

МИНИСТЕРСТВО ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ
ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА ИМЕНИ М.И. КАЛИНИНА

На правах рукописи

ЦАРАПКИН Вадим Александрович

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ
КАРКАСОВ РАМ И КУЗОВОВ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

05.22.07 – Подвижной состав и тяга поездов

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Днепропетровск
1979

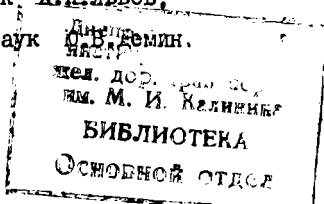
Работа выполнена на Кривковском ордена Октябрьской Революции вагоностроительном заводе, Всесоюзном научно-исследовательском проектно-технологическом институте вагоностроения и в Днепропетровском институте инженеров железнодорожного транспорта имени М.И.Калинина.

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Савчук О.М.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук А.А.Львов,

кандидат технических наук О.В.Демин.



Ведущее предприятие – Днепродзержинский ордена Трудового Красного Знамени вагоностроительный завод имени газеты "Правда".

Защита состоится "31" "мая" 1979г. в " " час.

на заседании специализированного совета К II4.07.01 в Днепропетровском институте инженеров железнодорожного транспорта

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ДПИТ.

Автореферат разослан "29" апреля 1979г.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью, просим направлять в адрес института: 320629, ГСП, г. Днепропетровск-10, ул. Университетская, 2.

Ученый секретарь специализированного
совета, кандидат технических наук,

Л.В.Петрович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

А к т у а л ь н о с т ь. С ростом масштабов коммунистического строительства снижению веса и материалоемкости продукции уделяется все большее внимание как одному из направлений повышения эффективности общественного производства. Согласно решениям XXV съезда КПСС в текущей пятилетке экономия проката черных металлов в машиностроении и металлообработке должна составить 14-16 процентов.

Промышленность по производству подвижного состава является крупнейшим потребителем металла. В связи с этим, а также потому, что снижение веса подвижного состава приводит к повышению технического уровня и экономии эксплуатационных расходов железнодорожного транспорта, для подвижного состава снижение веса имеет особое значение.

6451a

Одним из путей снижения веса подвижного состава является применение методов оптимизации при проектировании конструкций. Современный уровень теории и практики оптимального проектирования составляет прочную базу для постановки и решения задач поиска конструкций минимального веса. Вместе с тем широкое внедрение методов оптимального проектирования сдерживается недостаточной мощностью вычислительной техники, сложностью и спецификой работы подвижного состава, что затрудняет разработку программ, отвечающих всем требованиям проектной практики. Поэтому разработка доступных для применения в практике проектирования методов поиска конструкций подвижного состава минимального веса является важной задачей в научном и народно-хозяйственном отношении.

Ц е л ь р а б о т ы. На основе анализа современного состояния оптимального проектирования разработать вычислительную процедуру поиска оптимальных конструкций подвижного состава, доступную для применения в практике проектирования. Проверить эффективность предлагаемого алгоритма при проектировании реальной конструкции. Разработать и внедрить конкретные рекомендации по выбору рациональных конструкторских решений.

М е т о д и к а и с с л е д о в а н и я. Математическая модель задачи разработана на основе анализа тенденций развития теории и практики оптимального проектирования. Процедура решения задачи построена на основе динамического и линейного программирования. Для исследования напряженного состояния конструкции при решении реальной задачи использовались классические методы строительной механики. Достоверность расчета оценивалась путем сопоставления с экспериментальными данными. Исследования проводились на цифровых вычислительных машинах. Поиск оптимальной конструкции производился с помощью разработанного алгоритма. Техническая и экономическая целесообразность внедрения разработанных рекомендаций определялась путем натурных испытаний и расчета экономической эффективности.

Н а у ч н а я н о в и з н а. Введено понятие характерного параметра состояния, сформулирована сопряженная задача оптимального проектирования и разработана процедура поиска оптимальных размеров в общем случае несимметричных сечений элементов конструкций подвижного состава, когда размеры сечений являются независимыми. Поставлена и решена задача оптимального проектирования для реальной конструкции грузового вагона. На основе исследований разработана новая конструктивная

схема вагона, на которую Государственным Комитетом Совета Министров СССР по делам изобретений и открытий выдано авторское свидетельство на изобретение.

