

На правах рукописи



Трегубчак Павел Владимирович

РАЗРАБОТКА КРЕСТОВИН СТРЕЛОЧНЫХ ПЕРЕВОДОВ ДЛЯ УСЛОВИЙ
ТЯЖЕЛОВЕСНОГО И ИНТЕНСИВНОГО ДВИЖЕНИЯ

2.9.2. Железнодорожный путь, изыскание и проектирование железных дорог

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2024

Работа выполнена в акционерном обществе «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Глюзберг Борис Эйнихович.

Официальные оппоненты: **Краснов Олег Геннадьевич,**
доктор технических наук, акционерное
общество «Научно-исследовательский и
конструкторско-технологический институт
подвижного состава» (АО ВНИКТИ), отдел пути
и специального подвижного состава,
заведующий отделом;
Абдурашитов Анатолий Юрьевич,
кандидат технических наук, Проектно-
конструкторское бюро по инфраструктуре -
филиал открытого акционерного общества
«Российские железные дороги», отдел рельсов,
начальник отдела.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования «Ростовский государственный
университет путей сообщения».

Защита состоится «17» мая 2024 г., в 11.00 на заседании диссертационного совета
40.2.002.03 на базе федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования «Российский университет
транспорта» РУТ (МИИТ) по адресу: 127994, г. Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9
(ул. Часовая д. 22/2, стр. 1, ауд. 329).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте РУТ (МИИТ),
www.mii.ru.

Автореферат разослан «__» марта 2024 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Гринь Елена Николаевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования обусловлена потребностями ускоренного развития инфраструктуры железнодорожного транспорта, имеющей стратегическое значение для нашей страны и являющейся «кровеносной системой» экономики.

Важнейшей составляющей стратегии развития ОАО «РЖД» является увеличение провозной способности дорог и снижение затрат на содержание инфраструктуры [1; 2]. В первую очередь это относится к дорогам восточного региона страны – Западно-Сибирской, Восточно-Сибирской, БАМу и Транссибу.

В настоящее время на инфраструктуре ОАО «РЖД» эксплуатируется около 159 тысяч стрелочных переводов, из них на главных путях более 53 тысяч. Используется несколько десятков видов стрелочной продукции. Их конструкции и технология применения должны отвечать потребностям перевозочного процесса и иметь возможность реализации перспективных планов развития инфраструктуры [3].

На сегодняшний день стрелочное хозяйство российских железных дорог в целом обеспечивает потребности перевозочного процесса, однако в условиях тяжеловесного движения ресурс основных элементов серийно выпускаемых стрелочных переводов недостаточен. Это приводит к повышенным затратам в эксплуатации и создает препятствия для подготовки стрелочного хозяйства к решению перспективных задач по увеличению объемов перевозок [4].

Проблемам стрелочного хозяйства уделяется большое внимание как в отечественной практике, так и за рубежом [5] ввиду того, что стрелочная продукция оказывает существенное влияние на пропускную способность железных дорог, при этом являясь наиболее дорогим и технически сложным элементом инфраструктуры железных дорог.

Разработка новых, модернизация существующих стрелочных переводов и улучшение их эксплуатационных характеристик, а также проектирование элементной базы для создания стрелочных переводов нового поколения ведутся с учетом отечественного и зарубежного опыта при участии профильных

организаций, компетентных в области проектирования и проведения сложных расчетов элементов инфраструктуры, а также предприятий-производителей таких элементов, как правило имеющих собственные конструкторские подразделения [6].

В настоящее время стоит цель повышения эффективности инфраструктуры за счет создания конструкции пути с ресурсом 2,5 млрд т брутто пропущенного груза. Создание такого пути невозможно без соответствующей ему стрелочной продукции, отвечающей условиям эксплуатации и сферам рационального применения таких конструкций.

С целью повышения ресурса и надежности стрелочных переводов, а также их отдельных элементов ведутся поиски более прочных, более совершенных конструкций. В особенности это касается крестовин, срок службы которых в силу значительных динамических нагрузок, воспринимаемых от колес подвижного состава и конструктивных особенностей изделия, примерно в 2 – 3 раза меньше срока службы других элементов стрелочных переводов и значительно меньше сроков службы всей конструкции верхнего строения пути. Совершенствование конструкции крестовин позволит снизить затраты на эксплуатацию стрелочных переводов за счет увеличения ресурса его основного элемента.

Исследования, представленные в настоящей работе направлены в первую очередь на повышение ресурсных показателей железнодорожных крестовин с неподвижными элементами.

Степень разработанности темы исследования.

Многолетние исследования и опытно-производственные работы по разработке новой, совершенствованию и модернизации серийной стрелочной продукции проводились во Всероссийском научно-исследовательском институте железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ) под руководством докторов технических наук Путри Н.Н., Желнина Г.Г., кандидатов технических наук Тейтеля А.М., Крысанова Л.Г., инженером Донцом В.Г.; в Петербургском государственном университете путей сообщения Императора Александра I

(ПГУПС, ранее ЛИИЖТ) под руководством докторов технических наук Амелина С.В., Яковлева В.Ф., Смирнова М.П., кандидатов технических наук Абросимова В.И., Фролова Л.Н.; в Днепропетровском институте инженеров транспорта (ДИИТ) под руководством профессоров Фришмана М.А., Рыбкина В.В. и Дановича В.Д.

Опытно-конструкторские работы по разработке стрелочной продукции проводились в Проектно-технологическом конструкторском бюро по пути и путевым машинам (ПТКБ ЦП) под руководством Елсакова Н.Н., Петрова Ю.Н., Ткаченко В.Н., Гучкова А.К. и Сурина С.О. Работы по повышению технологичности изделий и изготовлению опытных образцов производились сотрудниками Новосибирского стрелочного завода (НСЗ), Муромского стрелочного завода (МСЗ) и Днепропетровского стрелочного завода (ДСЗ).

