

МПС СССР

ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ИНСТИТУТ
ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА ИМЕНИ М.И.КАЛИНИНА

На правах рукописи

РАБИНОВИЧ АРКАДИЙ БОРИСОВИЧ

ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКАЯ НАГРУЖЕННОСТЬ И ВЫБОР С
УЧЕТОМ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВАРИАНТА КОНСТ-
РУКЦИИ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ ГОРЯЧЕЙ СЛЯБОВОЙ ЗАГОТОВКИ

05.22.07 – Подвижной состав железных дорог и
тяга поездов

Автореферат диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических наук



Днепропетровск

1990

Работа выполнена в Отраслевом отделе Всесоюзного научно-исследовательского института вагоностроения (г.Кременчуг)

Научный руководитель

доктор технических наук
профессор Манашкин Л.А.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук,
профессор Соколов М.М.;
кандидат технических наук
профессор Коношенко С.И.

Ведущее предприятие - Днепродзержинский вагоностроительный завод им. газеты "Правда"

Защита состоится "20" декабря 1990 г. в 14⁰⁰ час.
на заседании специализированного совета К.ИИ4.07.01

при Днепропетровском институте инженеров железнодорожного транспорта по адресу: 320629, ГСП, г.Днепропетровск-10, ул.Акад.В.А.Ла-

НТБ
ДНУЗТ

5508a АКТУАЛЬНОСТЬ. В соответствии с Постановлением ЦК КПСС "О развитии и техническом перевооружении черной металлургии и значительном повышении качества металлопродукции как важнейшего конструкционного материала" на Магнитогорском металлургическом комбинате предусмотрено строительство кислородно-конверторного цеха (ККЦ) с установкой уникальных конверторов и машин для непрерывной разливки стали. Технологический процесс транспортирования горячих слабовых заготовок с ККЦ в цех горячей прокатки (стан 2500) предполагает использование специализированного железнодорожного подвижного состава. В современных условиях хозяйствования и перехода предприятий на самофинансирование и хозяйственный расчет одной из важнейших задач, стоящих перед комбинатом, является экономия топливно-энергетических ресурсов. Одним из основных показателей, создающих экономический эффект от создания платформы для горячей слабовой заготовки, является снижение тепловпотерь груза в процессе его транспортировки в цех горячей прокатки. Так как в этом случае сокращается расход природного газа, используемого на нагрев слабов в методических печах перед прокаткой.

Заводом был разработан технический проект на вагон и изготовлен опытный образец. Однако, уже первые загрузки платформы горячими заготовками выявили целый ряд недостатков в конструкции и показали неработоспособность вагона в данном конструктивном исполнении. Возникла необходимость в проведении исследований, направленных на создание платформы для горячих слабовых заготовок, отвечающей требованиям эксплуатации: конструкция платформы должна обеспечивать транспортировку груза массой 100 тонн, имеющего температуру до 1000°C. При этом минимальная температура остывшего груза к моменту посадки его в печь должна быть не ниже 600°C. Поэтому, важнейшим

этапом создания вагона является разработка инженерной методики теплотехнического расчета вагонных конструкций, предназначенных для транспортирования штучных грузов с температурой до 1000°C , находящихся на платформе под теплозащитным колпаком. Реализация методики в пакете прикладных программ для ЭВМ позволит конструкторам прогнозировать на стадии проектирования теплотехнические качества вагона-термоса.

Для оценки прочности сварной конструкции рассматриваемого вагона важнейшее значение имеют напряжения и деформации, возникающие в ее элементах в результате температурных воздействий. Исследование термомеханической нагруженности несущих элементов конструкции от внешних механических и температурных воздействий, возникающих в условиях эксплуатации, необходимо при разработке и выборе рациональных конструктивных решений рамы и колпака платформы для горячей слывовой заготовки. Из вышеизложенного следует, что разработка методики теплотехнического расчета вагонных конструкций работающих в условиях температурных воздействий с последующей оценкой напряженно-деформированного состояния (НДС) несущих элементов вагона является актуальной задачей, имеющей народнохозяйственный экономический эффект.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ. Разработка инженерной методики теплотехнического расчета вагонных конструкций, предназначенных для транспортирования штучных грузов с температурой до 1000°C , находящихся на платформе под теплозащитным колпаком, с последующей оценкой термомеханической нагруженности и прочности несущих элементов конструкции от температурных и внешних механических воздействий, возникающих в условиях эксплуатации, реализация этой методики при разработке рациональных конструкций рамы и колпака платформы модели 23-4027 для горячей слывовой заготовки, а также исследование возможности повышения конструкционной скорости порожней платформы при движении