Практическая полезность Рекомендации работы использованы Крюковским вагоностроительным заводом при проектировании вагона для зерна. Производство таких вагонов освоено заводом с 1976 года.

А п р о б а ц и я р а б о т ы. Материалы диссертационной работы докладывались на научно-технической конференции Ташкентского института инженеров железнодорожного транспорта (Ташкент, 1972 г.), на юбилейной научно-технической конференции Днепропетровского института инженеров железнодорожного транспорта им. М.И.Калпина (Днепропетровск, 1974г.), на научно-технической конференции Брянского института транспортного машиностроения (Брянск, 1977г.), на заседании кафедры "Вагоны и вагонное хозяйство" Московского института инженеров железнодорожного транспорта (Москва, 1979г.), на заседании научно-технического совета ВНИИ вагоностроения (Москва, 1979 г.).

П у б л и к а ц и и. По результатам выполненных исследований опубликовано пять работ.

С т р у к т у р а и о б ъ е м р а б о т ы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов и списка литературы, включающего 137 наименований, изложена на 151 странице машинописного текста, содержит 18 рисунков и 14 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

С о с т о я н и е в о п р о с а. Оптимальному проектированию конструкций посвящено значительное количество работ советских и зарубежных авторов. Видное значение в разработке методов оптимального проектирования имеют исследования И.М. Рабиновича, А.И. Виноградова, Ю.А. Радцига, А.А. Чираса, К.М. Хуберяна, А.П. Филина, Н.И. Гуревича, Ю.М. Почтмана, М.И. Рейтмана, А.А. Ржаницына, Н.И. Абрамова, А.П. Филипова, В.Б. Гринева, З. Васютиньского, В. Прагера и других.

Обычно задача оптимального проектирования ставится как задача поиска минимума целевой функции, характеризующей качество проекта. В большинстве случаев такой характеристикой является вес или стоимость конструкции. Как правило, решения разыскиваются в множестве систем с заданным очертанием осей. В качестве ограничений обычно принимаются предельные значения параметров состояния (напряжения, прогибы и др.) и конструктивные ограничения. Пространство проектирования, материал, нагрузки и форма сечений считаются известными. Требуется отыскать такие параметры системы, которые доставляют минимум ее весу или стоимости при выполнении заданных ограничений.

Базой для решения задач оптимального проектирования является математическое программирование, что не исключает разработку других приемов поиска оптимальных конструкций. Характерной особенностью и трудностью задач оптимального проектирования является быстро растущий объем вычислений при увеличении числа неизвестных параметров, так что оптимизация даже простейших систем требует применения вычислительной техники.

Строительная механика располагает сейчас обширным набором методов поиска оптимальных проектных решений. В последнее время намечается тенденция к практическому применению оптимального проектирования. В публикациях все чаще отмечается разрыв между достижениями в теории вопроса и их реализацией в проектной практике. Обсуждаются различные постановки задач, удовлетворяющих требованиям производства и проектирования, и причины, затрудняющие широкое внедрение методов поиска оптимальных конструкций. Основными из таких причин являются трудности вычислительного характера, так как объем вычислений для решения реальных задач часто превышает возможности вычислительных машин. Последнее заставляет исследователей стремиться к уменьшению числа неизвестных параметров. В связи с этим в литературе по оптимальному проектированию, как правило, рассматриваются конструкции с симметричными сечениями элементов или параметры сечения сводятся к одному, например, площади. Отсюда важное значение приобретает разработка таких алгоритмов, которые позволяли бы уменьшить объем вычислений и производить оптимизацию реальных конструкций на существующих ЭВМ без уменьшения числа неизвестных параметров.

