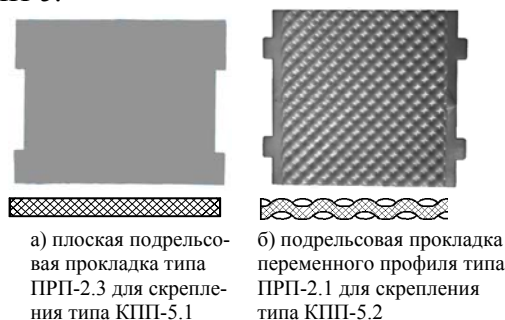


Рис. 7. Подрельсовые прокладки для скреплений типов КПП-5.1 и КПП-5.2

Определение упругих характеристик подрельсовых прокладок типов ПРП-2.3 и ПРП-2.1 при нагрузках до 100 кН показало, что средняя величина деформации плоских прокладок типов ПРП-2.3 при нагрузке 100 кН равняется 0,70...0,73 мм при жесткости 1300...1370 кН/см, а средняя величина деформации прокладок периодического профиля типа ПРП-2.1 при нагрузке 100 кН равна 3,0 мм при жесткости 330 кН/см.

На рис. 8 показаны графики зависимостей деформации прокладок от изменения величины нагрузки. Установлено, что жесткость прокладок с переменным поперечным профилем в 3 раза ниже по сравнению с плоскими прокладками

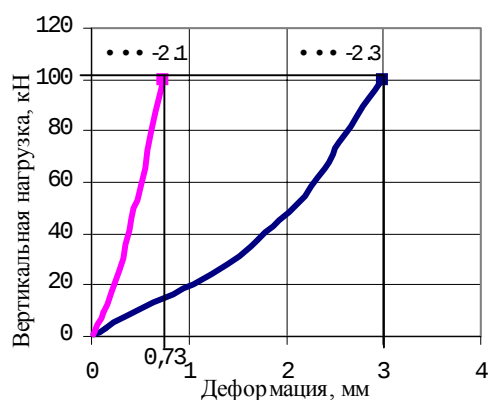


Рис. 8. Зависимости величины деформации прокладок типов ПРП-2.1 и ПРП-2.3 от величины вертикальной нагрузки

В НКТБ ЦП УЗ выполнены также разработки подрельсовых высокопрочных износостойких резиновых прокладок для скрепления типа КПП-5. Их жесткость находится в пределах 300...350 кН/см. При этом, сопротивление продольному сдвигу с резиновыми прокладками при коэффициенте трения равным 0,5...0,6 значительно выше, чем для пластмассовых подрельсовых прокладок с коэффициентом трения равным 0,3...0,4.

Внесены определенные изменения и в конструкцию изолирующих вкладышей отмеченных промежуточных скреплений.

На рис. 9, а показаны изолирующие вкладыши типа П-65 для скреплений типа КПП-1, которые являются близким аналогом скрепления СБ-3, а на рис. 9, б показаны изолирующие вкладыши типа ВИП-65 для промежуточного скрепления типа КПП-5.

Особенностью изолирующего вкладыша типа ВИП-65 является устройство сферического углубления для расположения средней расширенной части клеммы типа КП-5.2, а также наличие наклонных поверхностей в выступающей части вкладыша для устройства сферического углубления и повышения прочности вкладыша.



Рис. 9. Изолирующие вкладыши типов П-65 и ВИП-65 для промежуточных скреплений типов КПП-5.1 и КПП-5.2

Отмеченные работы [4–30], а также другие результаты творческой деятельности ученых, представителей заводов-изготовителей, специалистов железных дорог Украины и Укрзалізниці явились определенной частью теоретических, экспериментальных и эксплуатационных исследований, использованных НКТБ ЦП УЗ для разработки, проектирования и внедрения упругих элементов промежуточных рельсовых скреплений на железных дорогах Украины и повышения технического уровня и надежности работы путевого хозяйства для обеспечения безопасности движения поездов с установленными скоростями при высоких технико-экономических показателях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Купцов В. В.. Современные конструкции и параметры промежуточных рельсовых креплений для железобетонных шпал // В кн. Повышение надежности работы верхнего строения пути. – М.: Интекст. – 2000. – С. 100–129.
2. Шахунянц Г. М.. Железнодорожный путь. – М.: Транспорт, 1987. – 408 с.
3. Бесстыковый путь // Под ред. Альбрехта В. Г. и Когана А. Я. – М.: Транспорт, 2000. – 408 с.
4. Говоруха В. В., Надутый В. П. Исследование деформации и прочности характеристик резиновых прокладок рельсовых промежуточных креплений // Геотехническая механика. – Вып. 14. – Д.: Полиграфист, 1999. – С. 161–167.
5. Говоруха В. В. Обобщенные нелинейные модели деформирования и разрушения и методы прогнозирования долговечности вязкоупругих элементов рельсового пути // Геотехническая механика. – Вып. 24. – Д.: Полиграфист, 2001. – С. 94–112.
6. Говоруха В. В. Экспериментальные исследования параметров деформирования и разрушения резиновых прокладок рельсового пути // Геотехническая механика. – Вып. 28. – Д.: Полиграфист, 2001. – С. 26–59.
7. Яковлев В. О., Мойсеенко К. В., Говоруха В. В. та інші. Практичні рекомендації що до проведення вхідного контролю П69 якості і матеріалів верхньої будови колії. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2003. – 196 с.
8. Костюк М. Д., Говоруха В. В. Сучасні конструкції суміщеної рейкової колії 1520 та 1435 мм із залізобетонними шпалами та проміжним пружно-рейковим скріпленням // Строительство: Сб. научн. тр. ДИИТа. – Вып. 10. – Д., 2002. – С. 72–75.
9. Костюк М. Д., Говоруха В. В.. Стрілочні переводи і суміжне устаткування для швидкісного руху поїздів // Залізничний транспорт України. – 2002. – № 3. – С. 15–17.
10. Говоруха В. В. Современные конструкции промежуточных рельсовых креплений // Геотехническая механика. – Вып. № 31. – Д.: Полиграфист, 2002. – С. 49–77.
11. Говоруха В. В. Упругие элементы промежуточных рельсовых креплений // Геотехническая механика. – Вып. № 31. – Д.: Полиграфист, 2002. – С. 78–94.
12. Говоруха В. В., Дырда В.И. Закономерность теплового старения резин в условиях циклического деформирования // Геотехническая механика. – Вып. № 39. – Д.: Полиграфист, 2002. – С. 63–105.
13. Булат А. Ф., Говоруха В. В., Дырда В. И. Закономерность скачкообразного фазового перехода метастабильного состояния эластомеров к лабильному при их циклическом разрушении // Геотехническая механика. – Д.: Полиграфист. – Вып. № 43. – С. 3–69.
14. Говоруха В. В., Дырда В. И. Закономерность изменения интенсивности старения резины при ее циклическом деформировании // Диплом № 220 на открытие. Заявка на открытие № А-262 от 23 декабря 2002. – М., Регистрационный № 262.
15. Говоруха В. В. Экспериментальные исследования показателей прочности упругих промежуточных креплений рельсового пути // Геотехническая механика. – Вып. № 43. – Д.: Полиграфист, 2003. – С. 187–195.
16. Патент на промисловий зразок. № 7173. Україна (UA). Кл. 12-99. Прокладка гумова для рейкової колії / Говоруха В. В., Костюк М. Д., Дубневич Я. В. – Бюл. № 3. – 17.03.2003.
17. Патент на промисловий зразок. № 7286. країна (UA). Кл.12-99. Прокладка рейкового скріплення / Говоруха В. В., Костюк М. Д., Дубневич Я. В. – Бюл. № 4. – 15.04.2003.
18. Патент на промисловий зразок. № 6367. Україна (UA). Кл. 12-99. Прокладка підрейкова гумова / Говоруха В. В., Костюк М. Д., Дубневич Я. В. – Бюл. № 8 – 15.08.2002.
19. Патент на промисловий зразок. № 6368. Україна (UA). Кл. 12-99. Триотвірна прокладка підрейкова гумова / Говоруха В. В., Костюк М. Д., Дубневич Я. В. – Бюл. 8. – 15.08.2002.
20. Деклараційний патент на винахід: № 49743 А. Україна (UA). Кл. У01В7/20. Вузол кріплення рамної рейки / Говоруха В. В., Костюк М. Д., Тараненко С. Д. – Бюл. № 9. – 16.09.2002.
21. Патент на промисловий зразок. № 7172. Україна (UA). Кл.12 99. Вкладиш ізолюючий для проміжного пружного скріплення рейкової колії / Говоруха В. В., Костюк М. Д., Дубневич Я. В. – Бюл. № 3. – 17.03.2003.
22. Деклараційний патент на винахід. № 49745. Україна (UA). Кл.У01В9/48. Клема рейкового скріплення / Говоруха В. В., Костюк М. Д., Дубневич Я. В. – Бюл. № 9. – 16.09.2002.
23. Деклараційний патент на винахід. № 49749А. Україна (UA). Пристрій для кріплення рейки / Говоруха В. В., Костюк М. Д., Тараненко С. Д. – Бюл. № 9 – 16.09.2002.
24. Деклараційний патент на винахід. № 49747 А. Україна (UA). Кл.Е01В5/18. Контрейковий вузол / Говоруха В. В., Костюк М. Д. Тараненко С. Д. – Бюл. № 9. – 16.09.2002.
25. Деклараційний патент на винахід. № 49744 А. Україна (UA). Кл. У01В/60. Прокладка рейкового проміжного скріплення / Говоруха В. В., Костюк М. Д., Дубневич Я. В. Щербина Е. Т. – Бюл. № 9 – 16.09.2002.
26. Деклараційний патент на винахід. № 49767А. Україна (UA) Кл.Е01В9/54. Прокладка / Говоруха В. В., Костюк М. Д., Дубневич Я. В. – Бюл. № 9. – 16.09.2002.
27. Деклараційний патент на винахід. № 49768/А. Україна (UA).Кл.Е01В9/48. Рейкове скріплення / Говоруха В. В., Костюк М. Д. – Бюл. № 9. – 16.09.2002.
28. Деклараційний патент на винахід. № 55 333А. Україна (UA). Кл. Е01В9/48. Пружна клема рейкового скріплення / Говоруха В. В., Костюк М. Д., Дубневич Я. В. – Бюл. № 3. – 17.03.2003.

29. Термомеханика эластомерных конструкций при циклическом нагружении / Потураев В. Н., Дырда В. И., Мазнецова А. В. – К.: Наук. Думка, 1987. – 288 с.

30. Расчет жесткости и диссипативного разогрева нелинейно вязкоупругих виброизоляторов при цик-

лическом деформировании / Сенченков И. К., Дырда В. И., Козлов В. И., Червинко О. П., Мазнецова А. В. // Прикладная механика, 1988. – 24, № 10. – С. 68–79.

КОНЦЕПЦИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КОНСТРУКЦИИ ПУТИ

У статті рекомендовані основні напрямки удосконалення конструкції залізничної колії в сучасних умовах експлуатації.

В статье рекомендованы основные направления совершенствования конструкции железнодорожного пути в современных условиях эксплуатации.

In article the basic directions of perfection of a design of a railway in modern conditions of operation are recommended.

Стратегической целью работ по совершенствованию конструкции верхнего строения пути является обеспечение безопасной эксплуатации в условиях повышения скоростей движения пассажирских и ускоренных грузовых поездов, массы грузовых поездов, увеличения осевых и погонных нагрузок подвижного состава при минимизации расходов в путевом хозяйстве.

Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи:

- разработать технические требования к параметрам пути в зависимости от условий эксплуатации;
- на основе технических требований разработать конструкции элементов верхнего строения пути (рельсов, скреплений, шпал, подшпального основания) с учетом условий эксплуатации.

Одним из важнейших направлений реорганизации путевого комплекса является максимальное расширение полигона бесстыкового пути и стрелочных переводов на железобетонном подрельсовом основании.

Применение этой конструкции с переходом на упругие скрепления и длинные рельсовые плети в сочетании со щебнем повышенного качества, укреплением земляного полотна, применением современных путевых машин, периодической профильной шлифовкой рельсов, улучшением качества их сварки позволит обеспечить долговременную стабильность пути и низкую интенсивность накопления неисправностей. В результате наработка пути между обновлениями будет увеличена до 300–840 млн т, а при освоении выпуска рельсов повышенной стойкости категории «В» до 1 млрд т. При этом промежуточные виды ремонта отдалятся по времени на 20–25 %.

Бесстыковой путь – специфичная конструкция верхнего строения пути. Основная специфика его заключается в наличии в рельсовых плетях сжимающих в летнее время года про-

дольных температурных сил и растягивающих в зимнее, которые в зависимости от целого ряда факторов в экстремальных условиях могут достигать:

- сжимающие силы 600–200 кН;
- растягивающие 1200–1800 кН.

Разнообразие условий эксплуатации отдельных магистралей российских железных дорог приводит к многообразию характеристик и параметров пути, отвечающих условиям эксплуатации. Поэтому логично объединение показателей, характеризующих условия эксплуатации, в укрупненные группы с последующей разработкой технических требований к конструкции пути для этих групп.

Характеристики и параметры пути, определяющие его надежность и, в конечном счете, расходы на его содержание разделены на следующие группы:

- конструкционные характеристики (погонный вес рельса, тип шпал, число шпал, род балласта, толщина балласта);
- геометрические характеристики (длина и амплитуда неровностей на поверхности катания рельсов, характеристики состояния колеи в плане профиля и по уровню);
- физико-механические характеристики (моменты инерции и сопротивление рельса, твердость рельсовой стали, жесткость скрепления, жесткость шпалы, модуль упругости подрельсового основания, вязкое трение в элементах пути, неравножесткость по протяжению, сопротивление сдвигу и т. д.).