До настоящего времени проектирование железнодорожных крестовин и сердечников из высокомарганцовистой стали производилось на основе опыта конструкторов и эксплуатации соответствующих конструкций, а также упрощенных расчетных схем отдельных элементов. При этом вводимые в расчет упрощения не позволяют с достаточной точностью описать поведение изделия.

Последний раз такие работы с существенным изменением геометрии литой части крестовины проводились в 1984 г. в рамках разработки крестовин пониженной металлоемкости. В условиях Экспериментального кольца ВНИИЖТ испытывались крестовины типа Р65 марки 1/11 конструкции совместной разработки ДИИТ – ЛИИЖТ – ДСЗ. Основу методики исследований составляли прямые испытания натурных образцов крестовин. Испытания проводились в три этапа. После каждого этапа проводились доработки конструкции, основывавшиеся на результатах полигонных испытаний.

По результатам данных работ так и не удалось разработать конструкцию облегченных крестовин, удовлетворяющую требованиям по надежности и отказоустойчивости изделия, соответствовавшую уровню серийно выпускаемых крестовин [7].

С целью разработки более совершенных конструкций крестовин, а также сокращения времени постановки продукции на производство [8] необходимо создание метода расчета, позволяющего проводить моделирование напряженно-деформированного состояния и определять коэффициент запаса на усталостную прочность. Наличие такого метода позволит использовать подходы оптимизационного проектирования при разработке железнодорожных крестовин [9].

Цель диссертационной работы заключается в разработке метода, получения эффективных конструкторских решений по проектированию моноблочных крестовин как для серийно изготавливаемых в настоящее время стрелочных переводов, так и для перспективных разработок. Этот метод должен учитывать современные подходы в проектировании и обеспечивать минимизацию затрат при реализации разработок. Полученные решения должны максимально сохранять имеющиеся технологические приемы, применяемые при изготовлении стрелочной продукции, на российских стрелочных заводах, а также включать в себя стандартизированные и унифицированные элементы.

Эти конструкторские решения должны обеспечивать безопасность движения поездов, способствовать повышению технических характеристик стрелочных переводов, а также экономической эффективности от их применения в условиях тяжеловесного и интенсивного движения.

Задачами исследования являются: анализ причин отказов крестовин в эксплуатации; изучение методов повышения ресурса крестовин; разработка методов расчета моноблочных крестовин и получение на их основе нового рационального технического решения; динамико-прочностные и эксплуатационные испытания; металлографические исследования моноблочных крестовин различных конструкций в сечениях, в которых возникают трещины с целью определения причин появления и развития дефектов; формирование предложений по применению разработанного варианта; определение рационального метода упрочения поверхности катания крестовин из

высокомарганцовистой стали, а также подтверждение эффективности разработанных методов расчета.

Объект исследования. Крестовины стрелочных переводов для условий тяжеловесного и интенсивного движения.

Предмет исследования. Предметом исследования являются конструкции и технологии изготовления крестовин их ресурс и причины отказов.

Научная новизна состоит в том, что в ходе работы впервые выполнены теоретические и эмпирические исследования по оценке влияния конструкции моноблочной крестовины стрелочного перевода на их прочностные и ресурсные показатели.

Получены результаты сравнительных эксплуатационных испытаний моноблочных крестовин различных конструкций в условиях реальной эксплуатации с учетом особенностей их конструкции и технологичности.

Построена вероятностная модель работы крестовин, хорошо согласующаяся с работой изделий на инфраструктуре российских железных дорог. Данная модель позволяет рассчитывать вероятность безотказной работы крестовин из высокомарганцовистой стали с неподвижным сердечником в зависимости от объема пропущенного груза под действием поездной нагрузки.

В ходе исследований были выявлены новые виды дефектов, вызывающие отказы крестовин.

Разработана и поставлена на производство первая российская моноблочная крестовина с четырьмя приварными рельсовыми окончаниями для работы в условиях тяжеловесного и интенсивного движения.

Теоретическая и практическая значимость работы состоит в разработанном методическом подходе, основанном на комплексном применении метаматематического моделирования и эмпирических исследований, позволяющим получить эффективные технические решения по разработке моноблочных крестовин стрелочных переводов нового поколения, работающих в условиях тяжеловесного и интенсивного движения.

Представленный метод определения прочности конструкции крестовин с цельнолитым блоком сердечника с усовиками и приварными рельсовыми окончаниями позволяет значительно сократить время разработки и постановки на производство моноблочных крестовин, а также исключить затраты на проведение работ по постановке на производство моноблочных крестовин, не отвечающих предъявляемым к ним требованиям по надежности конструкции.

Методология исследования включает в себя методы:

- метод математического моделирования, с помощью которого была получена усовершенствованная конструкция моноблочной крестовины, с повышенными ресурсными показателями изделия.
- тензометрический метод исследования напряженно-деформированного состояния крестовин;
- эксплуатационные испытания крестовин, позволившие определить их ресурсные показатели;
- металлографический метод исследования, с помощью которого были выявлены причины появления трещин в отливках моноблочных крестовин, а также подтверждено достижение нормативных показателей качества упрочнения крестовин энергией взрывной волны с применением новых взрывчатых материалов.

Положения, выносимые на защиту.

Метод, основанный на комплексном применении метаматематического моделирования и эмпирических исследований, позволяющий получить эффективные технические решения по разработке моноблочных крестовин стрелочных переводов нового поколения, работающих в условиях тяжеловесного и интенсивного движения.

Технические решения по моноблочным крестовинам стрелочных переводов для работы в условиях тяжеловесного и интенсивного движения, обладающим повышенным ресурсом.