Применение методов оптимального проектирования для поиска рациональных конструкций подвижного состава еще не получило широкого распространения. Из известных автору работ вопросы оптимального проектирования конструкций подвижного состава рассматривали А.И. Кравченко, Н.И. Подлитов, Б.А. Белоногов, Б.Б. Ципуришвили, Б.В. Лукин, К.А. Сергеев, Г.С. Егоров, Н.М. Ершова, И.К. Мороз, Б.Д. Хусидов, Б.К. Красников, *Klav Winfried, Bauers R.H., Hawthorne K.Z.*

В большинстве работ решение задачи строится на основе способа характерных сечений путем чередования расчета напряженно-деформированного состояния при заданных размерах поперечных сечений элементов конструкции и выбора оптимальных размеров при найденных постоянных в данном приближении усилиях. При этом считаются известными или предварительно приближенно определяются зависимости, позволяющие установить однозначную связь между усилиями и напряжениями, или рассматриваются интегральные характеристики сечений (момент инерции, площадь и др.). Между тем, условия производства подвижного состава позволяют варьировать размерами сечений в конструктивно допустимых пределах. В связи с этим представляет интерес задача оптимального проектирования, когда размеры сечений элементов конструкции являются независимыми.

П о с т а н о в к а з а д а ч и. Конструкция представляется в виде дискретной статически неопределимой системы с заданным очертанием осей и стержнями кусочно-постоянных в общем случае несимметричных сечений заданной формы. В качестве целевой функции принят объем (вес) материала. Ограничениями являются условия прочности, жесткости, устойчивости и конструктивные ограничения. Требуется отыскать такие размеры сечений элементов конструкции, которые доставляют минимум ее весу при выполнении заданных ограничений:

$$\text{определить } \min V = f(x)$$

$$\text{при ограничениях } \delta_j - g_j(x) \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, p, \quad (1)$$

где $x = \|x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n\|$ - вектор искомых размеров;

β_j и $g_j(x)$ - нормативные и текущие значения параметров состояния конструкции (напряжения, прогиб и др.). Размеры сечений считаются независимыми.

А л г о р и т м р е ш е н и я з а д а ч и. Выполненный в диссертации анализ показал, что для реальной конструкции решение задачи в принятой постановке с помощью существующих алгоритмов не представляется возможным в основном из-за трудностей вычислительного характера, несимметричности и независимости размеров сечений элементов. Отмечено, что традиционная постановка задачи, когда ограничения являются параметры состояния, усложняет организацию поиска оптимальной конструкции в связи с тем, что параметры состояния конструкции не определяют размеры ее сечений однозначным образом. Между тем, размеры сечений конструкции, напротив, однозначно определяют ее параметры состояния. Отсюда сделан вывод о целесообразности использования отмеченного свойства для упрощения процедуры поиска. С этой целью введено понятие характерного параметра состояния. По определению под характерным понимается такой параметр состояния, величина которого является определяющей для рассматриваемой конструкции:

$$g_s(x) = \beta_s \theta,$$

$$\text{где} \quad \theta = \max_j \frac{g_j(x)}{\beta_j} = \frac{g_s(x)}{\beta_s}, \quad (2)$$

$$j = 1, 2, \dots, s, \dots, p.$$

С учетом (2) задача (1) представляется в виде:

определить $\min V = f(x)$

при ограничениях: $\theta \leq 1$, (3)

$$x_i^{\min} \leq x_i \leq x_i^{\max}.$$

Показано, что для оптимальной конструкции характерный параметр состояния необходимо принимает наименьшее значение. Последнее позволяет сформулировать сопряженную задачу оптимального проектирования, где в качестве целевой функции выступает характерный параметр состояния, а ограничением является объем материала: распределить заданный объем материала по элементам конструкции таким образом, чтобы значение характерного параметра состояния было минимальным:

определить $\min \theta$

при ограничениях $V = \text{const}$, (4)

$$x_i^{\min} \leq x_i \leq x_i^{\max}.$$

Показано, что конструкция с минимальным значением характерного параметра состояния необходимо является конструкцией минимального веса. Таким образом, решая задачу о минимуме характерного параметра состояния, мы одновременно решаем задачу о минимуме веса конструкции.

Для разработки алгоритма решения задачи произведен анализ тенденций развития методов решения задач оптимального

проектирования. Установлено, что наиболее успешно применяемыми являются методы, представляющие собой разветвляющийся процесс отбора, отображающий объективный процесс прогрессивного развития, когда наилучшие варианты предыдущей выборки входят во вновь образуемую совокупность для улучшения в процессе отбора, а сам алгоритм целесообразно строить в виде многошагового процесса на основе дискретной процедуры целенаправленного поиска. Из методов математического программирования таким требованиям отвечают динамическое и линейное программирование.