Параметры 1-ой группы наиболее отработаны в процессе более чем полуторавекового опыта эксплуатации железных дорог. В результате исторического развития (с учетом научных, конструкторских разработок, опыта эксплуатации) определились в мировой практике основные параметры конструкции пути, отвечающие современным условиям. Это рельсы погонным весом 60–67 кг, железобетонные (или деревянные из твердой древесины) шпалы

в количестве 1800–1900 шт./км, щебеночный балласт толщиной не менее 30 см, бесстыковые рельсовые плети, упругие скрепления. Кроме этой традиционной конструкции верхнего строения пути ведутся интенсивные исследования по разработке новых конструкций (безбалластная конструкция, путь на лежневом основании и т. д.).

Характеристики и параметры 2-ой группы достаточно разработаны и определяются как, в основном, условием обеспечения безопасности

движения, так и стремлением снижения расходов на содержание и устройство пути. Эта группа характеристик здесь не рассматривается.

Наиболее перспективным и наименее исследованным для разработки параметров пути при его совершенствовании является назначение рациональных значений физико-механических характеристик пути, т. е. характеристик и параметров третьей группы.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ СЪЕМКИ КРИВЫХ ПРИ ВОЗРАСТАНИИ СКОРОСТЕЙ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ

В умовах підвищення швидкості руху поїздів зростають вимоги до утримання кривих ділянок колії. У статті проаналізовані відомі методи зйомки кривих з точки зору точності інформації, що отримується. Надавні рекомендації щодо технологій зйомки для підвищення точності.

В условиях повышения скоростей движения поездов возрастают требования к содержанию кривых участков пути. В статье проанализированы известные методы съемки кривых с точки зрения точности получаемой информации. Даны рекомендации по технологиям съемки для повышения точности.

In conditions of increasing train traffic speeds the maintenance requirements for curve track sections must be revised to more strict ones. Familiar techniques of surveying curves are analyzed in the paper from the viewpoint of accuracy of the data obtained. Some recommendations on the survey procedures for improving their accuracy are proposed.

При возрастании скоростей движения поездов особое внимание следует уделять вопросам содержания и рихтовки кривых участков пути, которые волнуют практиков и теоретиков железнодорожного пути уже более 100 лет.

Проблема распадается на четыре направления:

1. Как снимать кривую?
2. Какую математическую модель кривой использовать?
3. Каким методом рассчитывать рихтовки?
4. Как реализовать полученные рихтовки?

Что касается возможности реализации заданных рихтовок, то рассмотрение этих вопросов не входит в задачу данной статьи, хотя можно отметить, что современная техника позволяет это сделать с достаточной точностью.

Анализ методов расчета кривых показывает, что требуемая точность может быть обеспечена только при координатном методе расчета, когда в качестве исходных данных используются координаты отдельных точек кривой. Это позволяет воспользоваться достаточно строгой математической моделью кривой и уйти от целого ряда погрешностей, вносимых «эвольвентным» представлением задачи. В настоящее время авторы статьи работают над принципиально новым методом расчета, в котором ликвидированы практически все допущения, ведущие к погрешностям расчета. Частично метод реализован на основе рекуррентной модели плана и позволяет выполнять расчеты выправки кривых практически любой сложности.

В данной статье рассматриваются существующие методы съемки кривых и даются рекомендации по их усовершенствованию. На сегодняшний день для получения информации о состоянии кривой могут использоваться:

- 1) путеизмерительные ленты;
- 2) машинная съемка кривой путерихтовочными машинами;
- 3) ручная съемка кривой методом стрел;
- 4) съемка кривой методом Ленгипротранса;
- 5) полярная съемка для определения координат точек кривой;
- 6) съемка точек кривой с помощью систем спутниковой геодезии.

Использование путеизмерительных лент для расчетов выправки кривых неоправданно из-за низкой точности информации. Машинная съемка кривых в большинстве случаев также не обеспечивает требуемой точности и практически не применима в координатных методах расчета.

Развитие систем спутниковой геодезии позволяет получить требуемую точность, однако съемка одной точки может занимать до 30 минут, а на электрифицированных линиях погрешность, вносимая контактными проводами, делает точность съемки недостаточной.

В практике текущего содержания по-прежнему одним из наиболее точных методов съемки остается метод стрел [1]. При этом на кривой делается, как правило, один проход с измерением стрел изгиба после чего выполняется расчет выправки с последующей рихтовкой. Следует отметить, что результаты такой съемки содержат случайные и систематические ошибки, которые могут существенно повлиять на результаты всей работы.

В качестве примера рассмотрим одну из кривых Львовской железной дороги, на которой было выполнено три независимых измерения. Для каждого из замеров были сделаны расчеты выправки по программе, основанной на рекуррентной модели плана.

После расчета полученные сдвиги применялись к среднему из трех съемок положению кривой (предполагая, что средние значения снятых стрел близки к истинным). При этом использовалась известная формула соотношения между проектной H_i и измеренной h_i

стрелами, а также сдвигами в соседних точках e_{i-1} , e_i и e_{i+1}

$$H_i = h_i + e_i - (e_{i-1} + e_{i+1})/2.$$

Отличия полученных стрел от ожидаемых представлены на рис. 1.



Рис. 1.

Пример наглядно показывает необходимость хотя бы двойного промера стрел. Кроме того, стрелы следует уравнивать так, чтобы сумма стрел равнялась углу поворота кривой. Реальная среднеквадратическая погрешность измерения стрел изгиба составляет $m_f = 0,5\sqrt{n}$, мм, а предельная погрешность определяется как утроенная погрешность отдельного измерения, поэтому

$$m_f = 1,5\sqrt{n},$$

где n — число измеренных стрел изгиба.

Наиболее точное значение угла поворота кривой получают инструментальным способом (метод Ленгипротранса [2]).

Если считать, что угловые измерения выполнены равномерно, то согласно теории погрешностей [3] предельная средняя квадратическая погрешность m_β суммы измеренных горизонтальных углов составит

$$m_\beta = 1,5t\sqrt{n},$$

где t — точность отсчета углового измерения;
 n — количество измеренных углов.

Уменьшение инструментальных погрешностей достигается соответствующей методикой измерений (измерения при КЛ и КП).

На рис. 2 приведена схема натуральных измерений кривой длиной 600 м. Разбивка кривой выполнена через 10 м. В целях повышения точности и контроля угловых измерений следует брать дополнительные точки на обочине для того, чтобы образовался замкнутый теодолитный ход.

Для расчетов выправки кривой одновременно с угловыми измерениями определяются стрелы изгиба «под теодолит» во всех точках деления кривой по горизонтально уложенной нивелирной рейке специальной конструкции.

Исследования показывают, что рейку необходимо «качать» в горизонтальной

плоскости и брать наименьший отсчет, так как при снятии отсчетов без покачивания отклонение рейки от перпендикулярности к лучу визирования может составить до 10 градусов.

В табл. 1 приведены ошибки в стрелах изгиба, если плоскость рейки не перпендикулярна

визирной плоскости зрительной трубы теодолита. Для повышения точности измерений и исключения грубых ошибок стрелы изгиба должны измеряться дважды с разных установок теодолита.

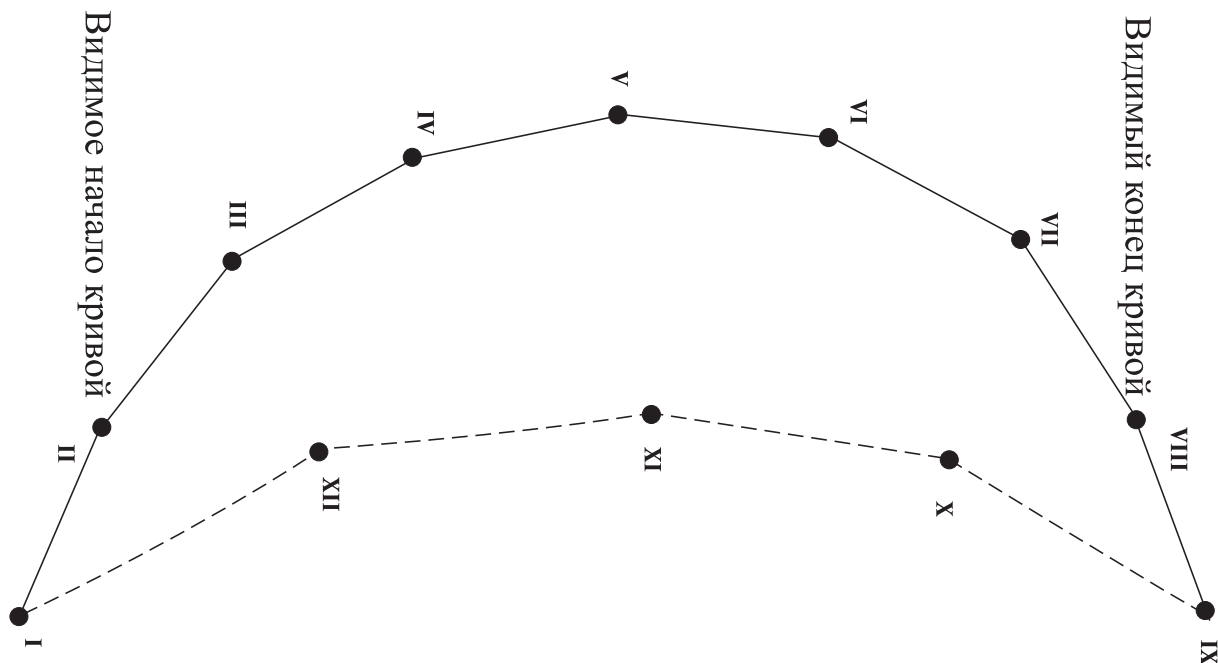


Рис. 2.

Таблица 1

Ошибки в измеренных стрелах изгиба кривой при отклонении плоскости рейки от перпендикулярности к визирной оси зрительной трубы теодолита

Измеренные стрелы изгиба, мм	Ошибки в стрелах изгиба, мм, если отклонение от перпендикулярности составляет, град.			
	1	2	5	10
300	0,05	0,18	1,15	4,63
900	0,14	0,55	3,44	13,89
1500	0,23	0,90	5,73	23,14
2500	0,38	1,52	9,55	38,57

Так как для выправки кривой рекомендуется использовать координатные методы, оценим точность вычисления координат точек железнодорожного пути при разных способах съемки.

Способ стрел. По измеренным стрелам изгиба координаты конечной точки разбивки кривой могут быть определены по формулам (1) и (2):

$$x_k = a + \sum_1^{i-1} a \cdot \cos \left(2 \sum_1^{i-1} \arcsin \frac{f_i}{a} \right); \quad (1)$$

$$y_k = \sum_1^{i-1} a \cdot \sin \left(2 \sum_1^{i-1} \arcsin \frac{f_i}{a} \right). \quad (2)$$

Исходя из теории погрешностей геодезических измерений [3], дифференцируем выражения (1) и (2) по a и f и получаем рабочие формулы для оценки точности вычисления координат

$$m_{xi} = m_a \sqrt{2i}; \quad (3)$$

$$m_{yi} = m_f \sqrt{2i(i-1)}, \quad (4)$$

где i – номер точки деления кривой.

После преобразования (3) и (4) получим формулу для определения среднеквадратической погрешности координат точек деления кривой.

$$m = \sqrt{2i \left[m_a^2 + m_f^2 (i-1) \right]}.$$

Так, при $n = 100 - m = 141$ мм.

Способ Ленгипротранса. Способ заключается в прокладке теодолитного хода и измерении в нем горизонтальных углов, расстояний и стрел изгиба, как было приведено ранее. Оценим точность данного способа при измерениях, выполненных традиционным способом (технический теодолит 2Т30П, землемерная лента ЛЗ-20). Относительная погрешность измерения длины составит $1/2000$, а точность угловых измерений – $30''$. Определим среднеквадратическую погрешность вычисления приращений координат. Приращения координат вычисляют так:

$$\Delta X = S \cos \alpha; \Delta Y = S \sin \alpha,$$

где S – горизонтальное проложение;

α – дирекционный угол.

Выполнив вычисления в соответствии с [3] получаем, что среднеквадратическая погрешность в определении координат конечной точки только одной хорды составляет более 50 мм. Если же учесть отклонение рейки от перпендикулярности к лучу визирования, то погрешности в определении координат точек деления пути увеличатся.

Способ полярных координат. Этот способ был рекомендован нами для съемки точек кривой полярным методом от базисного теодолитного хода.

Если измерения выполнены теодолитом 2Т30П и рулеткой длиной 50 м с пяти станций, то среднеквадратические погрешности координат точек кривой составят до 40 мм.

При выполнении съемки электронным тахеометром SET630R среднеквадратические погрешности координат точек железнодорожного пути (с учетом погрешностей исходных данных) составят от 3 до 6 мм.

Выводы

1. В паспорте каждой кривой должно быть указано точное значение угла поворота кривой, длина отрезка деления кривой и теоретическая сумма стрел изгиба.

2. При съемке кривой способом стрел в полевых условиях необходимо определить сумму измеренных стрел изгиба, которая не должна отличаться от теоретической суммы на величину допустимого значения, в противном случае измерения повторить и выполнить их более тщательно. При расчетах необходимо уравнивать измеренные стрелы по углу поворота.

3. При отсутствии точного значения угла поворота кривой стрелы изгиба необходимо измерить дважды (в прямом и обратном направлениях). Расхождение в суммах этих стрел не должно превышать допустимого значения. Дальнейшие расчеты кривой осуществляют по средним значениям стрел изгиба.

4. При выполнении съемки кривой способом Ленгипротранса необходимо для контроля угловых измерений прокладывать замкнутый ход. Стрелы изгиба целесообразно измерять дважды в прямом и обратном направлениях, с обязательным «покачиванием» рейки в горизонтальной плоскости.

Наиболее предпочтительным по точности является способ съемки кривой электронным тахеометром полярным методом от теодолитного хода.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Інструкція по устрою та утриманню колій залізниць України. № 0050/ЦП. – К.: Транспорт України, 1999. – С. 6–7.
2. Шведков В. В. Геодезическая съемка железнодорожных путей. – М.: Недра, 1966. – С. 5–12, 42–52.
3. Хренов Л. С. Инженерная геодезия. – М.: Высш. шк., 1985. – 352 С.

ВЕРОЯТНОСТНЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ РЕЛЬСОВ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Рейки – основний конструктивний елемент верхньої будови залізничної колії, які безпосередньо сприймають динамічне навантаження від рухомого складу. В період їх експлуатації в рейковому металі відбуваються незворотні процеси, які знижують несучу спроможність.

При цьому несуча спроможність рейок забезпечується при умові, що діюче навантаження за весь період їх експлуатації не повинне перевищувати допустиме при заданій ймовірності.

В розробленій математичній моделі, яка ураховує випадковий процес навантаження рейок та несучої спроможності, а також нестационарний характер зменшення міцностних властивостей рейок, що дозволяє досліджувати увесь діапазон експлуатаційної роботи рейок в колії при заданих межах міцності.

Рельсы – основной конструктивный элемент верхнего строения железнодорожного пути, которые непосредственно воспринимают динамическую нагрузку от подвижного состава. В период их эксплуатации в рельсовом металле происходят необратимые процессы, снижающие их несущую способность.

При этом несущая способность рельсов обеспечивается при условии, что действующая нагрузка за весь период их эксплуатации не должна превышать допускаемые при заданной вероятности.

В разработанной математической модели, которая учитывает случайный процесс нагружения рельсов и несущей способности, а также нестационарный характер уменьшения прочностных свойств рельсов, что позволяет исследовать весь диапазон эксплуатационной работы рельсов в пути при заданных пределах прочности.

Rails – are the basic constructive element of the top structure of a railway which directly perceive dynamic loading from a rolling stock. During their operation in rail metal there are the irreversible processes lowering their carrying capacity.

Thus carrying capacity of rails is provided under the conditions that working loading for all period of their operation should not exceed admitted probabilities.

The developed mathematical model takes into account casual rails load process load rails and carrying capacity, and also non-stationary character of reduction strength properties of rails. It allows to investigate all range of operational work of rails in a track at the given strength.

Рельсы являются основными конструктивными и несущими элементами железнодорожного пути, которые непосредственно воспринимают динамическую нагрузку от колес подвижного состава. Кроме того, рельсы находятся в различных эксплуатационных условиях, которые образуют дополнительную группу факторов, усиливающих динамическое влияние. К числу таких факторов можно отнести: план и профиль пути; режимы ведения поезда; осевые нагрузки; скорости движения; вид обращаемого подвижного состава.

Существенное значение также имеют исходные прочностные характеристики рельсового металла, жесткость подрельсового основания, конструктивные особенности пути, что существенно отражается на условиях взаимодействия пути и подвижного состава. Все это приводит к необратимым процессам в структуре рельсового металла, способствуя развитию усталостных процессов и механическому износу, снижая, тем самым, несущую способность рельсов в пути.

Исходя из традиционной теоретической постановки вопроса, обычно [1, 2] использовалось требование, согласно которому действующие напряжения за весь период эксплуатации рельсов не должны превышать допускаемые. При этом условии разрушения не произойдет, если

$$\sigma_p + \lambda S \leq [\sigma], \quad (1)$$

где σ_p – действующие напряжения от подвижного состава;

λ – нормирующий множитель, характеризующий заданный уровень вероятности;

S – среднеквадратическое отклонение действующей нагрузки;

$[\sigma]$ – допускаемые напряжения.

Допускаемые напряжения, в свою очередь, определяются делением опасных напряжений, которые вызывают разрушение, на коэффициент запаса [3].

Данное неравенство обладает тем недостатком, что учитывает только вероятностный ха-

раक्टर внешнего воздействия на путь при постоянном допускаемом напряжении. Поскольку прочностные характеристики или несущая способность рельсов имеют случайный характер, обусловленный технологией их изготовления, в процессе эксплуатации несущая способность снижается и вероятность возникновения разрушения рельсов возрастает.

При совместном рассмотрении действующей нагрузки от подвижного состава и несущей способности для рельсов как случайных и независимых процессов, а также принимая во внимание нестационарность процесса несущей способности и стационарность нагружения, можно исследовать весь диапазон эксплуатационной работы рельсов в пути.

Из [4–6] известно, что решение подобной задачи в статистическом аспекте и оценка экспериментальной надежности предполагает два основных этапа.

На первом – методами строительной механики определяются условия, при которых изделие будет находиться в предельном состоянии. В зависимости от поставленной цели исследований, в качестве критериев могут быть приняты пределы упругости, текучести, прочности, контактной выносливости рельсовой стали и т. д.

На втором этапе производится расчет вероятности того, что предельное состояние не будет достигнуто за весь период эксплуатации.

Этот этап при внешнем дискретном нагружении выполняется методами теории вероятностей. Если процессы внешнего нагружения являются стационарными или нестационарными и непрерывными поведение системы и накопление повреждений также будет случайным процессом.

Для получения вероятностной оценки несущей способности будем рассматривать вероятность одновременного существования максимальных значений нагрузки Q и низких значений несущей способности R . Несущая способность рельсов по прочности и действующая нагрузка являются функциями случайных параметров r_i и q_i . Тогда условие выполнения несущей способности в общем виде, при котором отказ не произойдет будет иметь вид [4; 6; 7]:

$$R(r_1, \dots, r_n) - Q(q_1, \dots, q_n) = \Delta \geq 0. \quad (2)$$

Очевидно, что в начальный период времени эксплуатации рельсов условие прочности будет соблюдаться с вероятностью

$$P(R(r_1, \dots, r_n) - Q(q_1, \dots, q_n)) /_{t=0} = \Delta \geq 0,9973. \quad (3)$$

При дальнейшей эксплуатации рельсов в пути происходит снижение несущей способности, порядок изменения которой на сегодня неизвестен и является задачей дальнейших исследований.

Рассмотрим процессы с нормальным законом распределения нагрузки и несущей способности, хотя эти процессы могут иметь другой произвольный характер. В предполагаемой модели вводятся допущения, что действующая нагрузка в течение времени или по мере пропущенного по рельсам тоннажа имеет стационарный характер, а несущая способность [8], изменяется монотонно по экспоненциальному закону с функцией усталости:

$$e^{-\psi t}, \quad (4)$$

где ψ – коэффициент, характеризующий изменение физико-механических свойств и является величиной постоянной для рельсовой стали; t – пропущенный по рельсам тоннаж.

Значение случайной величины Δ будет равно разности значений случайных величин R и Q , тогда вероятность превышения несущей способности возрастает, а условие прочности может быть представлено новой случайной величиной, имеющей свое математическое ожидание m_Δ

$$m_\Delta = R - Q, \quad (5)$$

а среднее квадратическое отклонение S_Δ определяется, как

$$S_\Delta = \sqrt{S_R^2 + S_Q^2}, \quad (6)$$

где S_R – среднее квадратическое отклонение случайной величины R ; S_Q – среднее квадратическое отклонение случайной величины Q .

Если несущая способность и нагрузка подчиняются нормальному закону распределения, тогда новая случайная величина Δ тоже будет подчиняться нормальному закону

$$f_\Delta = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot S_\Delta} \cdot e^{-\frac{(\Delta - m_\Delta)^2}{2S_\Delta^2}}. \quad (7)$$

Тогда условия работоспособности рельсов в пути будут выполнены, если $\Delta \geq 0$, а вероятность (4) может быть представлена, как

$$P_{\Delta} = \frac{C}{\sqrt{2\pi} \cdot S_{\Delta}^2} \cdot \int_0^{\infty} e^{-\frac{(\Delta - m_{\Delta})^2}{2S_{\Delta}^2}} d\Delta, \quad (8)$$

где C – нормирующий множитель, определяется из условия

$$C \int_0^{\infty} f_{\Delta}(\sigma) d\sigma = 1. \quad (9)$$

Учитывая, что интегрирование производится от 0, значением нормирующего множителя можно пренебречь. Тогда вероятность неразрушения в функциях Лапласа может быть выражена, как

$$P_{(\Delta \geq 0)} = 0,5 + \Phi\left(\frac{m_{\Delta}}{S_{\Delta}}\right), \quad (10)$$

где $\Phi\left(\frac{m_{\Delta}}{S_{\Delta}}\right)$ – нормированная функция Лапласа.

Учитывая, что под воздействием подвижного состава характер изменения физико-механических свойств рельсовой стали связан с необратимыми процессами старения и накоп-

ления усталостных дефектов, изменения структуры решетки, то для таких процессов принимается экспоненциальный закон изменения несущей способности в зависимости от пропущенного тоннажа

$$R = R_0 \cdot e^{-\psi \cdot t}, \quad (11)$$

где R_0 – исходные значение несущей способности рельсовой стали.

Согласно представленной расчетной схеме (рис. 1) при квазистационарном действии поезда нагрузки Q и нестационарном процессе изменения несущей способности, структура уравнения несущей способности в функции пропущенного тоннажа, будет иметь вид

$$R = \bar{R}_0 \cdot e^{-\psi \cdot t} - \lambda \cdot \sqrt{S_R^2 + S_Q^2}, \quad (12)$$

где $\bar{R}_0$ – среднее значение прочностных характеристик рельсовой стали; λ – нормирующий множитель; t – пропущенный по рельсам тоннаж.

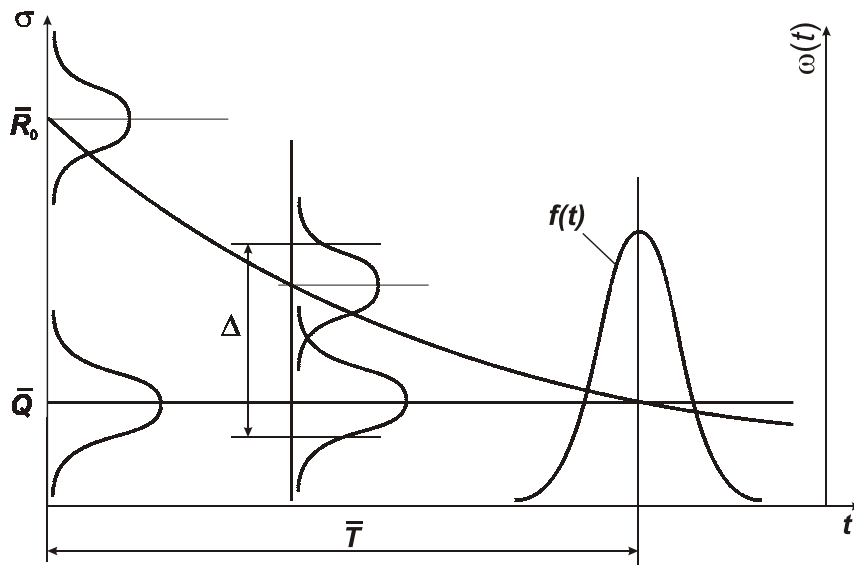


Рис. 1. Расчетная схема изменения несущей способности рельсов в процессе эксплуатации

Неизвестный коэффициент ψ функции усталости $e^{-\psi \cdot t}$ можно определить из условия, что при $\bar{T}$ несущая способность равна действующим нагрузкам. Тогда

$$\bar{R}_0 \cdot e^{-\psi \cdot \bar{T}} = \bar{Q} /_{t=\bar{T}}. \quad (13)$$

Логарифмируя выражение (13) определим ψ

$$\psi = \frac{1}{\bar{T}} \cdot \ln \frac{\bar{R}_0}{\bar{Q}}. \quad (14)$$

При этом среднее значение пропущенного тоннажа для произвольного распределения выхода рельсов $f(t)$ можно определить, как

$$\bar{T} = \int_{-\infty}^{+\infty} tf(t)dt. \quad (15)$$

Очевидно, что условие, при котором обеспечивается минимально допустимая несущая способность с предельной степенью вероятности не менее заданной можно найти через m_{Δ} и среднеквадратическое отклонение.

Подставляя (15) в (12) окончательно будем иметь выражение для несущей способности во всем диапазоне эксплуатационной работы рельсов $0 \dots T$, величину которого с заданной вероятностью нельзя превышать

$$\min \Delta = \bar{R}_0 \exp \left(\frac{1}{\int_{-\infty}^{+\infty} tf(t)dt} \ln \frac{\bar{R}_0}{Q} \right) - \lambda \sqrt{S_R^2 + S_Q^2}. \quad (16)$$

Представленная математическая модель может быть использована при проведении дальнейших расчетов несущей способности рельсов по соответствующим заданным критериям прочности с учетом возможного накопления различного рода дефектов с вероятностной оценкой условия соблюдения прочности в эксплуатационных условиях железнодорожного пути.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шахунянц Г. М., Туровский И. Я., Смирнова М. Б. и др. Механические характеристики рельсов Р65 стандартного производства. Тр. МИИТа, вып. 271. – 1968. – С. 3–104.
2. Карпушенко Н. И. надежность связей рельсов с основанием. – М.: Транспорт, 1986. – 150 с.
3. Уманов М. И. К определению допускаемых нарушений в рельсах на путях промышленного транспорта // Исследование расчетных характеристик и динамики железнодорожного пути. – Д., ДИИТ, 1985. – С. 81–85.
4. Николаенко Н. А. Вероятностные методы динамического расчета машиностроительных конструкций М.: Машиностроение, 1967. – 368 с.
5. Надежность и эффективность в технике, под ред. Кузнецова В. А., М.: Машиностроение, 1990. – 330 с.
6. Серенсен С. В. Прочность элементов конструкций в статистическом аспекте и оценки их экспериментальной надежности // Надежность и долговечность машин и оборудования. – М.: Издательство стандартов, 1972. – С. 136–146.
7. Соломаха В. А., Перлик В. И., Никозаков Д. Д. Учет особенностей формирования качества элементов систем при совместном рассмотрении ее взаимодействия с внешними нагрузками // Надежность сложных технологических систем. Научная думка, 1974. – С. 106–112.
8. Ангелейко В. И., Брадул-Кириллов Б., Возненко И. Я. О выборе допускаемых напряжений в элементах верхнего строения пути. Межвузовский сб. научн. тр. / Харьковский институт инженеров железнодорожного транспорта. – Х., 1986. – С. 86–95.