по путям МПС СССР до 120 км/ч.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА. Разработаны методика и алгоритм теплотехнического расчета вагонных конструкций с последующей оценкой нагруженности основных несущих элементов вызванной, как внешними механическими, так и температурным (до 1000°C) воздействием со стороны груза, предполагающие решение квазистационарной задачи остывания штучного груза в замкнутом пространстве, учитывающие различные условия эксплуатации и факторы окружающей среды, а также нелинейную зависимость теплофизических параметров груза и элементов конструкции вагона от температуры. Методика расчета реализована в ППП "SLVB" позволяющем производить исследование процессов теплообмена в системе "груз-вагон-окружающая среда".

Предложено научно обоснованное техническое решение важной прикладной задачи, связанной с транспортировкой горячих слябовых заготовок железнодорожным подвижным составом. Исследовано влияние изменения в зависимости от температуры модуля упругости материала несущих элементов вагона на НДС конструкции. Произведена оценка несущей способности опор под слябы по критерию сопротивления тепловому удару.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ РАБОТЫ. Инженерная методика теплотехнического расчета вагонных конструкций, реализованная в ППП "SLVB", входящая в подсистему САПР-К вагонов промышленного транспорта, позволит конструкторам и проектировщикам прогнозировать на стадии разработки технического проекта теплотехнические качества конструкций-термосов. Полученные в результате теплотехнического расчета данные о распределении температур на несущих элементах вагона используются для проведения прочностных расчетов при оценке НДС конструкции, работающей в условиях температурных воздействий.

РЕАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ. Разработанная методика и программные средства внедрены на ДВЗ и использованы при создании грузовой специализированной платформы для транспортирования горячей слябовой заготовки модели 23-4027. Материалы исследований времени остывания груза, имеющего температуру до 1000°C и находящегося на платформе под теплозащитным колпаком, в зависимости от различных факторов окружающей среды и скорости движения транспортного средства переданы технологическим службам Магнитогорского металлургического комбината для использования при расчете режима нагрева слябовых заготовок перед прокаткой. Народнохозяйственный экономический эффект от создания платформы для горячей слябовой заготовки модели 23-4027 на программу выпуска составляет 1885 тыс.руб. Доля автора в экономическом эффекте от внедрения его разработок составляет 65 тыс.руб.

АПРОБАЦИЯ РАБОТЫ. Основные результаты и положения диссертационной работы доложены и обсуждены на Всесоюзной научно-технической конференции "Перспективы развития вагоностроения" (г.Москва, 1988 г.); на 18-й научно-технической конференции молодых ученых и специалистов ВНИИВ с участием представителей предприятий тяжелого машиностроения (г.Москва, 1988 г); на Всесоюзной научно-технической конференции "Интегрированные системы автоматизированного проектирования" (г.Вологда, 1989 г).

ПУБЛИКАЦИИ. По материалам диссертации опубликовано 4 печатные работы и 3 научно-технических отчета, депонированных в ВНИИЦ.

СТРУКТУРА И ОБЪЕМ РАБОТЫ. Диссертация состоит из введения, пяти разделов, списка использованной литературы, включающего 124 наименования, 16 приложений и содержит 123 страницы машинописного текста, 19 таблиц, 58 рисунков.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована необходимость создания транспортного средства для перевозки горячей слябовой заготовки. Определены задачи исследований, отмечена новизна и практическая значимость разработанной методики теплотехнического расчета вагонных конструкций, работающих в условиях температурных воздействий, а также актуальность работы, имеющей народнохозяйственный экономический эффект.

В первой главе рассмотрено современное состояние вопроса, назначение и область применения объекта исследования. Приведена техническая характеристика впервые разработанной платформы для горячей слябовой заготовки и условия ее эксплуатации.

Платформа модели 23-4027 – технологический вагон внутриводского транспорта предназначен для транспортирования горячей слябовой заготовки из КИЦ в цеха горячей прокатки с минимальными тепловыми потерями. Конструктивно разрабатываемый вагон представляет собой контейнер, образованный железнодорожной платформой с теплоизолированным полом и теплозащитным колпаком. Проведен анализ состояния и тенденций развития транспортных средств для перевозки на металлургических предприятиях горячих штучных грузов в СССР и за рубежом. Определены ведущие по созданию данного вида техники предприятия и фирмы, проведен анализ их деятельности.