Оказывается, для решения сопряженной задачи легко может быть построен процесс динамического программирования. Разобьем заданный объем материала ΔV на z частей так, что $V = V_0 + \sum_{k=1}^z \Delta V_k$, где V_0 - объем исходной конструкции. В качестве управляющих переменных примем размеры сечений. Тогда в терминах динамического программирования задача может быть сформулирована следующим образом: из всех возможных управлений найти такое оптимальное управление, которое переводит конструкцию из начального состояния в конечное состояние так, чтобы снижение характерного параметра состояния при этом было максимальным. В соответствии с принципом оптимальности на каждом шаге вычислительного процесса размеры сечений необходимо выбирать так, чтобы получить максимальное снижение характерного параметра состояния на всех предыдущих шагах, включая данный. Функциональное уравнение Р. Беллмана для рассматриваемой задачи имеет вид:

$$\max \sum_{k=1}^m \Delta \theta_k = \max [\Delta \theta_m + \max \sum_{k=1}^{m-1} \Delta \theta_k], \quad (5)$$

где $\Delta \theta_{\kappa} = \theta_{\kappa-1} - \theta_{\kappa}$.

Используя свойства сопряженной задачи, решение уравнения (5) можно заменить тривиальной процедурой:

$$\max \sum_{\kappa=1}^2 \Delta \theta_{\kappa} = \sum_{\kappa=1}^2 \max \Delta \theta_{\kappa}, \quad (6)$$

что позволяет существенно уменьшить объем вычислений. Возможность такой замены основывается на однозначной зависимости характерного параметра состояния от размеров сечений элементов конструкции.

В результате построена процедура решения сопряженной задачи в виде дискретного многошагового процесса целенаправленного поиска. В каждом шаге такого процесса на гиперповерхности конструкций равного объема выбирается ряд дискретных точек и среди них определяется такая, значение θ_{κ} для которой будет минимальным. Вычисления проводятся до тех пор, пока значение характерного параметра состояния не будет равно нормативному.

Анализ возможности реализации описанной процедуры показал, что для оложных систем она становится утомительной даже при применении мощных ЭВМ. В связи с этим предложено упрощение процесса за счет сужения области поиска и применения метода покоординатного спуска. В каждом шаге выбор координаты, вдоль которой происходит движение, предлагается осуществлять путем решения вспомогательной задачи линейного программирования:

$$\text{определить } \max \sum_{i=1}^n \left(- \frac{\partial \theta_{\kappa}}{\partial x_{i\kappa}} \Delta x_{i\kappa} \right)$$

при ограничениях:

$$\sum_{i=1}^n \frac{\partial V}{\partial x_{i\kappa}} \Delta x_{i\kappa} \leq \Delta V_{\kappa}, \quad \Delta x_{i\kappa} \geq 0, \quad x_{i\kappa} \leq x_{i\kappa}^{\max}, \quad (7)$$

считая постоянными частные производные при малых приращениях Δx_{ik} .

Поскольку в задаче (7) имеется лишь одно ограничение, в силу свойств задач линейного программирования только одна переменная Δx_{ik} будет отлична от нуля. Остальные $n-1$ переменных обращаются в нуль. Последнее позволяет предложить простую и надежную процедуру поиска: последовательно каждой переменной дается приращение на величину заданного объема материала ΔV и вычисляется снижение характерного параметра состояния. В результате приращение получает тот размер сечения, изменение которого дает наибольшее снижение характерного параметра состояния.

Изучение свойств предложенного процесса поиска оптимальных конструкций показало, что за исключением особых случаев задача минимума характерного параметра состояния не имеет аналитического минимума, а следовательно минимум целевой функции достигается на границе допустимой области. Отсюда целесообразно в качестве исходной принимать конструкцию с заданными минимальными размерами сечений.