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ РЕЙОК В КРИВИХ ДІЛЯНКАХ КОЛІЇ В УМОВАХ МЕТРОПОЛІТЕНУ

Проводилися дослідження роботи рейок, які експлуатуються в умовах метрополітену, що суттєво відрізняється від їх роботи у магістральній колії. Тому вимоги до їх надійності повинні відповідати умовам безпеки руху поїздів. Існуюча нормативна база по суцільній заміні рейок для метрополітенів застосовувалася як і для магістральної колії, не враховуючи диференційовано кривизни залізничної колії.

На підставі використання теорії надійності та ймовірностей запропонована математична модель для поступових відмов рейок в реальних умовах метрополітену, яка враховує пропущений тоннаж, кривизну залізничної колії та середньоквадратичне відхилення як функцію кривизни колії та пропущеного тоннажу. В основу моделі покладено нормальний розподіл вилучення рейок за дефектами та пошкодженнями.

Використання цієї моделі дозволяє розробити науково-обґрунтовані рекомендації для визначення нормативного тоннажу суцільної заміни рейок, залежно від встановленого для залізниць гамма-ресурсу їх виходу з урахуванням експлуатаційних факторів залізничної колії.

Проводились исследования работы рельсов, эксплуатирующихся в условиях метрополитена, существенно отличающейся от их работы в магистральном пути. Поэтому требования к их надежности должны отвечать условиям безопасности движения поездов. Существующая нормативная база по сплошной замене рельсов для метрополитенов применялась, как и для магистрального пути, не учитывая дифференцированно кривизну железнодорожного пути.

На основании использования теории надежности и теории вероятностей предложена математическая модель для описания постепенных отказов рельсов в реальных условиях метрополитена, которая учитывает пропущенный тоннаж, кривизну железнодорожного пути и среднеквадратичное отклонение как функцию кривизны пути и пропущенного тоннажа. В основу модели положено нормальное распределение изъятия рельсов из-за дефектов и повреждений.

Использование этой модели позволяет разработать научно-обоснованные рекомендации для определения нормативного тоннажа для сплошной замены рельсов, в зависимости от установленного для железных дорог гамма-ресурса их выхода с учетом эксплуатационных факторов железнодорожного пути.

The investigations were made on the rails which are maintained in the underground conditions. They essentially distinguish from their work in the main way. Therefore the requirements to their reliability should answer conditions of traffic safety of trains. The existing normative base on continuous replacement of rails for undergrounds was applied, as well as for a main way, without consideration curvature of a railway track.

On the basis of use of the theory of reliability and the theory of probability the mathematical model for the description of gradual refusals of rails in real conditions of underground which takes into account the passed tonnage, curvature of a railway track and a root-mean-square rejection as function of curvature of a way and the passed tonnage is offered. The normal distribution of withdrawal of rails because of defects and damages is set in the basis of the model.

The usage of this model allows to develop scientifically - substantiated recommendations for definition of the normative tonnage for continuous replacement of rails. It depends on established for railways scale of their exit taking into account operational factors of a railway.

Залізнична колія в метрополітені суттєво відрізняється від магістральної колії по устрою, плану та профілю колії, експлуатаційним факторам, таким як: швидкість руху поїздів, режимам ведення поїзда, частоті навантаження та інших факторів. Перелічені фактори принципово обумовлюють специфіку роботи рейок у метрополітені. Враховуючи вимоги до безпеки руху поїздів необхідно знати основні закономірності виходу елементів зі строю.

Існуючі норми, що діють в метрополітенах, застосовуються такі ж як і на залізницях без врахування особливих умов експлуатації у метрополітенах. Це значно обмежує подальше ра-

ціональне використання елементів верхньої будови колії (особливо рейок), які ще не повністю використали свій експлуатаційний ресурс і придатні до подальшої роботи в колії.

В даних складних умовах вимоги до терміну строку служби рейок залежно від кривизни залізничної колії повинні бути більш диференційованими.

В основному дослідження проводилися в напрямку, що закономірності виходу рейок підпорядковані степеневому закону при обмеженості статистичних даних [1]. Така спрощена модель дає завищені результати при пропущеному тоннажі 150–200 млн т і вище. Таким

чином, враховуючи недоліки цієї моделі, важко визначити подальшу перспективу роботи рейок, які ще не використали повністю свій експлуатаційний ресурс.

Для розробки математичної моделі були використані данні Харківського метрополітену. Масив даних включав 632 рейки з дефектами та пошкодженнями і містив практично декілька повних циклів експлуатаційної роботи рейок в Харківському метрополітені як по окремим лініям, так і в цілому, що дозволило встановити різні види пошкоджень і дефектів рейок на початковій стадії їх роботи, а також виконати дослідження інтенсивності раптових та поступових відмов в період експлуатації рейок. Та-

кий підхід надав можливість виділити основні групи найбільш типових дефектів та пошкоджень, що було покладено в основу розробки математичної моделі роботи рейок залежно від пропущеного тоннажу та кривизни залізничної колії.

Дані про розподіл виходу рейок в процентному визначенні наведено на рис. 1, з якого видно, що основними є дефекти 11.1, 2, 3 контактно-утомленого походження, які розвиваються у головці рейки з причин недостатньої контактної міцності рейкової сталі. Особливо підлягають пошкодженню дефектом 11 рейки, які експлуатуються у кривих ділянках колії.

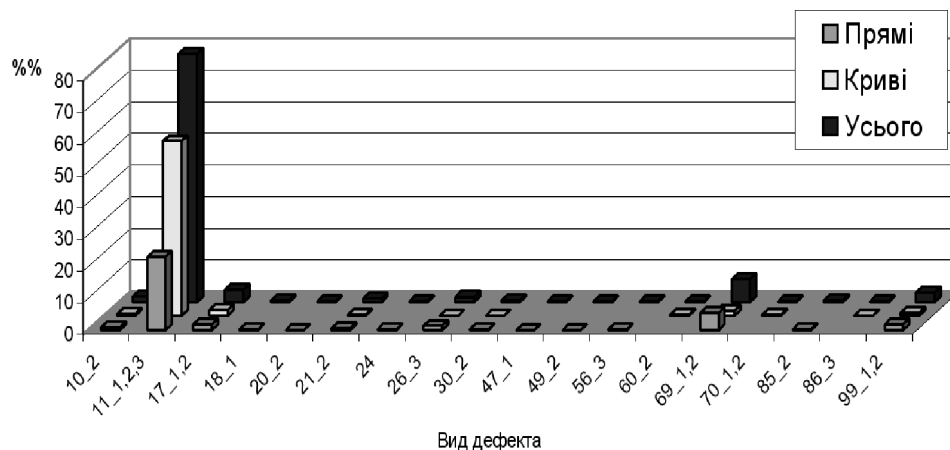


Рис. 1. Загальний розподіл виходу рейок по дефектам та пошкодженням

Кількість інших дефектів та пошкоджень не перевищує 1–3 % від загального виходу рейок.

В основу розробки математичної моделі для показників надійності закладені методи теорії імовірностей, надійності та математичної статистики. Головними критеріями оцінки стану елементів залізничної колії повинні стати показники, які повністю характеризують їх надійність в період експлуатації в межах встановленого нормативного тоннажу або часу.

Залізнична колія розглядається, як відновлювальний об'єкт з окремих елементів (80 рейок на один кілометр).

Середній тоннаж безвідмовної роботи рейок для довільного закону розподілу визначають, як математичне очікування випадкової величини

$$\bar{T} = \int_0^{\infty} ta(t)dt. \quad (1)$$

де $a(t)$ – частота відмов.

Значення частоти відмов для конкретного об'єкту або елемента у статистичному вигляді можна визначити як [2; 3]

$$a(t) = \frac{n(\Delta t)}{N_0 \cdot \Delta t}, \quad (2)$$

де N_0 – число елементів на початок експлуатації; $n(\Delta t)$ – число відмов елементів в інтервалі пропущеного тоннажу від $t - \Delta t/2$ до $t + \Delta t/2$.

У ролі якісної характеристики надійності для відбудовних систем важливим параметром є параметр потоку відмов. Він характеризує відношення числа елементів, які відмовили в одиницю пропущеного тоннажу до загального числа елементів, що експлуатуються, при умові, що всі елементи, які відмовили замінюються новими або відремонтованими, тобто

$$\omega(t) = \frac{n(\Delta t)}{N \Delta t}. \quad (3)$$

При виборі закону розподілу необхідно мати на увазі, для яких відмов він буде застосовуватися. Прироботочні та раптові відмови, як правило, описуються експоненціальним законом, коли інтенсивність їх появи приймається постійною.

Нормальний закон розподілу найбільш часто використовується для оцінки надійності елементів при наявності поступових відмов [4] і щільність імовірності задається рівнянням

$$\omega(T) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(T-\bar{T})^2}{2\sigma^2}}, \quad (4)$$

де $\bar{T}$ – середнє напрацювання до відмови рейки, млн т; σ – середнє квадратичне відхилення, млн т.

При нормальному розподілу випадкова величина може приймати значення від $-\infty$ до $+\infty$, а час безвідмовної роботи може бути тільки позитивним, то зрізаний нормальний розподіл має вигляд

$$\omega(T) = \frac{C}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(T-\bar{T})^2}{2\sigma^2}}, \quad (5)$$

де C – нормуючий множник, визначається з виразу

$$C \int_0^{\infty} \omega(T) dt = 1 \quad (6)$$

і дорівнює

$$C = \frac{1}{F\left(\frac{\pi}{\sigma}\right)} = \frac{1}{0,5 + \Phi_0\left(\frac{\pi}{\sigma}\right)}, \quad (7)$$

де $F\left(\frac{\pi}{\sigma}\right) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\pi/\sigma} e^{-\frac{x^2}{2}} dx$ – табульована інтегральна функція нормального розподілу [5; 6];

$$\Phi_0\left(\frac{\pi}{\sigma}\right) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi/\sigma} e^{-\frac{x^2}{2}} dx, \quad (8)$$

де $\Phi_0\left(\frac{\pi}{\sigma}\right)$ – нормована функція Лапласа, яка приймається з таблиць.

Середнє напрацювання до відмови та параметр T_1 зрізаного нормального розподілу пов'язані залежністю

$$\bar{T} = T_1 + \frac{\sigma}{\sqrt{2\pi} \cdot F\left(\frac{\pi}{\sigma}\right)} \cdot e^{-\frac{T_1^2}{2\sigma^2}}. \quad (9)$$

Для визначення динаміки виходу рейок залежно від пропущеного тоннажу розрахунки параметрів частоти відмов було виконано по формулі:

$$\omega(T) = \frac{n(\Delta T)_{i,j}}{N_0 \Delta T}, \quad (10)$$

де $n(\Delta T)$ – кількість рейок, які були замінені, шт./км; ΔT – пропущений тоннаж, приймався 25 млн т. брутто; i, j – фактори впливу на вихід рейок, відповідно: радіус кривої та пропущений тоннаж.

На основі чисельних значень параметру потоку відмов були одержані емпіричні дані про сумарний вихід рейок залежно від радіусу кривої

$$\sum n(\Delta T) = \omega(T) \Delta T N_0. \quad (11)$$

Таким чином статистична обробка результатів, а також якісний аналіз, дозволили зробити вибір факторів, які безпосередньо впливають на вихід рейок, це – пропущений тоннаж та кривизна колії.

В імовірнісному уявленні на відповідній частині щільності параметру потоку відмов та щільності частоти відмов не має великої розбіжності, то можна припустити $\omega(T) \approx a(T)$, тобто

$$\omega(T) = a(T) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(T-\bar{T})^2}{2\sigma^2}}. \quad (12)$$

Інтегральна функція виходу рейок або сумарний вихід рейок на 1 км колії в функції пропущеного тоннажу буде мати вигляд:

$$F(T, R) = \sum_1^T \omega(T, R) = \frac{N}{\sigma(R)\sqrt{2\pi}} \int_0^T e^{-\frac{[T-\bar{T}(R)]^2}{2\sigma^2(R)}} dt. \quad (13)$$

Враховуючи, що $\bar{T} = f(R)$ та $\sigma = f(R)$ запропоновано вираз для математичного очікування та середнього квадратичного відхилення у вигляді

$$\bar{T}(R), \sigma(R) = a + b \ln(R), \quad (14)$$

де a, b – емпіричні коефіцієнти, які знаходяться методом найменших квадратів за експериментальними даними.

Графіки $\bar{T} = f(R)$ та $\sigma = f(R)$ наведені на рис. 2.