В процессе создания технологической платформы для горячей слябовой заготовки решается задача поиска рационального конструктивного решения вагона и его элементов, обеспечивающих минимальное количество теплотерь груза при его транспортировке. Анализ методов исследования процессов теплопередачи и определения температурных полей показал, что большой вклад в его развитие внесли такие ученые как А.П.Ваничев, В.М.Кирпичев, Г.М.Кондратьев, А.В.Лыков, М.А.Михеев.

Среди работ, решающих задачи процессов теплопередачи, касающихся объектов железнодорожного транспорта, следует отметить труды Н.И.Белоконя, Н.В.Винокурова. Значительный вклад в изучение процессов теплообмена, проходящих в конструкциях пассажирских и рефрижераторных вагонов, внесли В.Ф.Барабанчиков, Е.Т.Бартош, Г.И.Верников, К.В.Иванов, М.Г.Маханько, А.И.Расчетнов, С.А.Сапожников. Изучению вопросов теплоотдачи с наружных поверхностей ограждающих конструкций вагонов и локомотивов посвятили свои труды Б.Н.Китаев и Ю.П.Сидоров.

Для расчетов температурных полей на элементах конструкции большое распространение получил метод конечных элементов. К первым публикациям за рубежом, в которых с помощью ЭВМ решались задачи распространения тепла, можно отнести работы Е.Вилсона, О.Зенкевича, Р.Никкела, И.Чеунга, П.Сегерлинда. Из работ, проводимых в нашей стране, в которых получили свое развитие проблемы термоупругости и расчеты на прочность от температурных воздействий, следует отметить труды В.В.Болотина, Н.Н.Воронина, В.С.Зарубина, А.А.Ильюшина, С.Н.Киселева, А.Д.Коваленко, В.Н.Котуранова, В.С.Лагуты, С.Д.Речкалова, Я.Б.Фридмана. Изучению вопросов условий эксплуатации и разработке основ проектирования вагонов промышленного транспорта посвятили свои труды В.Г.Калмыков, А.Г.Кузнецов, А.И.Логинов, Б.А.Ржавинский, О.М.Савчук. На основании проведенного анализа делается вывод, что в специальной литературе имеется недостаточное количество работ, посвященных разработке методики решения задач теплопередачи применительно к вагонным конструкциям, эксплуатируемым в условиях воздействия высоких температур (до 1000°C), а исследование НДС конструкции от температурных воздействий груза является необходимым для оценки прочности элементов вагона, определения характера работы конструкции и выбора варианта конструктивного решения наиболее нагруженных элементов.

Во второй главе разрабатывается инженерная методика и алгоритм теплотехнического расчета вагонных конструкций. Основой изучения метода является процесс теплопередачи от горячей поверхности груза через воздушную прослойку либо непосредственный контакт, твердую многослойную стенку, что представляет собой ограждающий элемент конструкции, к холодной движущейся жидкости.

Методика предполагает разделение всей конструкции транспортного средства на отдельные модули, имеющие конструктивные особенности в виде типа и толщины материала, наличия изоляции или воздушной прослойки, местоположения по отношению к грузу и другие. Через каждый отдельный модуль на определенном температурном интервале определяются теплопотери груза. Зная количество теплоты, которое груз может отдать в процессе снижения его температуры, и количество теплоты, теряемое грузом в процессе теплопередачи, можно определить время его остывания и температурные поля на границах слоев каждого элемента.

При проведении теплотехнических расчетов учитывается, что такие теплотехнические параметры груза, а также конструкционных и теплоизолирующих материалов, как теплоемкость, теплопроводность, вязкость воздуха изменяются в процессе остывания и на каждом шаге расчета уточняются в зависимости от температуры.

В соответствии с методикой, разработан алгоритм теплотехнического расчета вагонных конструкций, реализованный в пакете прикладных программ *SLYB* ". Программа написана на языке "Фортран - 4" для ЭВМ *СМ-1420*.

Входящие в пакет "*SLYB* " подпрограммы "*TUGR* ", которая является своеобразным банком данных различных типов модулей и подпрограмма *LYMDA* ", которая представляет собой банк зависимостей от температуры теплофизических параметров материалов слоев, позволяют без значительных затрат дополнить банки данных

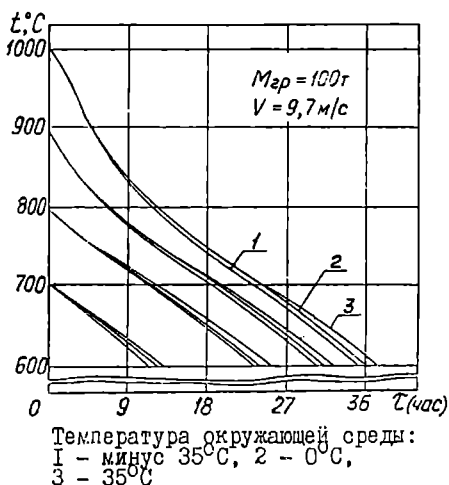
интересующими исследователя модулями либо характеристиками материалов, что позволит адаптировать программу для осуществления теплотехнических расчетов других типов вагонных конструкций.