Степень достоверности и апробации результатов.

Достоверность результатов исследования обусловлена сходимостью результатов математического моделирования с данными, полученными в ходе экспериментальных исследований и эксплуатационных испытаний.

Разработанная в рамках выполненной работы конструкция крестовины апробирована в составе стрелочных переводов проектов Н01.001.0000.00 и Н01.004.0000.00 принятых к серийному производству.

В настоящее время моноблочные крестовины включены в состав стрелочных переводов для условий тяжеловесного и интенсивного движения, освоены в серийном производстве и сертифицированы на соответствие требованиям Технического регламента Таможенного союза «О безопасности инфраструктуры железнодорожного транспорта» (ТР ТС 003/2011).

Результаты, изложенные в диссертационной работе, были приняты для использования при разработке новых конструкций крестовин в акционерном обществе «Новосибирский стрелочный завод».

Основные положения и результаты, изложенные в диссертационной работе, были доложены и одобрены специалистами на научно-технических совещаниях кафедры «Путь и путевое хозяйство» института пути, строительства и сооружений Российского Университета транспорта (РУТ (МИИТ)), научного центра "Инфраструктура" АО "ВНИИЖТ", а также на четырех национальных и международных конференциях.

Структура и объем работы.

Диссертация состоит из введения, восьми глав, заключения, списка использованной литературы и приложения. Работа изложена на 150 страницах печатного текста, имеет 18 таблиц, 70 рисунков. Список использованных источников содержит 100 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, изложены цели и задачи исследований, научная новизна, достоверность научных положений и результатов, теоретическая и практическая значимость диссертационной работы.

В первой главе рассматриваются современные конструкции крестовин стрелочных переводов, состояние вопроса по увеличению ресурса и стабильности работы стрелочных переводов и их элементов.

В настоящее время работы по созданию новых и совершенствованию серийных стрелочных переводов ведутся специалистами научного центра «Инфраструктура» АО «ВНИИЖТ» под руководством профессора Глюзберга Б.Э., кандидатом технических наук Титаренко М.И.; кафедрой «Транспортное строительство» РУТ МИИТ, возглавляемой профессором Локтевым А.А., кандидатом технических наук Королевым В.В.; специалистами АО «НСЗ» и АО «МСЗ».

Крестовины с неподвижным сердечником обладают наименьшим ресурсом, и являются одним из самых нагруженных узлов стрелочного перевода, так как работают в условиях повышенных динамических воздействий. На Российских железных дорогах конструкции таких крестовин наиболее многочисленны. Они применяются в стрелочных переводах, косоугольных глухих пересечениях и перекрестных съездах.

В настоящее время, на дорогах ОАО «РЖД» основным стрелочным переводом, предназначенным для работы в тяжелых эксплуатационных условиях, является стрелочный перевод типа Р65 марки 1/11 проекта 2750 в состав которого входит сборная крестовина с рельсовыми усовиками и укороченным литым сердечником (из высокомарганцевистой стали) с приваренными к его заднему торцу рельсовыми окончаниями.

Переводы этого проекта были разработаны в 1998 году, и успешно зарекомендовали себя на российских железных дорогах. С позиции развития конструкций стрелочной продукции они имеют устаревшую элементную базу и

нуждаются в замене на конструкции, построенные на современной элементной базе.

В большей степени удовлетворяют требованиям, предъявляемым к конструкциям, работающим под воздействием высоких нагрузок моноблочные крестовины. К преимуществам данных крестовин можно отнести отсутствие болтовых соединений рельсовых усовиков и сердечника из высокомарганцовистой стали, что позволяет обеспечить единство конструкции по сравнению со сборными крестовинами, а также отсутствие необходимости подтяжки болтов в процессе эксплуатации. Цельнолитой блок сердечника дает конструкторам возможности оптимизации геометрии поверхностей катания крестовины.

В июне 2015 года на месте эксплуатируемого стрелочного перевода № 111 на II-м главном пути Экспериментального кольца АО «ВНИИЖТ» для проведения полигонных испытаний была уложена первая моноблочная крестовина с четырьмя приварными рельсовыми окончаниями, произведенная в РФ. Испытания проводились в составе модернизированного стрелочного перевода типа Р65 марки 1/11 проекта Н01.001 производства АО «НСЗ».

Крестовина вышла из строя пропустив 86,4 млн т брутто груза из-за трещины литой части сердечника в районе улавливающего желоба и переднего вылета цельнолитого блока моноблочной крестовины.

Результаты испытаний показали высокую износостойкость моноблочной крестовины, износ поверхности катания не превышал 1 мм. Причиной отказа послужило образования трещин, при эксплуатации моноблочной крестовин, что выявило необходимость совершенствование ее конструкции.

Во второй главе представлен анализ и статистика причин отказов крестовин из высокомарганцовистой стали: методика анализа показателей эксплуатационной надежности крестовин, методика получения аналитических зависимостей, статистика отказов крестовин, распределение отказов крестовин по видам дефектов (причины отказов). В процессе исследований были выявлены новые виды дефектов крестовин с приварными рельсовыми окончаниями,