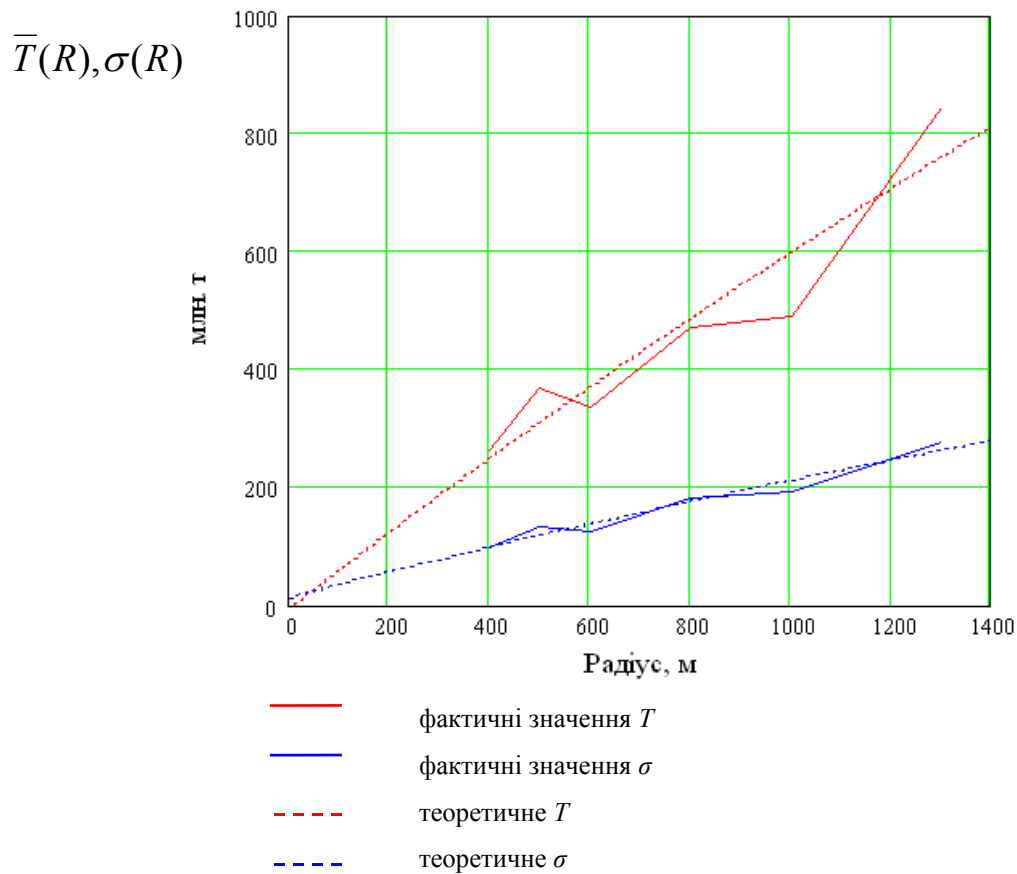


Рис. 2. Залежність середнього значення $\bar{T}(R)$ та середньоквадратичного відхилення (σ) від кривизни колії

Відповідно (7) інтегральні функції виходу рейок для i -го радіуса описується виразом:

$$F_i(T, R_i) = \sum_0^T \omega_i(T, R_i) = \frac{N}{\sigma(T, R_i) \sqrt{2\pi}} \int_0^T e^{-\frac{[T - \bar{T}(R_i)]^2}{2\sigma^2(T, R_i)}} dt.$$

Використовуючи отримані функції були побудовані графіки сумарного виходу рейок залежно від пропущеного тоннажу для кожного з радіусів (рис. 3).

В результаті проведених досліджень були встановлені основні групи дефектів, які сприяють видаленню рейок з колії у метрополітені.

Основним видом дефектів – є дефекти контактно-утомленого походження.

Запропонована математична модель для поступових відмов рейок в реальних умовах метрополітену, яка враховує пропущений тоннаж, кривизну залізничної колії та середньоквадратичне відхилення як функцію кривизни колії та пропущеного тоннажу.

Використання цієї моделі дозволяє розробити науково-обґрунтовані рекомендації для визначення нормативного тоннажу суцільної заміни рейок, залежно від встановленого для залізниць гамма-ресурсу їх виходу з урахуванням експлуатаційних факторів залізничної колії.

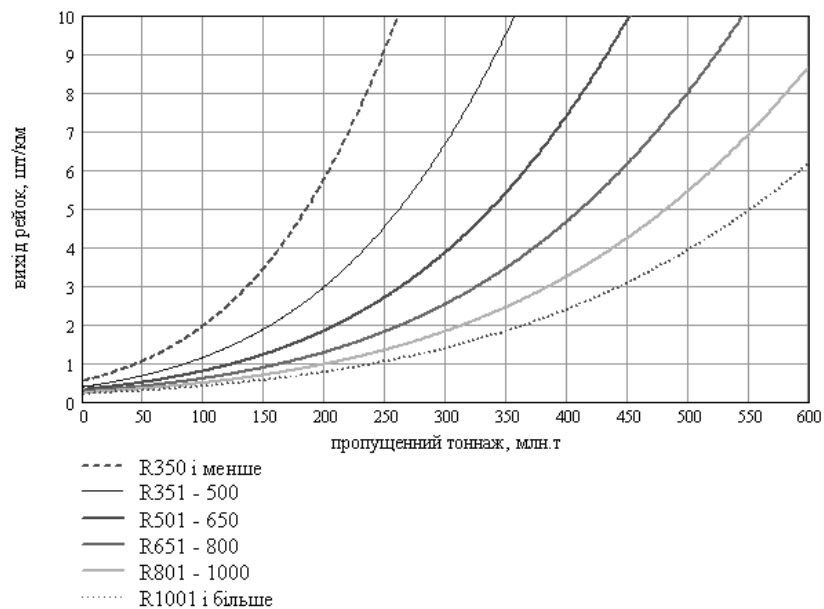


Рис. 3. Інтегральні криві виходу рейок в функції пропущеного тоннажу та радіусу кривій

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Шульга В. Я. Об учете эксплуатационных факторов при определении изъятия рельсов и норм межремонтного тоннажа // Сферы рационального применения конструкции верхнего строения пути. – М.: Транспорт, 1965. – Вып. 182. – С. 105–135.
2. Козлов Б., Ушкалов И. Справочник по расчету надежности. – М.: «Советское радио», 1966. – 431 с.
3. Половко А. М, Маликова И. М. Справочник задача по теории надежности. - М.: «Советское радио», 1972. – 407 с.
4. Рыбкин В. В. Оптимизация системы ведения путевого хозяйства в новых условиях эксплуатации железнодорожного транспорта Украины: Дис... д-ра тех. наук: 05.22.06. – Д., 1999. – 416 с.
5. Митропольский А. К. Техника статистических вычислений – М.: Наука, 1971. – 577 с.
6. Бронштейн И. Н., Семендяев К. А. Справочник по математике – М.: Наука, 1980. – 968 с.

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ХВИЛЕПОДІБНОГО ЗНОСУ ПОВЕРХНІ КАТАННЯ РЕЙОК ПО КОРЕЛЯЦІЙНІЙ ФУНКЦІЇ

Хвилеподібний знос, що виникає на рейках в процесі експлуатації, характеризується послідовним чергуванням плавних геометричних нерівностей трьох груп – коротких, середніх і довгих. Запропонована двокомпонентна модель хвилеподібного зносу і методика визначення глибини і довжини нерівностей що використовує методи кореляційного аналізу в рамках запропонованої моделі.

Волнообразный износ, возникающий на рельсах в процессе эксплуатации, характеризуется последовательным чередованием плавных геометрических неровностей трех групп – коротких, средних и длинных. Предложена двухкомпонентная модель волнообразного износа и методика определения глубины и длины неровностей использующая методы корреляционного анализа в рамках предложенной модели.

A waveform wear, nascent on rails during their exploitation, is described by successive alternation of smooth geometrical roughness of three groups – short, middle and long. The two component model of waveform wears and methods of depth and length determination of roughness are offered. The methods we the principles of correlation analysis within the offered model.

В процесі експлуатації рейок на поверхні катання, залежно від умов експлуатації виникають дефекти та пошкодження, у тому числі хвилеподібний знос рейок, який характеризується послідовним чередуванням плавних геометричних нерівностей. Хвилеподібний знос розрізняється з довгими, середніми та короткими нерівностями. Кожна група нерівностей має своє технологічне та експлуатаційне походження. Перша група – довгі (початкові) нерівності, довжиною близько 140...180 см, вже є на поверхні кочення при укладанні рейки в колію і обумовлені технологією виготовлення і в процесі експлуатації практично не розвиваються, друга група – середні нерівності довжиною 30...50 см (хвилеподібний знос), які розвиваються в процесі особливих умов експлуатації рейок у кривих ділянках колії, а також короткі нерівності (ріфлі) довжиною 6...8 см, в основному на ділянках з пасажирським рухом поїздів. Враховуючи різний характер їх походження

в подальшому розглядаються тільки перші дві групи нерівностей.

Раніше задача визначення геометричних параметрів нерівностей вирішувалась тільки статистично, без використання елементів статистичної динаміки або теорії випадкових процесів.

Для побудови моделі початкові нерівності та хвилеподібний знос можна описати в першому наближенні виразом, графічна ілюстрація якого наведена на рис. 1:

$$R(l) = \frac{A_1}{2} \sin\left(\frac{2\pi}{L_1} l\right) + \frac{A_2}{2} \sin\left(\frac{2\pi}{L_2} l\right), \quad (1)$$

де A_1 – глибина початкових нерівностей;

L_1 – довжина початкових нерівностей;

A_2 – глибина хвилеподібного зносу;

L_2 – довжина хвилеподібного зносу.

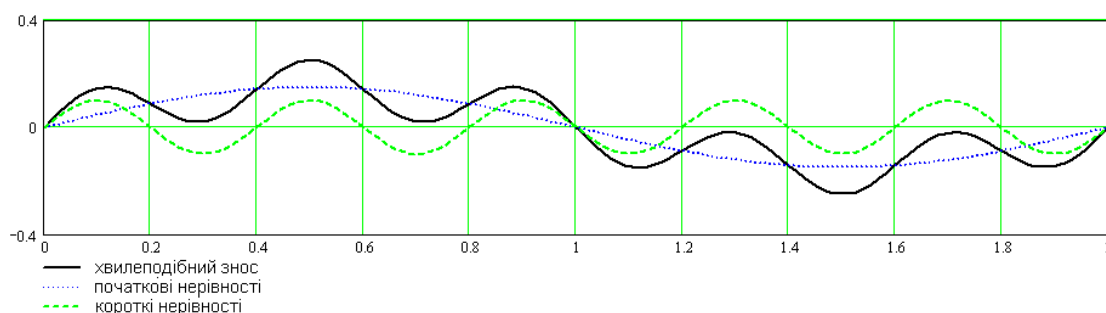


Рис. 1. Графік формування нерівностей з параметрами $A_1 = 0,3$ мм, $L_1 = 2$ м, $A_2 = 0,2$ мм, $L_2 = 0,4$ м

Для побудови моделі хвилеподібного зносу рейок та його структури необхідно мати уяв-

лення про зміну глибини та довжини нерівностей в процесі експлуатації. Ця задача може

бути вирішена при застосуванні кореляційного аналізу.

Кореляційний момент функції визначається по формулі:

$$K(\tau) = \frac{\int_0^t (f(x) - \bar{x})(f(x + \tau) - \bar{x}) dx}{2t}, \quad (2)$$

де $f(x)$ – початкова функція;

t – довжина реалізації функції;

$\bar{x}$ – середнє значення функції.

Оскільки, модель описує центрований процес і реалізація функції для рейок відома на інтервалі $0 \dots t$, формула (2) приймає вигляд:

$$K(\tau) = \frac{\int_0^t f(x)f(x + \tau)dx}{t}. \quad (3)$$

Попередній аналіз показав, що внаслідок кінцевості реалізації і ергодичності та стаціонарності процесу, на практиці функції, що описують поверхню кочення, кореляційні моменти можна розглядати в межах $\tau = 0 \dots t/5$, а в більшості випадків досить до першого перетину з 0 кореляційної функції. Кореляційна функція реалізації процесу хвилеподібного зносу зображена на рис. 2.

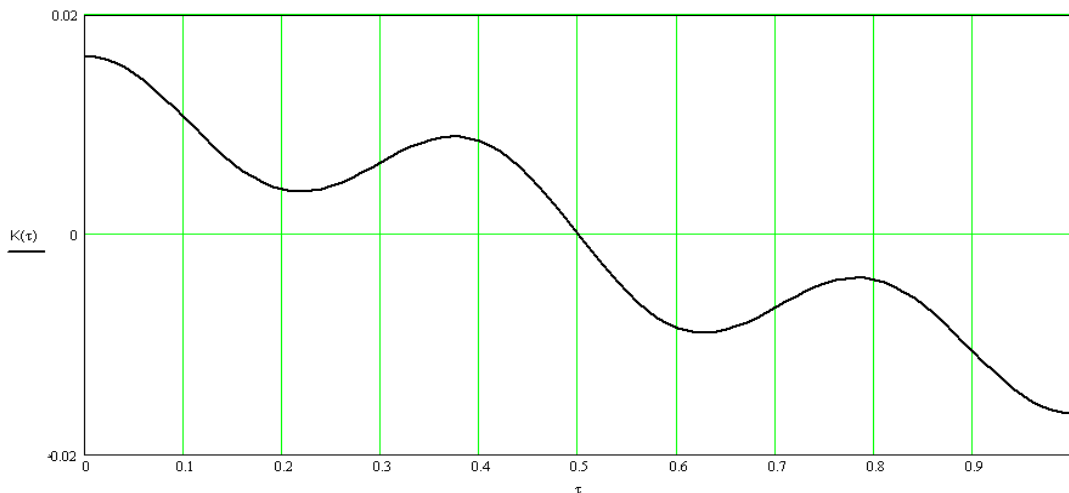


Рис 2. Кореляційна функція хвилеподібного зносу

Цей процес можна розглядати в рамках двоконпонентної моделі.

Хвилеподібний знос може знаходитися в наступних стадіях розвитку – відсутність хвилеподібного зносу на рейках з початковими нерівностями та хвилеподібний знос з початко-

вими нерівностями, при тому глибина хвилеподібного зносу значно перевищує глибину початкових нерівностей. Вигляд кореляційної функції при різних параметрах нерівностей наведено на рисунках 3–5.