Исследование теплотехнических качеств платформы для горячей слябовой заготовки (см.рис.) включало в себя нахождение зависимостей времени остывания груза от таких определяющих факторов, как начальная температура слябов при погрузке, температура воздуха окружающей среды (35°C , 0°C , -35°C), скорость омывания наружных поверхностей вагона воздухом в процессе движения ($0; 35$ км/ч), масса груза (100 т, 90 т, 80 т), а также определение теоретических значений температур на элементах конструкции. Конечная температура остывания слябовых заготовок принималась равной 600°C . Исследовалось влияние на теплотехнические качества платформы различных конструкций опор под слябы и в частности варианта с "воздушными карманами" и рифлением на поверхности контакта.

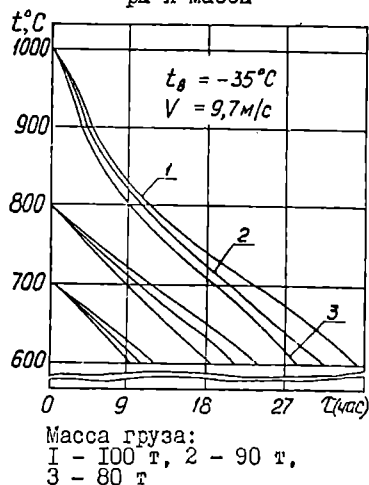
Полученные данные позволили установить элементы и узлы конструкции, где имеют место максимальные теплототери. В качестве изоляции колпака рекомендовано использовать муллитокремнеземистые плиты типа МКРП-340 либо МКРП-500, причем применение последних предпочтительно, так как они имеют более высокие прочностные качества и глинистую основу, которая не выгорает.

Третья глава посвящена исследованию напряженно-деформированного состояния несущих элементов конструкции платформы от действия эксплуатационных нагрузок. Для исследования НДС и прочности конструкции платформы выбран метод конечных элементов (МКЭ). Рама платформы представляет собой цельносварную конструкцию, которую можно аппроксимировать стержневыми элементами. Теплозащитный колпак исследуемого вагона представляет собой жесткий каркас обшитый листом. Для выполнения расчета МКЭ каркас аппроксимировался стержневыми элементами, а листы обшивки - пластинками.

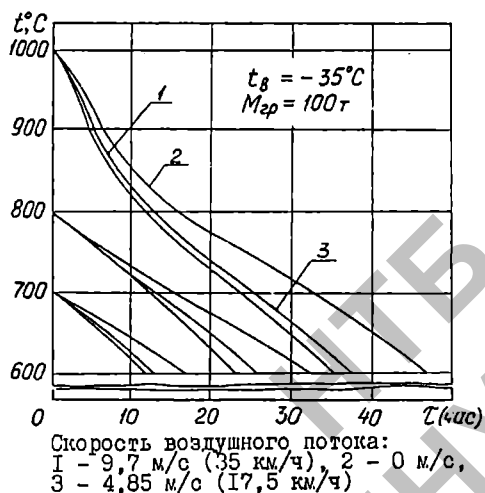
Зависимость изменения времени
остывания слабовых заготовок
от температуры окружающей среды



Зависимость времени остывания
слабовых заготовок
от их начальной температу-
ры и массы



Зависимость изменения времени остывания
слабовых заготовок от их начальной
температуры и скорости омыwania воз-
душным потоком конструкции вагона



Конструктивные особенности рамы и колпака, а именно эксплуатационное соединение несущих элементов предполагает применение жестких вставок, соединяющих стержневые элементы. Если жесткие вставки с одной стороны заземлены, то в стержне при нагреве появляются температурные напряжения (σ_t). Действие этих напряжений можно заменить действием эквивалентной продольной силы:

$$N_t = \int_A \alpha \cdot E \cdot T(y, z) \cdot dA \quad (2)$$

Если ось приложения силы N_t не совпадает с центром тяжести сечения, то возникают моменты:

$$\left. \begin{aligned} M_y^t &= \int_A \alpha \cdot E \cdot T(y, z) \cdot z \cdot dA = N_t \cdot z_t, \\ M_z^t &= \int_A \alpha \cdot E \cdot T(y, z) \cdot y \cdot dA = N_t \cdot y_t \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Найденные силовые факторы являются исходными данными для построения вектора нагрузок стержневого элемента при выполнении деформационного расчета. Как видно из выражений (2) и (3), для определения температурных усилий необходимо располагать данными о величинах температур на верхних и нижних волокнах сечения элемента. Определение температур на границах слоев производится в процессе решения задачи теплообмена между грузом и окружающей средой (глава 2).