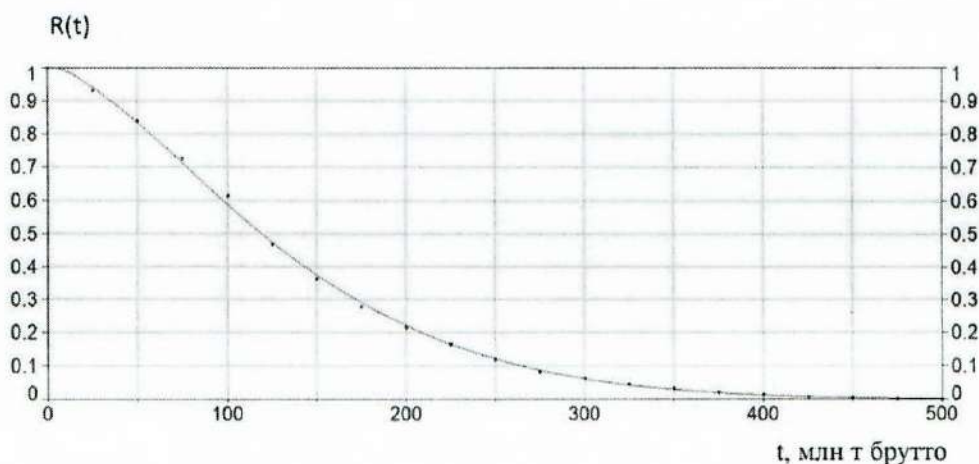
которые не были внесены в Классификатор дефектов и повреждений элементов стрелочных переводов.

Наиболее вероятной причиной отказов «нового» вида крестовин с приварными рельсовыми окончаниями – трещина в продольном шве рельсовых окончаний, является ослабевание болтового соединения рельсовых усиков и сварного сердечника в зоне рельсовых окончаний под воздействием циклического нагружения от колес подвижного состава и вибрации. Предлагаемое обозначение кода дефекта для внесения в Классификатор дефектов и повреждений элементов стрелочных переводов – ДСс.10.2.

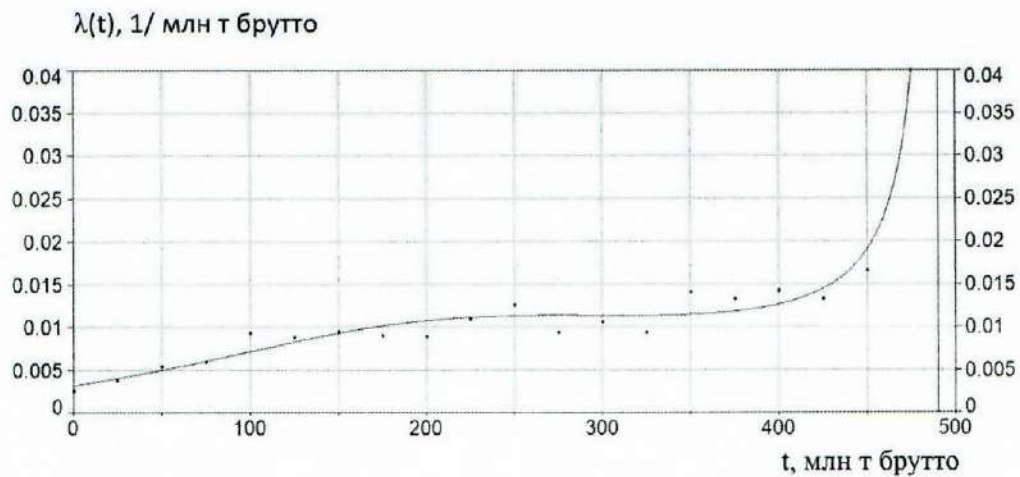
Еще один вид дефекта – выкрашивание металла на поверхности катания приварных рельсовых окончаний – относится к крестовинам с приварными рельсовыми окончаниями. Причинами отказов по этому виду дефектов могут являться потеря упругих свойств основания и повышенная жесткость балластного слоя, а также низкое качество рельсового проката или локализация контакта в зоне выкружки головки рельса. Такая локализация наблюдается при работе перевода в нетиповых условиях или при его неправильной укладке в путь. Данному виду дефекта предлагается присвоить код ДСс.14.2.

Для получения статистического материала была рассмотрена информация по отказам крестовин стрелочных переводов, изъятых из пути в 2019-2021 гг.

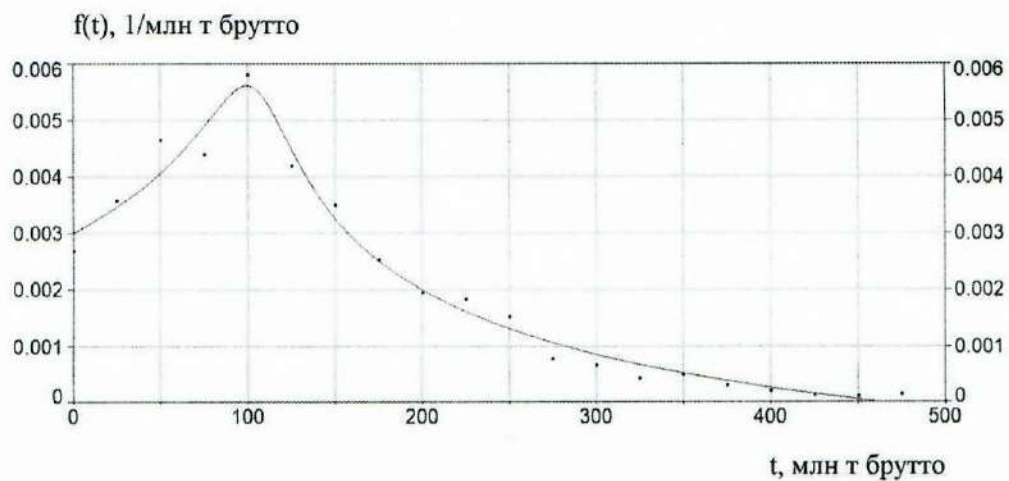
В каждом интервале наработки определялись показатели надежности: $R(t)$ – вероятность безотказной работы, $\lambda(t)$ – интенсивность отказов и $f(t)$ – плотность распределения наработки до отказа. По полученным значениям строились соответствующие графические зависимости (рисунок 1).