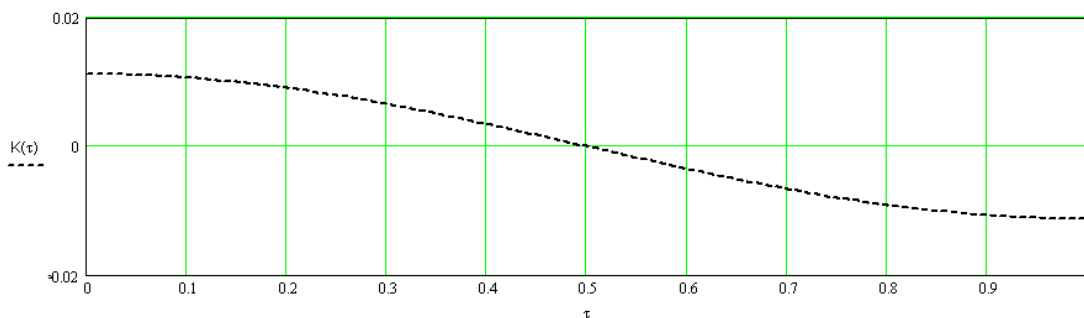


Рис. 3. Кореляційна функція початкових нерівностей з параметрами
 $A_1 = 0,3$ мм, $L_1 = 2$ м, $A_2 = 0$ мм, $L_2 = 0,4$ м

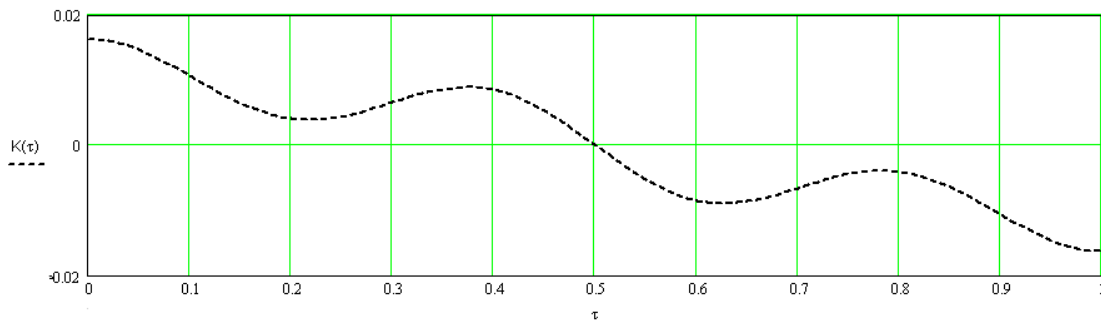


Рис. 4. Кореляційна функція початкових нерівностей та хвильоподібного зносу з параметрами $A_1 = 0,3$ мм, $L_1 = 2$ м, $A_2 = 0,2$ мм, $L_2 = 0,4$ м

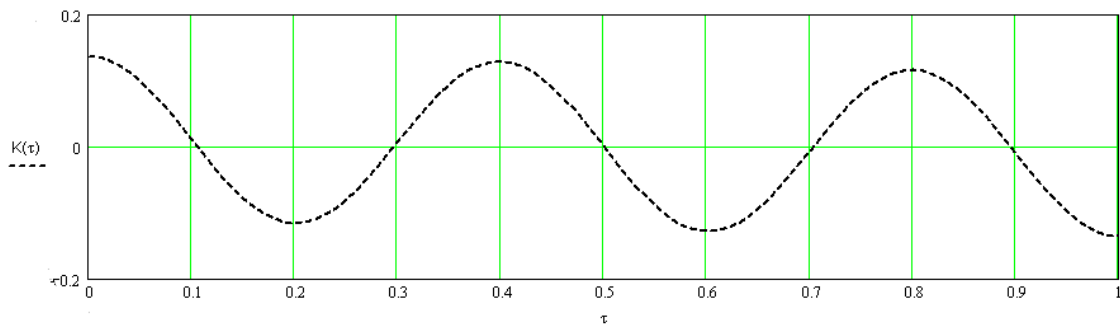


Рис 5. Кореляційна функція початкових нерівностей та хвильоподібного зносу з параметрами $A_1 = 0,3$ мм, $L_1 = 2$ м, $A_2 = 1$ мм, $L_2 = 0,4$ м

Як видно з наведених графіків точка перетину кореляційною функцією 0 визначається домінуючим процесом (рис. 3, 5). При наявності хвильоподібного зносу, глибина якого перевищує глибину початкових нерівностей (рис. 4), точка перетину 0 зсувається у лівий бік.

Виходячи з того, що кореляційна функція наданого процесу є суперпозицією двох кореляційних функцій, що його складають, довжину і глибину нерівностей можна визначити по наступній методиці.

А) *Визначення частотних параметрів.* У разі відсутності нерівностей хвильоподібного зносу графік кореляційної функції являє собою косинус, з частотою, що дорівнює частоті поча-

ткових нерівностей. Точка перетину з 0 (визначимо її як τ_1) – половина періоду довгих нерівностей. У випадку коли довжина початкових нерівностей $L_1 = nL_2$ (де n – ціле) це справедливо і для стадії розвитку хвильоподібного зносу зображеного на рис. 4. В загальному випадку для другого і третього випадку потрібна побудова косинусоїди по трьох характерних точках кореляційної функції ($\tau_{1.1}$, $\tau_{1.2}$, $\tau_{1.3}$), відповідним точкам перегину (рис. 6), які можна визначити взявши другу похідну від кореляційній функції, тобто:

$$\tau_{1.1} = \tau \Big|_{K''(\tau)=0} \quad (4)$$

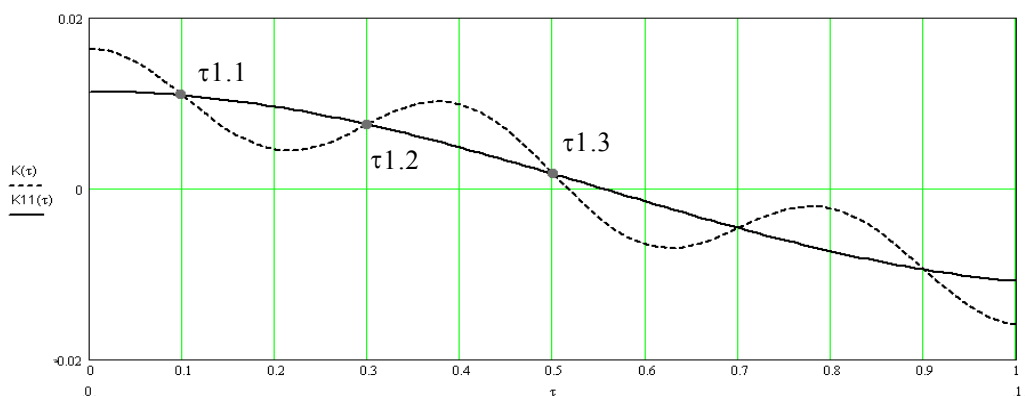


Рис. 6. Побудова кореляційної функції початкових нерівностей

Якщо не будувати косинусоїду, максимальна погрішність визначення довжини початкових нерівностей становитиме чверть періоду коротких нерівностей, що для багатьох випадків допустимо.

Як видно з рис. 6 довжина хвилеподібного зносу визначається по точці $\tau_{1.1}$, яка відповідає чверті довжини середніх нерівностей і її значення дорівнює половині першого локального мінімуму при $\tau = 0,2$ м. Виходячи з того, що частотно початкова функція і її кореляційні моменти пов'язані, точка $\tau_{1.2} = 3\tau_{1.1}$, а точка $\tau_{1.3} = 5\tau_{1.1}$.

Для третьої стадії (рис. 5), коли глибина хвилеподібного зносу значно перевищує глибину початкових нерівностей, точка τ_1 близька до точки $\tau_{1.1}$, тобто визначає швидше довжину середніх нерівностей. Про наявність довгих нерівностей свідчить те що значення в $K(0)$ і модуля першого локального мінімуму відрізняються.

Б) Визначення амплітуди. Відомо, що дисперсія складного процесу дорівнює сумі дисперсій його складових якщо складові між собою не корельовані. Тоді дисперсія процесу дорівнює значенню нульового кореляційного моменту і амплітуда синусоїди, що описує нерівність, буде пов'язана з дисперсією співвідношенням:

$$\sigma^2 = \frac{a^2}{2} = \frac{\left(\frac{A}{2}\right)^2}{2}, \quad (5)$$

де σ – середньоквадратичне значення;

a – амплітуда процесу, $2a = A$.

Для випадку початкових нерівностей, виходячи з (5), глибина визначається:

$$A_1 = 2\sqrt{2K(0)}. \quad (6)$$

Для другої і третьої стадії розвитку, при розрахунках, із задовільною погрішністю (так як косинус на інтервалі $\tau = 0 \dots \tau_{1.1}$ убиває повільно) можна прийняти:

$$A_1 = 2\sqrt{2K(\tau_{1.1})}; \quad (7)$$

$$A_2 = 2\sqrt{2(K(0) - K(\tau_{1.1}))}, \quad (8)$$

де A_1 і A_2 глибина початкових нерівностей і хвилеподібного зносу відповідно.

Таким чином, застосовуючи кореляційний аналіз для хвилеподібного зносу рейок, як випадкового процесу, можна визначати основні геометричні параметри нерівностей на поверхні катання рейок.

А. В. РАДКЕВИЧ, С. А. ЯКОВЛЕВ, А. А. МАТУСЕВИЧ (ДИИТ)

МАТРИЧНАЯ СТРУКТУРА ОЦЕНКИ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Изложена методика матричного исчисления, оценки, организационно-технологических возможностей строительной организации.

Викладена методика матричного розрахунку, оцінки, організаційно-технологічних можливостей будівельної організації.

The methods of matrix calculation, organizational and technological opportunities of the building company is stated in the paper.

Изложенная методика организации технического перевооружения транспортного строительства включает обобщение отечественного и зарубежного опыта обновления основных фондов строительных организаций.

На основе выбора оптимальных решений на строительстве объектов в сложных природных условиях; методы двухуровневых матричных расчётов технического перевооружения транспортных и строительных организаций на основе взаимовыгодной кооперации с целью повышения конкурентоспособности в современных условиях; примеры реализации комплексного подхода к развитию производственной сферы деятельности и инфраструктуры организаций.

Взаимоувязанное решение этих и ряд других отраслевых задач призвано обеспечить конкурентоспособность транспортных строительных организаций за счёт взаимовыгодной интеграции.

Методология решения поставленной проблемы основана на методах много продуктового межотраслевого баланса и системы балансовых матриц, разработанных крупными экономистами за рубежом (модели В. В. Леонтьева и Самуэльсона) в нашей стране и в ближнем зарубежье (академики В. С. Немчинов, Л. В. Канторович, С. С. Шаталин и др.).

Эти методы применимы к задачам технического перевооружения и комплексного развития организаций. Обновление машинных парков всех организаций, имеющих общность производственной программы — характеристик объектов и условий их строительства, следует осуществлять на основе единой технической политике. Для организаций взаимодействующих в одном территориальном транспортном узле, например, в Европейском Центре, или имеющие подрядные отношения на строитель-

стве крупных объектов — новых линий, вторых путей или электрификации матрица исходных данных может быть представлена в виде табл. 1.

Её графы соответствуют объектам представителям производственной программы по каждому виду работ (данный пример составлен для организации механизации земельных работ). Под таким объектом понимается совокупность технических и технологических характеристик, соответствующих определённому способу механизации. Строки матрицы соответствуют существующим (наличным), новым и принципиально новым средствам механизации. В каждой из позиций матрицы приведены технико-экономические показатели $П_{ij}$ и приведённые удельные затраты и прибыль S_{ij} за единицу конечной продукции (например, 1 м³ готового земельного полотна). В верхней части таблицы следует записать типоразмерные группы m наличного машинного парка и годовые фонды машино-ресурсов Φ . В нижней части матрицы приводится новая техника, в т. ч. первая серия или опытные образцы, выпускаемые машиностроением или создаваемые организациями по программе «Мировой уровень».

С помощью матричного исчисления можно определить рациональную загрузку наличных основных фондов и потребность в новой технике всех строительных организаций. Причём двухэтапные комплексные расчёты дают значительный экономический эффект за счёт уменьшения дополнительных капитальных вложений для производства и приобретения новой техники по сравнению с программами отдельных организаций.

Таблица 1

**Матрица структур взаимодействия организаций и корпорации
в программе технического перевооружения**

Трест ЦСМ						Трест УСМ						Трест БамСМ									
Машины	Мехколонны				Фонд Ф	R	Машины	Мехколонны			Фонд Ф	R	Машины	Мехколонны				Фонд Ф	R		
	МК-1	МК-2	...	МК-n				МК-1	...	МК-n				МК-1	МК-2	...	МК-n				
1	S_{11} Π_{11}	S_{12} Π_1 2	...	S_{in} Π_{in}	Φ_1	R_i'	1	S_{11} Π_{11}			Φ_1	R_i^2	1	S_{11} Π_{11}	S_1 Π_1 2			Φ_1	R_i'		
...			...			...	...		...		...	...	...			...		...	...		
m	S_{m1} Π_{m1}	S_{11} Π_1 1	...	S_{mn} Π_{mn} n	Φ_m	R_m'	m			S_{mn} Π_{mn}	Φ_m	R_m^2	m				S_{mn} Π_{mn} n	Φ_m	R_{mk}		
НТ-1	S_{11}^H Π_{11}	S_2 Π_2	...	S_n Π_n	Φ_{1H}	-	НТ-1	S_{11}^H Π_{11}			Φ_{1H}	-	НТ-1	S_{11}^H Π_{11}				Φ_{1H}	-		
НТ-2	S_{21}^H Π_{21}	S_{22} Π_2 2	...	S_{2H} Π_2 H	Φ_{2H}	-	НТ-2		...	S_{2H} Π_{2H}	Φ_{2H}	-	НТ-2			...	S_{2H} Π_2 H	Φ_{2H}	-		
					N_{1H}	S						N_{2H}	S						N_{KH}	S	R_k
					R_1						R_2										

Корпорация	Машины	Тресты				Производство НТ: R	Списание	
		ЦСМ	УСМ	...	БамСМ			
		W_R W_H	W_R W_H		W_R W_H			
		S_{11} Π_{11}	S_{12} Π_{12}			R_1	C_{H1}	ТСМ
	...			...		...		
	m	S_{m1} Π_{m1}				R_m	C_{nm}	
	НТ-1	S_{11}^H Π_{11}			S_{1k} Π_{1k}	$\sum N_{1H}$		НПО
	НТ-2	S_{21}^H Π_{21}	S_{22}^H Π_{22}^H		S_{1k} Π_{1k}	$\sum N_{2H}$		

Этап 1. Расчёты на уровне организаций

Такие расчёты могут быть выполнены на персональных ЭВМ с помощью математической модели, которая содержит уравнения и неравенства, соответствующие условиям обновления машинного парка и целевую функцию.