Выполнение расчета НДС вагона предполагает разработку расчетных схем вагона с последующей программной реализацией. Особенностью расчетных схем является дискретизация сетки конечных элементов, которая производилась исходя из конструктивных особенностей рамы и колпака, а также различий в величинах температурных градиентов по высоте сечений стержней. Расчет платформы на прочность от действия эксплуатационных нагрузок производился с помощью

пакета прикладных программ на ЭВМ СМ-1420. Перемещения узлов и усилия в элементах определялись с помощью ППП ЛИРА-СМ (версия 2.3, разработка НИИАСС ГОССТРОЯ СССР), напряжения определялись программами *NAPLIR* ", *VODLIR*" и *" STRI3L "*, а графическое построение расчетных схем и деформированных состояний осуществлялись программами *" RISLIR "* и *" RIS4 "* (разработчик Отраслевой отдел ВНИИВ).

В соответствии с "Нормами..." оценка прочности элементов конструкции платформы производилась по I и III расчетным режимам с учетом усилий, возникающих в результате действия температурных нагрузок.

Одним из основных критериев при создании конструкции рамы платформы для горячей слябовой заготовки является снижение нагруженности ряда основных несущих элементов, вызванной температурным воздействием со стороны груза, которое, как показали уже первые расчеты, является определяющим из всего спектра эксплуатационных нагрузок. Поэтому с целью создания рациональных и надежных конструкций, работающих в условиях воздействия высоких температур, необходимо стремиться максимально теплоизолировать и по возможности экранировать от теплового излучения несущие элементы вагона. Если же, исходя из условий работы или отсутствия альтернативных конструктивных решений, не удастся снизить уровень температурных напряжений путем теплоизоляции элементов, необходимо раскрепить наиболее термонагруженные элементы в направлении действия усилий и перемещений, вызванных температурным воздействием.

Уточненный прочностной расчет по МКЭ шкворневого узла платформы позволил определить усилия и поля напряжений на элементах конструкции, возникающие в процессе движения груженого вагона при боковой качке и перевалке, а также при подъемах вагона под один конец шкворневой балки для производства ремонтных работ.

Анализ НДС шкворневого узла показал, что максимальные напряжения наблюдаются на нижнем листе шкворневой балки в зоне приложения силы и не превышают 159 МПа.

Полученное в результате оценки сопротивления тепловому удару конструкции опоры, максимально-допустимое значение температуры (1213°C) позволяет сделать заключение, что конструкция опоры платформы при температуре погружки слабовых заготовок 1000°C отвечает предъявляемым к ней требованиям по данному критерию.

Сравнительная оценка величины максимальных расчетных напряжений в элементах рамы с учетом и без учета зависимости модуля упругости (E) от температуры показала, что пренебрежение зависимостью $E(t^{\circ})$ приводит в прочностных расчетах рамных конструкций, работающих в условиях воздействия аналогичных температурных полей, к величинам напряжений, завышенным не более чем на 13 %. Одновременно хотелось бы отметить, что стали 09Г2 до температуры 500°C включительно, не склонны к тепловой хрупкости и не разупрочняются в результате длительного старения, а при размахе температур $90-316^{\circ}\text{C}$ возникает эффект циклического упрочнения.

Используя величины температур на элементах конструкции в качестве исходных данных были произведены прочностные расчеты двух вариантов колпака. Анализ полученных данных показал, что определяющими при оценке напряженного состояния колпака являются напряжения, вызванные температурным воздействием. Напряжения от собственного веса конструкции и крановой нагрузки для наиболее нагруженных элементов составляют менее 5% от величины температурных. Если в первом варианте, напряжения в основных несущих элементах превышали предел текучести, что подтвердилось данными эксперимента, то в предложенном по результатам исследований окончательном варианте конструктивного исполнения теплозащитного колпака наиболее нагруженными элементами являются нижняя обвязка

колпака с максимальным сжимающим напряжением 233 МПа и стойка вертикальной части боковой стенки 206 МПа. Величина этих напряжений не превышает предела текучести и величины допускаемых напряжений по I расчетному режиму.