а)



б)



в)

Рисунок 1 – Графики показателей надежности крестовин типа Р65 марки 1/11 изъятых из пути по дефектам за 2019-2021 гг.: а) вероятность безотказной работы крестовин, б) интенсивность отказов крестовин, в) плотность распределения наработки до отказа крестовин.

На основе результатов анализа зависимостей, представленных на рисунке 1 была получена модель вида:

$$\left\{ \begin{array}{l} \ln R(t) = a + b \cdot t^{1,5} \\ \lambda(t) = \frac{a_0 + a_1 \cdot t + a_2 \cdot t^2}{1 + b_1 \cdot t + b_2 \cdot t^2 + b_3 \cdot t^3} \\ \frac{df(t)}{dt} = \frac{a_4 \cdot t + a_3}{b_4 + 2 \cdot b_5 \cdot t + b_6 \cdot t^2} f(t) \\ F(t) = \int_0^t f(t) dt, \quad t \geq 0 \end{array} \right. \quad (1)$$

Данная модель удовлетворяет соответствующим показателям крестовин и характеризует период их службы.

Форма кривой, характеризующей интенсивность отказов, свидетельствует о достаточно высоком уровне качества выпускаемой продукции.

Вероятность безотказной работы в основной период работы описывается функцией, представленной ниже:

$$\ln R(t) = (9,43 + 0,5 \cdot t^{1,5}) \cdot 10^{-3}. \quad (2)$$

Полученное уравнение может послужить инструментом при анализе влияния условий работы крестовин из высокомарганцовистой стали на показатели надежности, прогнозировании выхода из строя крестовин с позиции, планирования организации работ по их замене, формирования бюджета соответствующих затрат, проведения предпроектных расчетов при текущих системе ведения стрелочного хозяйства и интенсивности движения.

Общий анализ причин выхода из строя крестовин показал, что их отказы в большей степени характеризуются износом и выкрашиванием металла на рабочих поверхностях.

Доля крестовин изъятых из пути по дефектам, связанным с выкрашиванием металла (ДУ.12.2, ДС.13.2, ДУ13.2, ДС.14.2, ДУ14.2) составляет 32%, по причине выкрашивания наплавленного слоя на поверхности катания литой части усовика и сердечника (ДС.18.2, ДУ.18.2) составляет 19%. При этом доля изъятий по остальным дефектам в сумме составляет 7,8%. Остальные отказы крестовин происходят по причине износа рабочих поверхностей.

В третьей главе приводятся результаты анализа методов повышения ресурса крестовин стрелочных переводов.

Над проблемой увеличения ресурса крестовин работают специалисты в России и за рубежом. В этой области существует три основных направления для совершенствования конструкции крестовины: применение новых и модифицированных материалов; упрочнение рабочих поверхностей; разработка конструкции, наилучшим образом отвечающей условиям работы изделия.

Детально рассмотрены опыт и перспективы применения следующих методов увеличения ресурса крестовин:

- модифицирование высокомарганцевистой стали (110Г13Л);
- применение новых категорий рельсового проката при производстве крестовин;
- механические методы упрочнения крестовин;
- упрочнение энергией взрывной волны;
- рекристаллизация отливок крестовин из стали 110Г13Л;
- рекристаллизация с последующим упрочнением энергией взрывной волны;
- нанесение износостойких покрытий газотермическим методом;
- наплавка крестовин;
- конструкционные методы повышения ресурса крестовин.

В отечественной и зарубежной практике одним из наиболее эффективных методов упрочнения крестовин из высокомарганцевистой стали является воздействие на поверхность катания энергией взрывной волны. Для серийно выпускаемых в РФ крестовин упрочнение поверхности катания энергией взрывной волны позволяло повысить износостойкость до 30%.

Дальнейшее повышение ресурса крестовин необходимо основывать на конструктивных решениях, позволяющих исключить образование целого ряда дефектов и снизить предпосылки для возникновения наиболее часто встречающихся дефектов, служащих причиной отказов крестовин.

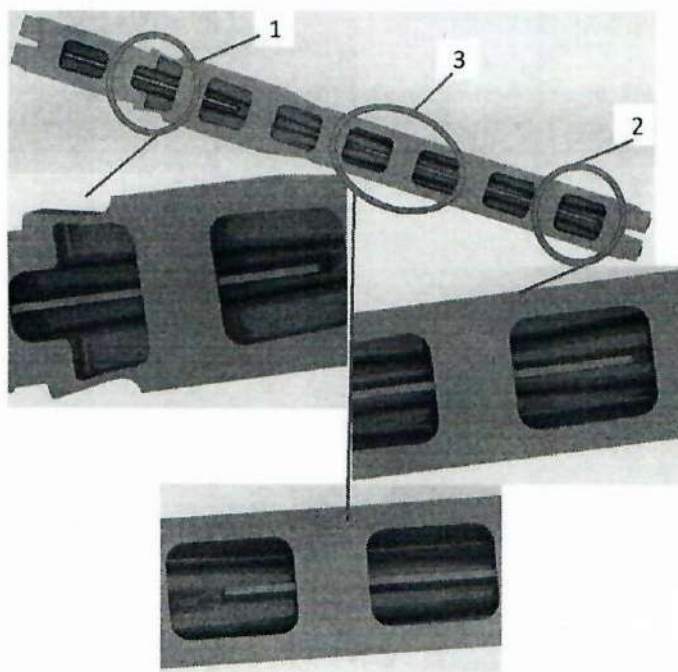
В силу конструктивных особенностей применение моноблочных крестовин исключает появление дефектов по кодам: ДС.10.1, ДУ.12.2, ДУ.22.2, ДС.29.1, ДСс.10.2 (выявленному в процессе исследования), ДСс.26.2, ДУ.42.2, ДС.50.1, ДС.60.1, ДС.60.2, ДС.63.1. Они в значительно меньшей степени склонны к

появлению дефектов по кодам ДС.14.2, ДУ.14.2. В соответствии с анализом и статистикой причин отказов крестовин с неподвижным сердечником ориентировочно общая дефектность моноблочных крестовин, в силу их конструктивных особенностей, ниже на 21% по сравнению с серийно выпускаемыми конструкциями.