Эффективность алгоритма проиллюстрирована на простейших примерах. Показано, что с его помощью можно отыскать оптимальную конструкцию и тогда, когда другие способы оптимизации не приводят к оптимальному решению. Приведена геометрическая интерпретация оптимизации толщин полок жестко заделанного одним концом неравнобокого уголка при ограничениях по нормальным (σ_c), эквивалентным (σ_s), касательным (τ_c) напряжениям, жесткости (f_x, f_y) и устойчивости (σ_k). Траектории процесса из различных начальных точек (M_0, M, M_1, M_2) при

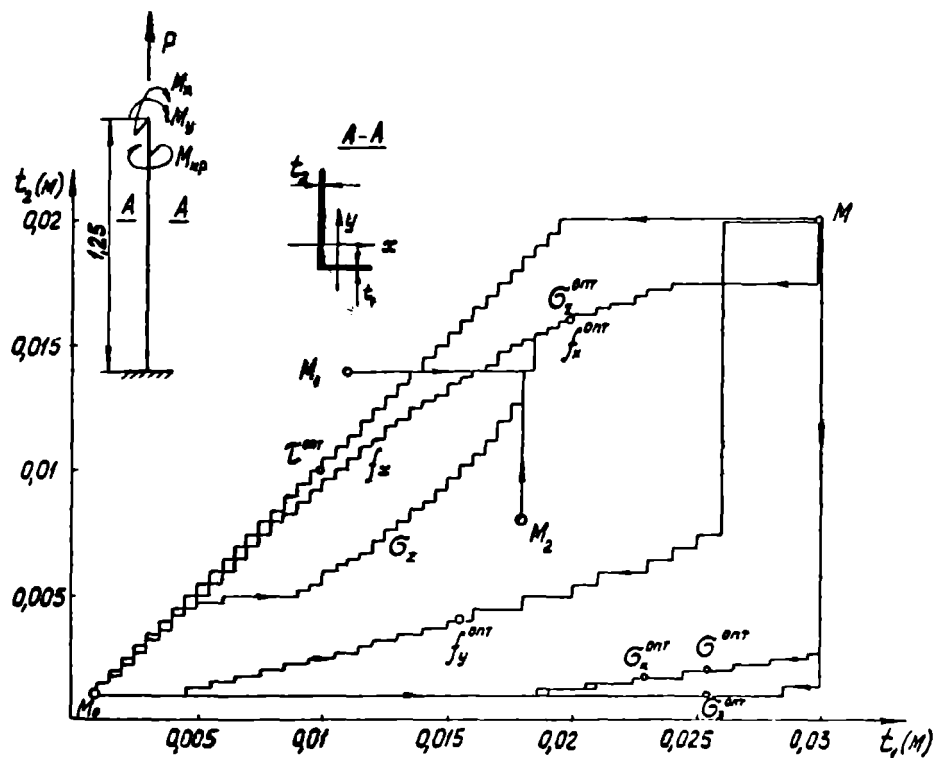


Рис.1 Траектории итеративного процесса поиска оптимальных размеров сечения при различных ограничениях.

решения задачи при ограничении по каждому из параметров состояния (обозначены $\sigma_c, \sigma_s, \tau_c, \sigma_k, f_x, f_y$) и с ограничениями по всем параметрам одновременно (σ_Σ) показаны на рис. 1. Как видно из рисунка все траектории сходятся к одним и тем же оптимальным точкам.

Для сложных конструкций, когда количество вычислений становится велико, предложена процедура поиска оптимальных конструкций на основе способа характерных сечений. В первом приближении при заданных минимальных размерах сечений обычными методами строительной механики вычисляются усилия и определяются характерные параметры состояния по каждому стержню. Далее найденные усилия считаются постоянными и производится оптимизация сечений путем решения сопряженной задачи оптимального проектирования. Величина шага определяется из выражения:

$$\Delta F_k = F_{k-1} (\theta_{k-1} - 1), \quad (8)$$

где F_{k-1} — площадь сечения в $k-1$ приближении.

По найденным в первом приближении размерам сечений определяются усилия в стержнях, и процесс вычислений повторяется до тех пор, пока размеры сечений не будут определены с заданной точностью. В результате получаем оптимизированную систему, удовлетворяющую заданным ограничениям и условиям совместности деформаций.