В четвертой главе представлены экспериментальные исследования теплотехнических, прочностных и ходовых динамических качеств платформы для горячей слябовой заготовки. При статических испытаниях платформа подвергалась воздействию вертикальной испытательной нагрузки 1,3 МН и продольных сжимающих нагрузок 1,0 и 2,5 МН. В процессе испытаний измерялись напряжения в несущих элементах рамы платформы. Прочность конструкции оценивалась сравнением суммарных напряжений от наиболее невыгодного возможного сочетания одновременно действующих нормативных нагрузок с допускаемыми напряжениями, установленными "Нормами..." для I и III расчетных режимов. Максимальные напряжения в хребтовой балке не превышают 104 МПа, в промежуточных, шкворневых, опорных балках 57 МПа. Продольную нагрузку так же, в основном, воспринимает хребтовая балка. Наибольшие значения напряжений в хребтовой балке от сжимающей нагрузки 2,5 МН получены в нижних полках двутавров в зоне шкворневого узла со стороны консоли и составляют 244 МПа. В промежуточных балках не превышают 80 МПа. В остальных несущих элементах рамы уровень напряжений ниже приведенных. Оценка прочности конструкции рамы проведена для случаев транспортирования платформы в порожнем состоянии по путям МПС СССР и эксплуатации в груженом состоянии по путям промышленных предприятий со скоростями до 35 км/ч.

В процессе теплотехнических испытаний определялись: скорость снижения температуры слябовых заготовок в процессе их транспортирования на технологических платформах, а также температуры нагрева основных элементов рамы и теплозащитного колпака. Заг-

рузка платформы горячими слябовыми заготовками осуществлялась непосредственно после их прокатки с температурой 1020-1040°C. Анализ полученных данных показал, что в интервале температур 1000-880°C для точки, расположенной в центре груза, скорость остывания слябовых заготовок максимальна порядка 30 град/ч. В первые 3-4 часа после установки колпака идет интенсивный нагрев конструкции платформы, а также выравнивание температуры за счет перераспределения тепла по объему груза. В интервале 880-800°C темп остывания 16 град/ч и процесс выравнивания температур по объему слябовых заготовок продолжается, хотя и менее интенсивно, чем в начальный период. В интервале температур 800-675°C скорость остывания составляла 8,3 град/ч. Средняя скорость снижения температуры слябовых заготовок во всем диапазоне составляет 10 град/ч. Данные экспериментов использовались для оценки и тестирования пакета программ " S L Y B ". Так, в расчете моделировались условия проведения экспериментов на стадии регулярного режима остывания. Расхождение в величине времени остывания не превышает 10 %.

При транспортировке горячих слябовых заготовок, вследствие протекания процесса теплопередачи, происходит нагрев элементов конструкции. Из-за особенностей конструкции, различной степени изолированности элементов, наличия тепловых мостиков нагрев узлов и элементов осуществляется неравномерно, как по длине, так и в плоскости поперечного сечения.

В первом варианте конструкции наибольшую температуру нагрева (418°C) имела зона верхней полки боковой балки, при этом нижний ее конец нагревался до температуры 65°C. В результате такой разницы температур верхней и нижней частей боковой балки последняя деформировалась в продольной вертикальной плоскости. Имели место значительные остаточные деформации, достигающие в зоне сопряжения с лобовыми балками 130 мм. В средней части боковых балок имелись

5508a

трещины с величиной раскрытия в верхней части до 12 мм. Механизм образования трещин установлен, даны рекомендации по конструктивному исполнению этого узла. Из несущих элементов теплозащитного колпака наибольшую температуру (331°C) имела внутренняя стенка нижней обвязки. Остальные несущие элементы колпака (стойки, обшивка, боковая обвязка) имели температуру $155-45^{\circ}\text{C}$. Температура нагрева элементов тормозного оборудования платформы составила 35°C , буксы тележек 5°C . Экспериментальные данные о температурных градиентах по высоте сечений на основных несущих элементах удовлетворительно согласуются с результатами расчетов, расхождение в величинах значений составляет 17-22 %.

Анализ результатов проведенных теплотехнических испытаний опытного образца платформы позволяет сделать вывод, что ряд узлов и элементов конструкции имел недостаточную прочность при работе в условиях температурных воздействий. Это вызвано в основном тем, что элементы вагона нагреваются неодинаково и на отдельных элементах возникают градиенты температур, являющиеся, ввиду статической неопределимости сварной рамной конструкции, причиной появления температурных напряжений, превышающих допускаемые, что и было подтверждено прочностными расчетами. На основании результатов испытаний и данных расчетов разработаны рекомендации по совершенствованию конструкции, которые легли в основу окончательного варианта платформы для слябов.