Z – максимальная прибыль от технического перевооружения:

1. Условия выполнения полных объёмов работ V_j , предусмотренных годовой производственной программой

$$\sum_i \Pi_{ij} x_{ij} = V_j, \quad j = 1 \dots n. \quad (1)$$

2. Условия полного использования наличных машин со сроком службы меньше оптимального (индекс n):

$$\sum_j x_{ij}^u \leq \Phi_i^u, \quad i = 1 \dots m. \quad (2)$$

3. Условия списания изношенных машин (индекс u):

$$\sum_j x_{ij}^u \leq \Phi_i^u N^u. \quad (3)$$

4. Расчёт потребности в новой технике (индекс nm):

$$N_i^{nm} = [V_1 - \sum (P_{ij}^u x_{ij}^u + P_{ij}^{nm} x_{ij}^{nm})] P_i^{nm} \Phi_i^{nm}. \quad (4)$$

Эту формулу необходимо прокомментировать. Организация (Акционерное общество) может варьировать переменными значениями величин: количеством списываемой техники и как следствие, числом изношенных машин в парке N_i^u ; количеством приобретаемых новых машин N_i^{nm} на замену изношенным и для прироста объёмов работ; годовым объёмам работ V_j . Оценку принимаемых решений можно сделать с помощью критерия сравнительной эффективности

$$z = \sum (S_{ij}^u x_{ij}^u + S_{ij}^{nm} x_{ij}^{nm}) \rightarrow \max. \quad (5)$$

При увеличении количества новых машин появляется возможность увеличить объёмы работ V_j и (или) списать изношенную технику. Принятые решения о количестве и типоразмерах новых машин зависят от объема капитальных вложений, который может быть выделен организациями на техническое перевооружение.

Однако такое решение, отвечая требованиям времени-переходу к самостоятельности строительных организаций, является оптимальным только в рамках данной организации. Оно может быть существенно улучшено за счёт увеличение «строительного, хозяйственного пространства», а именно за счёт целенаправленной координации действий нескольких организаций и их разумной специализации.

Замкнутость, обособленность организаций в их технической политике приводит к недальновидным и малоэффективным решениям. Например, в настоящее время практически все организации механизации земляных работ занимаются созданием новых машин и устройств для повышения качества уплотнения грунтов. Это действительно актуальная проблема, особенно для сооружения земляного полотна ВСМ. Однако отсутствие координации привело к тому, что созданное организацией устройство для контроля степени уплотнения, машины для

уплотнения бровочной части насыпи доведены только до опытных образцов. Такая «суверенная» организация НИР и ОКР приводит к мало серийному производству с низкой рентабельностью, но зато большой вероятностью прекращения работ из-за отсутствия гарантийного обеспечения комплектующими изделиями.

Необходимо сохранить богатейший опыт создания специализированной техники для транспортного строительства, особенно последних поколений: УПМ-1, вибропогружателей, а также совместного производства машин по кооперации с иностранными фирмами.

Этап 2. Расчеты на уровне корпорации

Методика координации деятельности может быть основана на интеративном агрегировании локальных оптимальных решений, содержащихся в матрицах технического перевооружения организаций (см. табл. 1). Рассмотрим её применение применительно к организациям механизации земляных работ.

Задача состоит в том, чтобы определить сводную потребность в новых машинах и организовать их производство; перераспределить неиспользуемую (незагруженную) технику организаций.

Для выбора оптимального варианта построим сводную модель задачи. Сводная математическая модель предназначена для взаимосвязи основных условий и критериев оптимальных планов технического перевооружения парков машин на уровне отдельных организаций и корпораций.

1) Условия, определяющие сводную потребность в новой технике

$$\sum_k N_{ik}^{nm}(x) = N_i^{nm}. \quad (6)$$

Входными параметрами в это условие являются результаты расчета потребности каждой организации в новых машинах N_{ik}^{nm} типа по формуле (4).

2) Условие, позволяющее перераспределить неиспользуемые наличные машины между организациями

$$\sum_k x_{ik} \leq \sum_k R_{ik}. \quad (7)$$

Входными параметрами в это условие являются предложения организаций по передаче для использования в других организациях в плановом году отдельных машин (это может быть продажа либо аренда или другая форма

экономических взаимоотношений). Количество используемой техники определяется в балансовых матрицах организаций по формуле

$$R_{ik} = \Phi_{ik} - \sum_j x_{ijk}^u. \quad (8)$$

3) Ограничения по размеру отчисления каждой организации в сводный фонд технического перевооружения

$$\sum_i C_{ik} x_{ij} = W_k. \quad (9)$$

Входными параметрами в сводную модель являются размеры отчислений организаций W_k в сводный (общий) фонд технического перевооружения, а регулируемые параметрами являются цены C_{ik} на новые машины i -го типа. Сущность данного условия в том, чтобы полностью использовать отчисления организаций и вместе с тем за счет ценовой политики внедрить наиболее прогрессивную технику.

4) Критерий эффективности (оптимальности) сводной модели задачи формулируется в виде суммарного размера прибыли, который должен быть получен всеми организациями, вошедшими в комплексную программу, за счет технического перевооружения:

$$\sum_i \sum_k S_{ik} x_{ik}^u + \sum_i \sum_k S_{ik}^u x_{ik}^u + \sum_i \sum_k S_{ik} (C_{ik}^{nm}, W_k, E_n^\phi) \rightarrow \max. \quad (10)$$

Регулируемыми параметрами критерия являются данные организаций от прибыли от использования наличной техники (S_{ik} – со сроком службы меньше оптимального; S_{ik} – изношенных машин) и плановая прибыль новой техники S_{ik}^{nm} . Величина S_{ik}^{nm} зависит от фактического норматива эффективности капитальных вложений в отраслевое машиностроение E_n^ϕ и от размера W_k отчислений организаций в развитие машиностроения и его инфраструктуры.

Данная математическая модель относится к классу моделей блочно – линейного программирования, структура которой показана в матрице, табл. 2. Кроме структурных частей (матриц отдельных организаций и сводной матрицы) здесь видны функциональные связи между разными уровнями управления техническим перевооружением; это потоки входных и регулируемых параметров: $R_{ik}, N_{ik}, S_{ik}, W_k$.

В соответствии с теорией системного анализа (1, 2) единство структуры и функциональных связей, объединённых критерием (функцией цели), образует научно обоснованную и наиболее эффективную организацию технического перевооружения организаций.

Проблемы технического перевооружения в условиях рынка

Технический потенциал организаций, а также накопленный опыт решения сложнейших технологических и организационных задач в области транспортного строительства в нашей стране и за рубежом являются основным свидетельством конкурентоспособности отрасли на мировом рынке.

Многолетние контракты позволили запроектировать и построить сеть железных дорог в Сирии (1400 км) и Афганистане (1500 км). Отрасль поддерживает технические контакты с 20 странами и реализует в различных формах около 100 контрактов. Прорабатываются вопросы сотрудничества с Аргентиной, Тайванем, Сингапуром. Имеется опыт производственной кооперации с фирмами ФРГ, Франции и других стран.

По кооперации на сбалансированной основе с фирмами Германии *Bauer, Schwing – Stetterputzmeister* сделаны машины и оборудование, имеющие спрос на мировом рынке и обеспечивающие мировой уровень строительных работ.

Однако главная трудность заключается в поддержании высокого уровня конкурентоспособности при заключении контрактов на подрядное строительство. В результате ухудшения за последние годы общей мировой конъюнктуры в области капитального строительства и ужесточения финансовых условий резко возросла конкуренция на получение заказов за рубежом.

Основным условием конкурентоспособности является непрерывный процесс обновления основных фондов организаций, обеспечивающий соответствие их технологических возможностей заданным характеристикам контрактов, в том числе архитектурных и проектных решений, сроков, стоимости и качества предлагаемых на рынке объектов. Именно этой цели посвящена координирующая научно-техническую политику организаций отраслевая. Комплексная целевая программа достижения высшего технического уровня транспортного строительства в третьем тысячелетии. Программа пред-

полагает выход на мировые позиции по темпам строительства и техническому уровню.

Таблица 2

Сводная математическая модель координации технического перевооружения организаций

		Объёмы работ	Наличные ресурсы	Новая техника	Регулируемые (управляемые) параметры	Отчисления
Организации	ЦСМ	$\sum_i \Pi_{ij} x_{ij} + \sum_{ij} \Pi_{ij}^H x_{ij}^H + \sum_i \Pi_{ij}^{HT} x_{ij}^H = V_j^1$	$\sum x_{ij} \leq \Phi_{ij}^1$ $\sum x_{ij}^H \leq \Phi_{ij}^H$	потребность	$R_j^1 = \Phi_j^1 - \sum x_{ij}$ $N_{jk}, E\Phi, S_{KH}$	W_R^1 W_H^1
	УСМ			$N_{ni}^K = \sum_j x_{ij}^H$		
	...					
	БамСМ	$\sum_i \Pi_{ij} x_{ij} + \sum_{ij} \Pi_{ij}^H x_{ij}^H + \sum_i \Pi_{ij}^H x_{ij}^H = V_j^k$	$\sum x_{ij}^K \leq \Phi_{ij}^K$ $\sum x_{ij}^H \leq \Phi_{ij}^H$	$I_{nj}^K = \sum_j x_{ij}^H$	$R_i^K = \Phi_i^K - \sum x_{ij}$ N_{ik}, S_{ik}	W_R^k W_R^k
Критерий		$\sum S_{ij} x_{ij} + \sum S_{ij}^H x_{ij}^H + \sum S_{ij}^H x_{ij}^H \rightarrow \max$				
Корпорация		Отчисления в фонд новой техники $\sum_i x_{ik}^H \Pi_{ik}^H = W_K^H$	$\sum x_{ik} = R_{ik}$	Объём производства $\sum x_{ik}^{Hm} = N_{ik}^{Hm}$	$\Pi_i(N_{HT}), R_i$	$\sum W_{nk}^K$
$\sum S_{ik} x_{ik} + \sum S_{ik}^H x_{ik}^H \rightarrow \max$						

Комплексный подход является необходимым и для решения научно-технических задач на современных отечественных транспортных объектах. Например, для сооружения земляного полотна высокоскоростной магистрали Санкт-Петербург–Москва необходима новая техника: тяжелые виброкатки с автоматическим контролем плотности, грунтосмесительные машины, передвижные грунтоиспытательные лаборатории на микропроцессорной основе и т. д.

Для путевых работ необходимо создать на промышленных предприятиях укладочный кран грузоподъемностью 30 т, рельсошлифовальный поезд типа *Speno* динамический стабилизатор пути, необходимы более мобильные путеукладчики ПБ-3М, звеноборочный стенд ЗС-400.

Решение проблемы технического перевооружения организаций обостряется в современных условиях машиностроительного рынка и растущей инфляцией. Основными задачами

данной проблемы являются обеспечение строителей новой техникой; сохранение и повышение эффективности использования собственной машиностроительной базы отрасли.

Сложность решения первой задачи заключается в рыночных отношениях с машиностроительными заводами-поставщиками. Рост цен на машины и запасные части опережают доходы строителей. Приобретение импортной высококлассной техники, например бульдозеров и кранов фирм Японии и США за валюту практически недоступно организациям, фирмам. В перспективе такая возможность реальна только в результате объединения рыночных структур и механизмов нескольких акционерных обществ и не только их капиталов и ресурсов, но и сфер применения новых уникальных машин в узлах сосредоточенного транспортного строительства.

Сложным и дорогим стало приобретение машин не только в дальнем, но и ближнем за-

рубежье. Например, резко возросли цены на автомобили Кременчугского завода, а между тем автосамосвалы КраЗ-6510, КраЗ-65055, КраЗ-65032, КраЗ-6130С4 предназначены для обновления парка мехколонн, автошасси КраЗ-250 является базовым и для автобетоносмесителей и т.д. Здесь централизованный маркетинг корпорации более эффективен, чем индивидуальная работа организаций. Техническая политика направлена на создание крупного взаимовыгодного рынка для машиностроительных заводов России и организаций. По ряду типов строительных машин отрабатываются долгосрочные отношения. Это относится к поставкам бульдозеров Чебаксарского завода, экскаваторов из Липецка, автогрейдеров из Брянска и т.д.

Трудно решаются вопросы поставок мощной грунтоуплотняющей техники, новых типов путевых машин, необходимых для строительства железнодорожного пути и др. Вторая задача технического перевооружения – перестройка собственной машиностроительной базы особенно актуально в изложенных выше условиях. Заводы отрасли потеряли возможность приобретать двигатели, гидравлику, технологическую оснастку на заводах, ставших зарубежными.

В создании новых специализированных машин для транспортного строительства отрабатывается новый подход, основанный на повышении уровня их универсальности. Примером является перевод универсальной путевой машины УПМ на базу нового трактора ЛТЗ-155 Липецкого завода. В результате конструкторской и заводской обработки новой модели организации будут иметь базовую машину с лучшими, чем Т-158 характеристиками.

Новый трактор будет использоваться как база для погрузчиков, тягачей – лесовозов, кранов. Такую же работу ведёт корпорация и по

созданию новых кранов на пневмоколёсном ходу на заводах Углича, Шимановска и Тайшета.

Таким образом, в условиях рыночных цен и возрастающей конкуренции с конверсионными заводами необходим ускоренный цикл НИИОКР – производства для создания универсальных машин, обеспечивающих техническое перевооружение организаций.