В четвертой главе описана разработка метода расчета моноблочных крестовин.

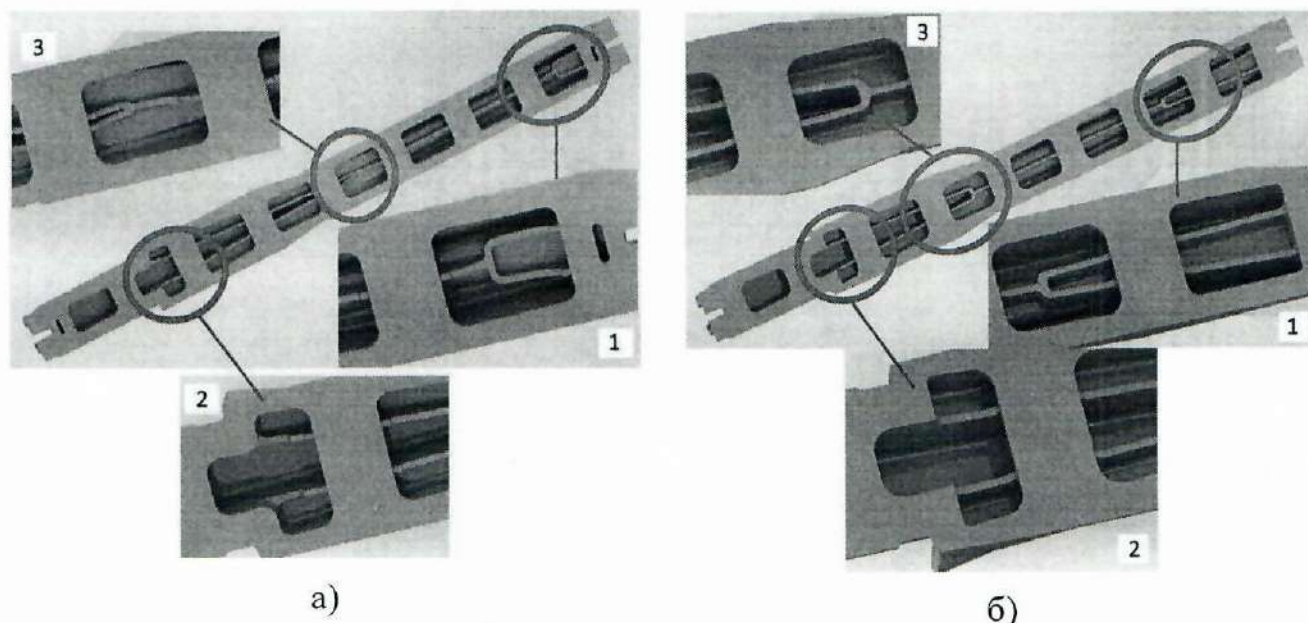
Для исследования напряженно-деформированного состояния крестовин с целью совершенствования их конструкции был разработан метод, позволяющий подробно рассматривать все особенности геометрии сечений крестовин.

При проектировании конструкции крестовины были рассмотрены три варианта модели (рисунки 2, 3), в которых учитывалась сложность и трудоемкость процесса изготовления литейных форм. Для расчетов напряженно-деформированного состояния моделей крестовин был использован программный комплекс ANSYS.



1 – зона со стороны заднего торца крестовины; 2 – зона со стороны переднего торца крестовины; 3 – геометрия перехода ребра жесткости, расположенного со стороны переднего торца крестовины, в тело отливки

Рисунок 2 – Первая модель конструкции, имеющая два продольных ребра



1 – зона со стороны переднего торца крестовины; 2 – зона со стороны заднего торца крестовины; 3 – геометрия соединения ребер

Рисунок 3 – Модели конструкции со сдвоенными продольными ребрами жесткости: а) вторая модель; б) третья модель

При усовершенствовании конструкции крестовин удалось повысить коэффициент запаса на усталостную прочность с 0,36 до 4,18.

В пятой главе приводятся результаты динамико-прочностных испытаний моноблочных крестовин.

Для оценки напряжённо-деформированного состояния крестовинного узла стрелочного перевода с моноблочной крестовиной при проведении динамико-прочностных испытаний осуществлялась регистрация:

- напряжений в элементах крестовины и контррельсового узла;
- упругих деформаций и перемещений элементов крестовинного узла;
- упругих изменений ширины колеи.

Наибольшие зарегистрированные напряжения в кромках подошвы литой части крестовины не превышали допустимых значений и составляли 80 МПа.

Наибольшие зарегистрированные величины упругих изменений ширины колеи в зоне крестовинного узла не превышали 2,5 и 4,0 мм по прямому и боковому пути соответственно. Указанные значения упругих изменений ширины

колеи направлены в сторону увеличения и соответствуют требованиям обеспечения безопасности движения.

Результаты проведенных динамико-прочностных испытаний стрелочного перевода свидетельствуют о том, что конструкция крестовины отвечает требованиям обеспечения безопасности движения поездов, что подтверждает результаты расчетов, выполненных методом моделирования.

В шестой главе представлены результаты эксплуатационных испытаний моноблочных крестовин разных конструкций, а также крестовин, упрочненных взрывом с применением новых взрывных зарядов.