После постройки платформа для горячей слябовой заготовки транспортируется в порожнем состоянии по путям МПС СССР с завода изготовителя к месту эксплуатации. В соответствии с технической документацией на вагон конструкционная скорость в порожнем состоянии должна быть не менее 100 км/ч. Аналитическая оценка параметров ходовых динамических качеств по известным методикам показала возможность увеличения скорости транспортирования до 120 км/ч.

Для подтверждения данной возможности проведены ходовые динамические испытания в соответствии с ОСТ 24.050.37-84.

В пятой главе производится технико-экономическое обоснование выбора толщины изоляции теплозащитного колпака и оценка технического уровня платформы для горячей слябовой заготовки.

Определение оптимальных параметров основывается на учете многих факторов, характеризующих конструктивные особенности вагона, стоимостные параметры материалов, эксплуатационные требования и другие. Наиболее признанным определяющим параметром оптимизации, позволяющим учитывать альтернативность действующих факторов, считается минимум приведенных народнохозяйственных затрат, связанных с транспортировкой груза и последующими тепло-техническими процессами разогрева и прокатки. Задача определения минимума приведенных затрат решалась для пяти вариантов; учитывающих возможные сочетания климатических и эксплуатационных факторов.

В этой же главе произведена оценка технического уровня технологической платформы для горячей слябовой заготовки, которая осуществлялась путем сопоставления технико-экономических показателей оцениваемого вагона с соответствующими показателями лучших зарубежных аналогов.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

I. Анализ методов исследования процессов теплопередачи и определения температурных полей позволяет сделать вывод, что в специальной литературе имеется ограниченное количество работ, посвященных разработке достаточно обоснованных инженерных методов решения задач теплообмена применительно к вагонным конструкциям, эксплуатируемым в условиях воздействия высоких темпе-

ратур (до 1000°C).

2. Предложена инженерная методика, позволяющая решать задачи теплообмена системы "груз-вагон-окружающая среда" с учетом условий эксплуатации, нелинейной зависимости от температуры теплофизических параметров материала груза и элементов конструкции.

3. Разработан алгоритм расчета и пакет прикладных программ "SLVB", с помощью которого возможно исследование изменения времени остывания груза и величины тепловых потоков через отдельные элементы ограждающих конструкций в зависимости от конструктивных особенностей экипажа, типов и толщины изоляционных материалов, климатических условий и массы слябовых заготовок, скорости транспортирования и температуры погрузки. Получен инструмент определения температур на границах слоев модулей.

4. Создание подпрограмм, включающих в себя банки знаний и данных о конструктивных модулях с различным сочетанием слоев из конструкционных и изоляционных материалов, воздушных прослоек, а также зависимостей их теплофизических параметров от температуры, позволяет адаптировать программу для осуществления теплотехнических расчетов различных типов вагонных конструкций. Разработанные программные компоненты могут быть использованы при создании САПР-К грузовых специализированных вагонов работающих в условиях температурных воздействий.

5. Анализ результатов теплотехнических расчетов платформы модели 23-4027 для горячей слябовой заготовки позволяет сделать вывод, что лучшими теплотехническими качествами обладает конструкция с теплозащитным колпаком, имеющим изоляцию, выполненную из плит МКРПН-500 толщиной 80 мм и узлом опирания на опорные балки рамы, находящемся ниже уровня пола. В качестве теплоизоляции пола платформы рекомендуется использовать ячеистый кирпич толщиной 130 мм

и слой плит МКРП-500 толщиной 40 мм. В этом случае время остывания груза массой 100 т в диапазоне температур 1000-600°C при температуре окружающей среды минус 35°C и скорости движения 35 км/ч составит 47,4 часа, что удовлетворяет техническим требованиям условий эксплуатации предъявляемым к данному типу транспортного средства. Средняя скорость снижения температуры слябовых заготовок в интервале температур 1000°-600°C не превышает 10 град/ч. Рекомендовано также в перспективе использовать в качестве теплоизолирующего материала пола платформы доменный гранулированный шлак, что позволит для аналогичных условий увеличить время остывания груза до 54,4 часа.

6. Наличие на элементах цельносварных рамных конструкций температурных градиентов порядка 200°C и выше приводит к появлению температурных напряжений, величина которых составляет до 90 % от суммарных напряжений по I и III расчетным режимам, а в отдельных случаях превышает их допустимые значения.