Изложенный анализ состояния технического перевооружения отрасли подтверждает непреходящую актуальность истины – в сложных экономических условиях эффективное объединение усилий и интересов организаций, в области осуществления технической политики.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анчишкин А. И. Научно-технический прогресс и интенсификация производства. – М.: Политиздат, 1981.
2. Бусленко Н. П. Моделирование сложных систем. – М.: Наука, 1986.
3. Гольштейн Е. Г., Юдин Д. Б. Новые направления в линейном программировании. – М.: Советское радио, 1986.
4. Проблемы прогнозирования и оптимизации работы транспорта / Под ред. Канторовича Л. В., Лившица В. Н. – М.: Наука, 1982.
5. Леонтьев В. В. Исследование структуры американской экономики. – М.: Госстатиздат, 1958.
6. Лившиц В. Н. Системный анализ экономических процессов на транспорте. – М.: Транспорт, 1986.
7. Немчинов С. Я. Экономико-математические методы и модели. – М.: Мысль, 1965.
8. Луцкий С. Я., Ададашев И. С. Развитие эффективности механизации транспортного строительства. – М.: Транспорт, 1989.
9. Экономическая теория научно-технического прогресса / Под ред. Л. С. Львова. – М.: Наука, 1989.

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ НАЗВ ОРГАНІЗАЦІЙ

ДПТ	–	Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна
ДИИТ	–	Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна
НКТЬ ЦП УЗ	–	Науково-конструкторське технологічне бюро колійного господарства Укрзалізниці
СибГУПС (Россия)	–	Сибирский государственный университет путей сообщения
РГУПС (Россия)	–	Ростовский государственный университет путей сообщения
ДонИЖТ	–	Донецкий институт железнодорожного транспорта
МИИТ (Россия)	–	Московский институт инженеров транспорта
Бел ГУТ(Белорусь)	–	Белорусский государственный университет транспорта
ПГУПС (Россия)	–	Петербургский государственный университет путей сообщения
ВНИИЖТ (Россия)	–	Всесоюзный научно–исследовательский институт железнодорожного транспорта
КУЕТТ	–	Київський університет економіки і технологій транспорту
ИГТМ НАН Украины	–	Институт геотехнической механики национальной академии наук Украины
УкрДАЗТ	–	Українська державна академія залізничного транспорту
УкрГАЗТ	–	Украинская государственная академия железнодорожного транспорта

ЗМІСТ

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ ОЧЕРК О МОИСЕЕ АБРАМОВИЧЕ ФРИШМАНЕ.....	3
ВОСПОМИНАНИЯ ПРОФЕССОРА Т. Г. ЯКОВЛЕВОЙ (МИИТ).....	5
ВОСПОМИНАНИЯ ДОЦЕНТА Р. С. ЛИПОВСКОГО (ДИИТ)	6
В. В. РЫБКИН, К. В. МОИСЕЕНКО (ДИИТ) ИСТОРИЯ, ДОСТИЖЕНИЯ, ПЕРСПЕКТИВЫ ОТРАСЛЕВОЙ ПУТЕИСПЫТАТЕЛЬНОЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ ДНЕПРОПЕТРОВСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА ИМЕНИ АКАДЕМИКА В. ЛАЗАРЯНА	7
М. Д. КОСТЮК (Укрзалізниця), В. В. РИБКІН, І. О. БОНДАРЕНКО (ДІІТ), Н. М. ІВАНЧЕНКО (НКТБ ЦП УЗ) ОЦІНКА ПАРАМЕТРІВ ПРУЖНОЇ КЛЕМИ МАРКИ КП-5.2.....	11
DR.-ING. ULF GERBER (Dresden University of Technology, Faculty of Traffic and Transportation Sciences «Friedrich List», Institute for Traffic Infrastructure) A RELATIONSHIP BETWEEN THE SERVICE LIFE OF THE PERMANENT WAY AND THE INHOMOGENEITY OF THE SUBSTRUCTURE.....	18
В. В. РИБКІН, М. П. СИСИН (ДІІТ) ЗНАХОДЖЕННЯ ВЕРТИКАЛЬНОЇ НЕРІВНОСТІ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ ПО ДАНИХ ВАГОНА-КОЛІЄВИМІРЮВАЧА	24
В. В. РИБКІН, О. М. БАЛЬ (ДІІТ) МОДЕЛЮВАННЯ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ЗАЛІЗНИЧНИХ РЕЙОК В КОЛІЇ	31
В. В. РЫБКИН, А. М. ПАТЛАСОВ, А. В. ВЛАСЕНКО (ДИИТ) ПРИМЕНЕНИЕ НОМОГРАММ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗВЫШЕНИЯ НАРУЖНОГО РЕЛЬСА И ДОПУСКАЕМЫХ СКОРОСТЕЙ ДВИЖЕНИЯ В КРИВЫХ	37
Н. И. КАРПУЩЕНКО, И. А. КОТОВА (СибГУПС, Россия) ИЗНОС И СРОКИ СЛУЖБЫ РЕЛЬСОВ И КОЛЕС ПОДВИЖНОГО СОСТАВА	41
Н. И. КАРПУЩЕНКО, Н. И. АНТОНОВ, Д. В. ВЕЛИЧКО (СибГУПС, Россия) ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ СРАВНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ СКРЕПЛЕНИЙ	47
В. И. НОВАКОВИЧ (РГУПС, Россия) УСТОЙЧИВОСТЬ БЕССТЫКОВОГО ПУТИ ПОД ДВИЖУЩИМСЯ ПОЕЗДОМ	52
В. И. ГРИЦЫК (РГУПС, Россия) АНАЛИТИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ СТАБИЛЬНОСТИ ОБЪЕКТОВ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА	54
М. В. НОВАКОВИЧ, Г. В. КАРПАЧЕВСКИЙ, И. А. КУРИЛИНА, А. В. ПОТЛОВ (РГУПС, Россия) УДЛИНЕНИЕ ИЛИ ВОССТАНОВЛЕНИЕ СВАРКОЙ РЕЛЬСОВЫХ ПЛЕТЕЙ С ВВЕДЕНИЕМ ИХ В ЖЕЛАЕМУЮ ТЕМПЕРАТУРУ ЗАКРЕПЛЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ НАТЯЖНЫХ УСТРОЙСТВ.....	58
М. В. НОВАКОВИЧ, Л. А. ГРИГОРЬЕВА, И. А. КУРИЛИНА (РГУПС, Россия) О РЕЗЕРВАХ УВЕЛИЧЕНИЯ ПРОЧНОСТИ И УСТОЙЧИВОСТИ БЕССТЫКОВОГО ПУТИ.....	61
Г. Г. ЖАДАН (ДонИЖТ) К ВОПРОСАМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОЙ РАБОТЫ БЕССТЫКОВОГО ПУТИ.....	63
В. Н. СВИСТУНОВ (ДонИЖТ) СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИН, ИЗУЧАЮЩИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПУТИ И ПОДВИЖНОГО СОСТАВА	66
Э. А. БОРИСОВ (ДонИЖТ) ПРИМЕНЕНИЕ СПУТНИКОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ИЗЫСКАНИЯХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ	69
Э. С. СПИРИДОНОВ, Р. Е. ЕМЕЛЬЯНОВ, И. В. КУЛИКОВА, А. А. ДЕНИСОВ, В. ЖЕРЕБЦОВА (МИИТ, Россия) НАУКОЁМКИЕ ПОДХОДЫ К ПРОГНОЗИРОВАНИЮ ЛИНЕЙНО ПРОТЯЖЁННЫХ ОБЪЕКТОВ	71
В. Д. ДАНОВИЧ, В. В. РЫБКИН, С. В. МЯМЛИН, А. Г. РЕЙДЕМЕЙСТЕР, А. П. ТРЯКИН, Н. В. ХАЛИПОВА (ДИИТ) ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПУСКАЕМЫХ СКОРОСТЕЙ ДВИЖЕНИЯ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ ПО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ПУТЯМ КОЛЕИ 1520 ММ.....	77
В. И. МАТВЕЦОВ, П. В. КОВТУН, А. А. КЕБИКОВ (БелГУТ, Беларусь) ПРОДОЛЬНЫЕ СИЛЫ, ВОЗНИКАЮЩИЕ В ПУТИ ВПЕРЕДИ ТОРМОЗЯЩЕГО ПОЕЗДА	87
В. И. МАТВЕЦОВ, П. В. КОВТУН, А. А. КЕБИКОВ (БелГУТ, Беларусь) АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПУТЕВОГО ХОЗЯЙСТВА НА БЕЛОРУССКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ	90

А. П. ТАТУРЕВИЧ (ДИИТ) РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФАКТИЧЕСКИХ ЗНАЧЕНИЙ ЖЕСТКОСТИ ПУТИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПУТИ И ПОДВИЖНОГО СОСТАВА	95
М. И. УМАНОВ, В. В. КОВАЛЕВ, С. Н. СОВА (ДИИТ) ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПУТИ СО СКРЕПЛЕНИЕМ КПП.....	101
В. П. БЕЛТЮКОВ (ПГУПС, Россия) РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАБОЧЕГО МЕСТА ДОРОЖНОГО МАСТЕРА ДИСТАНЦИИ ПУТИ.....	106
Л. С. БЛАЖКО (ПГУПС, РОССИЯ) ВАРИАНТЫ СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ТЕКУЩЕГО СОДЕРЖАНИЯ ПУТИ МАШИНИЗИРОВАННЫМИ КОМПЛЕКСАМИ	108
С. М. ДЕМЧЕНКО (НКТБ ЦП УЗ) ВПРОВАДЖЕННЯ НОВИХ КОНСТРУКЦІЙ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ НА ЗАЛІЗНИЦЯХ УКРАЇНИ.....	113
В. О. ПЕВЗНЕР, В. М. ПРОХОРОВ (ВНИИЖТ, Россия) СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ПУТИ.....	115
В. В. РИБКІН, М. Б. КУРГАН, Д. М. КУРГАН (ДІТ), В. І. ХАРЛАН (Придніпровська залізниця) РАЦІОНАЛІЗАЦІЯ ПЕРЕБУДОВИ КРИВИХ В ПЛАНІ ПРИ ПІДВИЩЕННІ ШВИДКОСТЕЙ РУХУ ПОЇЗДІВ	120
Н. Б. КУРГАН (ДИИТ) КРИТЕРИИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДОПУСКАЕМОЙ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ В КРИВЫХ.....	127
А. А. ТАТУРЕВИЧ (НКТБ ЦП УЗ) ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ПРОТИВ СХОДА ОТ ВКАТЫВАНИЯ ГРЕБНЯ КОЛЕСА НА РЕЛЬС	133
Е. І. ДАНІЛЕНКО, М. І. КАРПОВ, В. Д. БОЙКО (КУЕТТ) ВИЗНАЧЕННЯ СТРОКІВ СЛУЖБИ СТІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ.....	138
Е.І. ДАНИЛЕНКО, В.М. МОЛЧАНОВ (КУЕТТ) СУЧАСНИЙ ПІДХІД ДО ВИЗНАЧЕННЯ СИЛ ВЗАЄМОДІЇ КОЛІЇ ТА РУХОМОГО СКЛАДУ В ЗОНІ СТІЛОЧНОГО ПЕРЕВОДУ	147
В. Д. ДАНОВИЧ, В. В. РЫБКИН, А. М. ПАТЛАСОВ, И. А. БОНДАРЕНКО (ДИИТ) ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГРУНТА НА ЗНАЧЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО МОДУЛЯ УПРУГОСТИ ПУТИ	151
А. К. БУГАЙОВ (Придніпровська залізниця), В. Д. ПЕТРЕНКО, О. Л. ТЮТКІН, С. В. ЦЕПАК (ДІТ) ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ПРАКТИЧНИХ РОЗРАХУНКІВ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА З ВАРІАЦІЄЮ ДИНАМІЧНОГО ВПЛИВУ	155
В. В. ГОВОРУХА (ИГТМ НАН Украины) СОЗДАНИЕ И ВНЕДРЕНИЕ УПРУГИХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРОМЕЖУТОЧНОГО СКРЕПЛЕНИЯ РЕЛЬСОВОГО ПУТИ	162
Г. Г. ЖЕЛНИН, В. С. ЛЫСЮК, В. В. КУЗНЕЦОВ (ВНИИЖТ, Россия) КОНЦЕПЦИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КОНСТРУКЦИИ ПУТИ	172
И. П. КОРЖЕНЕВИЧ, Н. Г. РЕНГАЧ (ДИИТ) ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ СЪЕМКИ КРИВЫХ ПРИ ВОЗРАСТАНИИ СКОРОСТЕЙ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ.....	174
А. А. ШЕХВАТОВ (УкрГАЗТ) ВЕРОЯТНОСТНЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ РЕЛЬСОВ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ	178
О. О. ШЕХВАТОВ, В. Г. ВІТОЛЬБЕРГ, Д. О. ПОТАПОВ (УкрДАЗТ) ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ РЕЙОК В КРИВИХ ДІЛЯНКАХ КОЛІЇ В УМОВАХ МЕТРОПОЛІТЕНУ.....	182
Б. С. ЛЕВОЧКО, А. О. МАХОТА, О. О. ШЕХВАТОВ (УкрДАЗТ) МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ХВИЛЕПОДІБНОГО ЗНОСУ ПОВЕРХНІ КАТАННЯ РЕЙОК ПО КОРЕЛЯЦІЙНІЙ ФУНКЦІЇ.....	187
А. В. РАДКЕВИЧ, С. А. ЯКОВЛЕВ, А. А. МАТУСЕВИЧ (ДИИТ) МАТРИЧНАЯ СТРУКТУРА ОЦЕНКИ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ	191
СПИСОК СКОРОЧЕНЬ НАЗВ ОРГАНІЗАЦІЙ	197
ЗМІСТ.....	198

Наукове видання

В І С Н И К

Дніпропетровського національного університету
залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

Випуск 2

Українською, російською та англійською мовами

Відп. за випуск Рибкін В. В.

Здано до набору 03.09.03. Підписано до друку 03.10.03. Формат 60x84 1/8.

Папір офсетний. Друк різнограф. Умов. друк. арк. 17,50.

Обл.-вид. арк. 18,40. Тираж 150 прим. Вид. № 12. Замовлення № 65.

Видавництво Дніпропетровського національного університету
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.

49010, м. Дніпропетровськ, вул. Лазаряна, 2

Свідоцтво держ. реєстр. – ДК № 1315

Друкарня Дніпропетровського національного університету
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.

49010, м. Дніпропетровськ, вул. Лазаряна, 2