В апреле 2017 г. на станции Исилькуль Входнинской дистанции пути Западно-Сибирской дирекции инфраструктуры для подтверждения технических характеристик было уложено пять стрелочных переводов проекта Н01.001.0000.00 на железобетонном основании. Два из них, №5 и №35, изначально были уложены с моноблочными крестовинами проекта Н.01.002.3000.00 первой конструкции.

Эксплуатационные условия характеризуются следующими данными: грузонапряжённость участка, на котором расположена станция Исилькуль, в период проведения испытаний составляла до 186,7 млн т км брутто на км в год; скорости движения поездов до 80 км/ч по прямому пути и 40 км/ч по боковому пути стрелочных переводов. На участке преимущественно грузовое движение.

Результаты эксплуатационной работы показали, что крестовины первого варианта конструкции не выдержали гарантийную наработку, 80 млн т брутто. Они были заменены на крестовины того же проекта второй и третьей конструкции соответственно.

Крестовина второй конструкции изъята по дефекту ДС.30Г.2 – горизонтальное расслоение литой части сердечника крестовины. Пропущенный тоннаж на момент изъятия 236 млн т брутто. Горизонтальная трещина сердечника располагалась в районе улавливающего желоба. Износ литых усювиков прямого и бокового пути составил соответственно 4,4 мм и 2,1 мм. Износ сердечника в сечении с шириной на уровне измерения «40 мм» - 3,8 мм. На рабочей поверхности сердечника имелись выкрашивания глубиной до 1,5 мм.

Опытный образец крестовины третьей конструкции был изъят из эксплуатации по причине сверхнормативного износа — 7,2 мм. Трещин в теле крестовины не выявлено. На рабочей поверхности крестовины также имелись выкрашивания металла.

Эксплуатационные испытания моноблочных крестовин различных конструкций подтверждают полученные при моделировании данные. Места образования трещин совпадают с местами и направлениями области с пониженной величиной коэффициента запаса на усталостную прочность, а наработанный до отказа тоннаж хорошо коррелирует с минимальными величинами коэффициентов запаса на усталостную прочность для крестовин первой и второй конструкций.

Окончательное подтверждение предлагаемого метода моделирования конструкции крестовин было сделано по результатам металлографического исследования, позволившего установить причины выхода из строя крестовины второй конструкции, а именно природы образования трещины.

На основании результатов наблюдений, полученных в ходе эксплуатационных испытаний крестовин, упрочненных энергией взрывной волны, в период проведенных наблюдений по интенсивности износа преимущество упрочненных крестовин составляет в среднем 32 % в сравнении с неупрочненными.

В седьмой главе приведены исследования образцов металла опытных крестовин, вырезанных в месте образования трещин, а также из поверхности катания с целью определения причин образования дефектов, выявленных в ходе эксплуатационных испытаний. Кроме того, приведены исследования образцов металла, вырезанных из поверхности катания, не подвергавшегося эксплуатационному воздействию, сердечника крестовины после его упрочнения взрывом, для подтверждения соответствия предъявляемым требованиям и эффективности применения новых взрывных зарядов.

На основании описанных выше исследований было выявлено, что продольная трещина на боковой поверхности клина литого сердечника развивалась длительное время, дефектов литейного характера в зоне зарождения не выявлено. Причиной образования трещины являлись недостаточные

прочностные характеристики второго варианта конструкции литой части моноблочной крестовины.

Выкрашивание поверхности катания вызвано ударными динамическими нагрузками от колес подвижного состава, которые приводят к перенаклепу высокомарганцовистой аустенитной стали и образованию дефектного слоя металла, в том числе наплывов. Несвоевременное удаление как наплывов металла, так и всего дефектного слоя приводит к отслоениям и выкрашиванию металла.

Применение новых взрывных зарядов позволяет производить упрочнение поверхности катания литых сердечников крестовин из высокомарганцовистой стали (110Г13Л) методом взрыва в соответствии с имеющейся технологией завода-производителя, и получать продукцию соответствующую предъявляемым к ней требованиям по качеству.

В восьмой главе представлено технико-экономическое обоснование эффективности применения моноблочной крестовины предложенной конструкции.

Для определения рациональных решений по применению сложных технических изделий целесообразно руководствоваться понятием «стоимость жизненного цикла». При сравнении вариантов применения различных технических средств выбор осуществляется по наименьшей стоимости жизненного цикла за весь срок службы системы (стрелочного перевода).

Показатели экономической эффективности были рассчитаны для исполнений стрелочного перевода с моноблочной крестовиной для конструкций пути с ресурсом 1,4 млрд т брутто и 2,1 млрд т брутто. Стоимостные показатели крестовин были определены для условий единичного производства.

Рассчитанная экономия годовых текущих затрат на отдельную замену моноблочных крестовин стрелочного перевода, без учета снижения затрат на текущее содержание, составляет 3 413 руб. в расчете на одну крестовину или 128,76 млн. руб. для всей сети ОАО «РЖД».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам диссертационного исследования получены следующие итоги, рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы:

1. Установлено, на основе результатов анализа данных по отказам крестовин с неподвижными элементами, что серийно выпускаемые крестовины стрелочных переводов имеют недостаточную эксплуатационную стойкость и нуждаются в доработке. При этом значительное число крестовин получает отказы из-за недостатков конструктивного характера.

2. Получена функциональная зависимость вероятности безотказной работы крестовин вида: $\ln R(t) = (9,43 + 0,5 \cdot t^{1,5}) \cdot 10^{-3}$. Данная зависимость может послужить инструментом при анализе влияния условий работы крестовин из высокомарганцевистой стали на показатели надежности, прогнозировании выхода из строя крестовин с позиции, планирования организации работ по их замене, формирования в бюджете дирекций инфраструктуры соответствующих затрат, проведения предпроектных расчетов при текущих системе ведения стрелочного хозяйства и интенсивности движения.