7. С целью исключения процесса окалинообразования, для элементов, подвергающихся воздействию температур порядка 400°C и выше, в качестве материала для их изготовления необходимо использовать жаростойкие стали типа 12Х18Н10Т по ГОСТ 7350-77.

8. Конструкция опоры под слябы, выполненная в варианте с "воздушными карманами", позволяет увеличить время остывания груза на 2,1 часа, что составляет 6 % общего времени остывания в диапазоне температур 1000-600°C. Полученное значение максимально допустимой температуры (1213°C) позволяет сделать вывод, что конструкция опоры платформы отвечает предъявляемым требованиям по критерию сопротивления тепловому удару.

9. Пренебрежение зависимостью модуля упругости от температуры в прочностных расчетах рамных конструкций, работающих в условиях

воздействия аналогичных температурных полей, (средняя температура сечения до 250°С) приводит к завышенным (до 13%) значениям напряжений.

10. Конструкция платформы обладает достаточной прочностью по I и III расчетным режимам, как при следовании в порожнем состоянии по путям МПС СССР, так и при транспортировке грузов (слябовой заготовки) на путях промышленных предприятий при полном использовании грузоподъемности со скоростью до 35 км/ч.

11. Динамические показатели специализированной платформы модели 23-4027 для горячей слябовой заготовки на порожнем режиме не превышают предельных величин показателей, при которых качество хода согласно ОСТ 24.050.37-84 и "Норм..." оценивается как удовлетворительное. По своим ходовым качествам платформа может нормально транспортироваться по путям МПС СССР хорошего технического состояния в составе грузовых поездов с максимальной скоростью до 120 км/ч.

12. Достаточно удовлетворительное совпадение экспериментальных и теоретических величин напряжений (10,5-25%), температур на элементах конструкции (17-22%) и времени остывания груза (10%) говорит о соответствии разработанной расчетной схемы и модели теплообмена системы "груз-вагон-окружающая среда" натурной конструкции вагона, правильности принятых допущений, достоверности полученных результатов.

13. Разработанные в процессе исследований предложения по конструкции платформы для горячих слябов признаны изобретениями (решение ВНИИГПЗ №4474989/25-II от 24.02.89г., №4619912/25-II от 14.06.89г., №4758827/13 от 14.11.89г., №4745619/25-II от 22.03.90г., №4745292/II от 16.07.90г.).

14. Оценка технического уровня технологической платформы модели 23-4027 для горячей слябовой заготовки, произведенная по методике ГИИТ СССР, показала, что созданная платформа на момент ее постановки на производство соответствует мировому уровню.

ПЕРЕЧЕНЬ ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ, ОТРАЖАЮЩИХ
ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Рабинович А.Б., Речкалов С.Д., Трубачев Ю.А. Теплоизоляционные качества специализированной платформы для горячей сырьевой заготовки модели 23-4027; ВНИИ вагоностроения. М., 1988., с.22 - Деп. в ЦНИИТЭИ МПС 23.05.88, № II6- ТМ 88.
2. Рабинович А.Б., Речкалов С.Д. Разработка компонентов проектирующей подсистемы САПР-К вагонов промышленного транспорта. Тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции "Интегрированные системы автоматизированного проектирования". - М. 1989, с.100-101.
3. Яловой А.И., Рабинович А.Б. Платформа для перевозки горячей сырьевой заготовки. В информационном сборнике ЦНИИТЭИтяжмаш Серия 9. Вып.7.-М. 1989, с.30-31.
4. Рабинович А.Б., Битюцкий А.А., Яловой А.И. Оценка прочности платформы для горячей сырьевой заготовки (модель 23-4027). В информационном сборнике ЦНИИТЭИтяжмаш Серия 9. Вып.7.-М. 1989, с.31-33.



Рабинович Аркадий Борисович

Термомеханическая нагруженность и выбор с учетом условий эксплуатации варианта конструкции платформы для горячей сырьевой заготовки.

05.22.07 - Подвижной состав и тяга поездов

Подписано к печати 02.II.90. Формат 60 x 84 I/I6. Бумага для множительных аппаратов. Ротапринт. Усл. печ. л. I, I. Уч.-изд. л. I, 0. Тираж 100 экз. Заказ 975. Бесплатно.

Участок оперативной полиграфии ДИИТа.

320700, ГСП, Днепропетровск, 10, ул.Акад.В.А.Лазаряна, 2.

НТБ
ДНУЗТ