3. Выявлены новые виды дефектов крестовин, которые должны быть включены в «Классификатор дефектов и повреждений элементов стрелочных переводов».

4. Определены наиболее перспективные методы повышения ресурсных показателей крестовин из высокомарганцевистой стали, заключающиеся в:

- применении металла с более высокими прочностными характеристиками;
- изменении конструкции крестовин;
- изменении технологии изготовления крестовин, за счет применения упрочнения поверхности катания.

5. Установлено, по результатам металлографических исследований, что причиной излома моноблочных крестовин являлась недостаточная усталостная прочность цельнолитого блока.

6. Разработан метод, и модели на его основе для исследования напряженно-деформированного состояния моноблочных крестовин с целью

совершенствования их геометрии, позволяющие рассматривать все особенности геометрии сечений и работы под нагрузкой моноблочных крестовин.

7. Рекомендовано использование разработанного метода определения прочности конструкции крестовин при проектировании аналогичных изделий, что позволит значительно сократить время разработки и постановки на производство новых крестовин, а также исключить затраты на разработку и изготовление литейной оснастки, и на проведение испытаний опытных образцов крестовин [100].

8. Получен, в результате моделирования, усовершенствованный вариант моноблочной крестовины.

9. Подтверждена эффективность упрочнения крестовин из высокомарганцовистой стали энергией взрывной волны с применением новых ленточных взрывных зарядов.

10. Расчет затрат жизненного цикла показал эффективность применения моноблочных крестовин в составе стрелочных переводов новой конструкции. При замене серийных конструкций на новые, дисконтированный срок окупаемости стрелочного перевода для конструкции пути с ресурсом 1,4 млрд т брутто составит 10,7 лет, а для конструкции пути с ресурсом 2,1 млрд т брутто – 17,2 лет.

11. Предлагаемая конструкция моноблочной крестовины включена в состав стрелочных переводов для условий тяжеловесного и интенсивного движения. Крестовины освоены в серийном производстве и сертифицированы на соответствие требованиям ТР ТС 003/2011 «О безопасности инфраструктуры железнодорожного транспорта».

12. Перспективой дальнейшей разработки темы исследования является проведение аналогичных работ для других элементов стрелочных переводов. При этом могут быть использованы подходы и методы, разработанные в данной работе.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

а) в рецензируемых научных изданиях:

1. Трегубчак, П.В. Современные конструкции стрелочных переводов для тяжеловесного движения / П.В. Трегубчак // Путь и путевое хозяйство. – 2023. – № 9. – С. 14–18.
2. Трегубчак, П.В. Проектирование конструкции моноблочных крестовин для тяжелых условий эксплуатации / П.В. Трегубчак // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2023. – № 2. – С. 146 – 156.
3. Трегубчак, П.В. Особенности работы металла в зоне образования дефектов моноблочной крестовины / П.В. Трегубчак // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2023. – № 4. – С. 359–368.
4. Титаренко, М.И. Результаты испытаний моноблочной крестовины марки 1/18 Новосибирского стрелочного завода / М.И. Титаренко, П.В. Трегубчак // Путь и путевое хозяйство. – 2023. – №11. – С. 10–12.

б) в других изданиях и материалах конференций:

5. Березовский, М.Е. Современные технологии изготовления стрелочных переводов для высокоскоростного движения / М.Е. Березовский, П.В. Трегубчак, И.В. Цитцер // Внедрение современных конструкций и передовых технологий в путевое хозяйство. – 2018. №12. – С. – 124–126
6. Трегубчак, П.В. Конструктивные особенности стрелочных переводов для работы в условиях низких температур / П.В. Трегубчак // Материалы XII Всероссийской научно-практической конференции История и перспективы развития транспорта на севере России. – 2023. – №1. – С. 49–51.
7. Плотников, К.П. Перевод стрелочный типа Р65 марки 1/11 на железобетонных брусьях / К.П. Плотников, В.Р. Глейм, А.Ю. Левчук, Г.О. Ча, П.В. Трегубчак, В.Ю. Скиба // Научно-исследовательские публикации. – 2015. – №11 (31). – С. 102–107
8. Gluzberg B., Korolev V., Shishkina I., Berezovsky M., Tregubchak P., Zverkova N. Reliability indicators of railway joints and crossings // IOP Conference

series: Materials Science and Engineering 8. Сер. «VIII International Scientific Conference Transport of Siberia 2020». - 2020 Том 918.

9. Deformations and life periods of the switch chairs of the rail switches / B. Glusberg, A. Loktev, V. Korolev, I. Shishkina, M. Berezovsky, P. Tregubchak // Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2021. – Vol. 1258. – P. 184-196. – DOI 10.1007/978-3-030-57450-5_17. – EDN HMIOZS.

10. Трегубчак, П.В. Конструкторско-технологическая подготовка производства стрелочной продукции для грузонапряженных участков железных дорог / П.В. Трегубчак // Особенности системы ведения рельсового хозяйства на российских железных дорогах Труды АО «ВНИИЖТ». – 2017. Т. 82. – № 4. – С. 148–153

Трегубчак Павел Владимирович

РАЗРАБОТКА КРЕСТОВИН СТРЕЛОЧНЫХ ПЕРЕВОДОВ ДЛЯ УСЛОВИЙ ТЯЖЕЛОВЕСНОГО И ИНТЕНСИВНОГО ДВИЖЕНИЯ

2.9.2. Железнодорожный путь, изыскание и проектирование железных дорог (технические науки)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать
Усл. печ. л. – 1,5

Заказ №

Формат 60х90/16
Тираж 80 экз.

129626, Россия, г. Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10, АО «ВНИИЖТ»