Блок-схема алгоритма приведена на рис. 2.

В связи с тем, что задача линейного программирования может иметь или одно, или множество решений, в результате поиска мы можем получить одну или множество конструкций

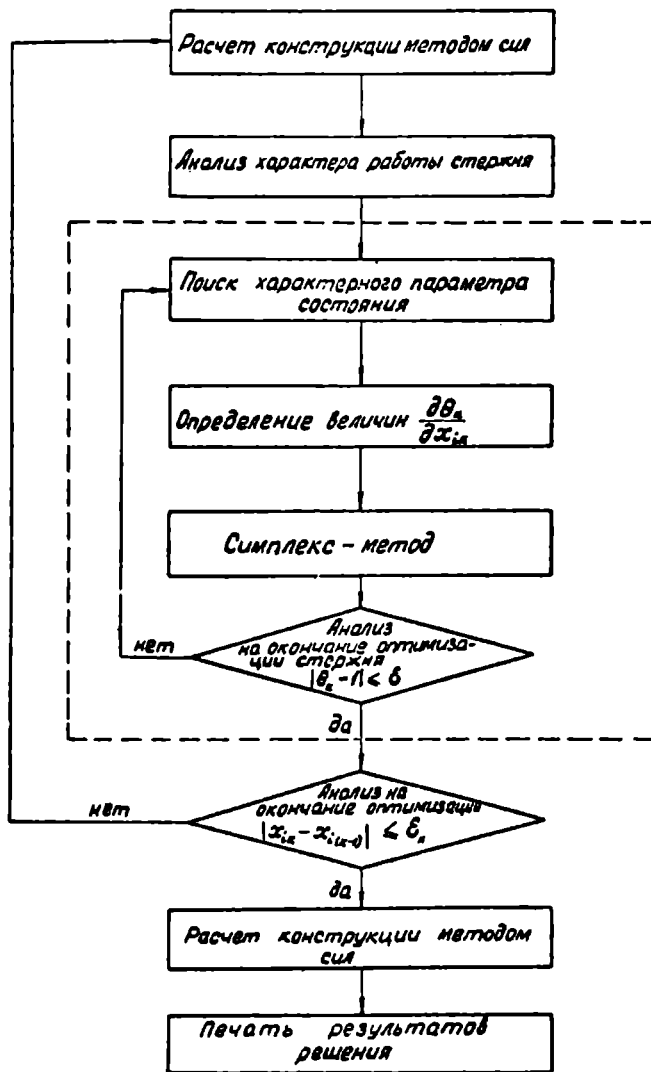


Рис 2. Блок-схема алгоритма поиска оптимальных размеров сечений.

минимального объема при одном и том же объеме материала.

64571a

Реализация алгоритма. В качестве объекта для решения реальной задачи оптимального проектирования выбран вагон для перевозки цемента постройки Крюковского вагоностроительного завода. Произведен анализ конструкции и прочности вагона по результатам эксплуатации и прочностных испытаний. Показано, что при достаточно высоком техническом уровне вагона отдельные узлы его требуют дальнейшего совершенствования. Так, поставочка косынок не является рациональным способом усиления наиболее нагруженного элемента вагона — шкворневой балки. Испытания показывают также, что напряжения в вертикальном участке торцовой стенки могут превышать допустимые. По результатам обследования вагонов в эксплуатации наблюдается появление трещин полок промежуточных стоек боковой стенки на уровне нижнего края обшивки и трещины нижнего края обшивки в районе средней стойки. Традиционные способы усиления приводят к увеличению веса конструкции и поэтому не являются рациональными.

В связи с этим предпринята попытка усовершенствования конструкции вагона путем выбора рациональной конструктивной схемы и решения задачи оптимального проектирования.

На первом этапе разработана уточненная расчетная схема (рис. 3), исследовано напряженное состояние и особенности работы конструкции вагона. (Для исследований на последующих этапах в расчетную схему дополнительно введены стержни 18, 20, 21, 27, 28). Определение внутренних усилий производилось методом сил. Установлено, что в отдельных элементах вагона расчетные напряжения существенно превышают допустимые, что

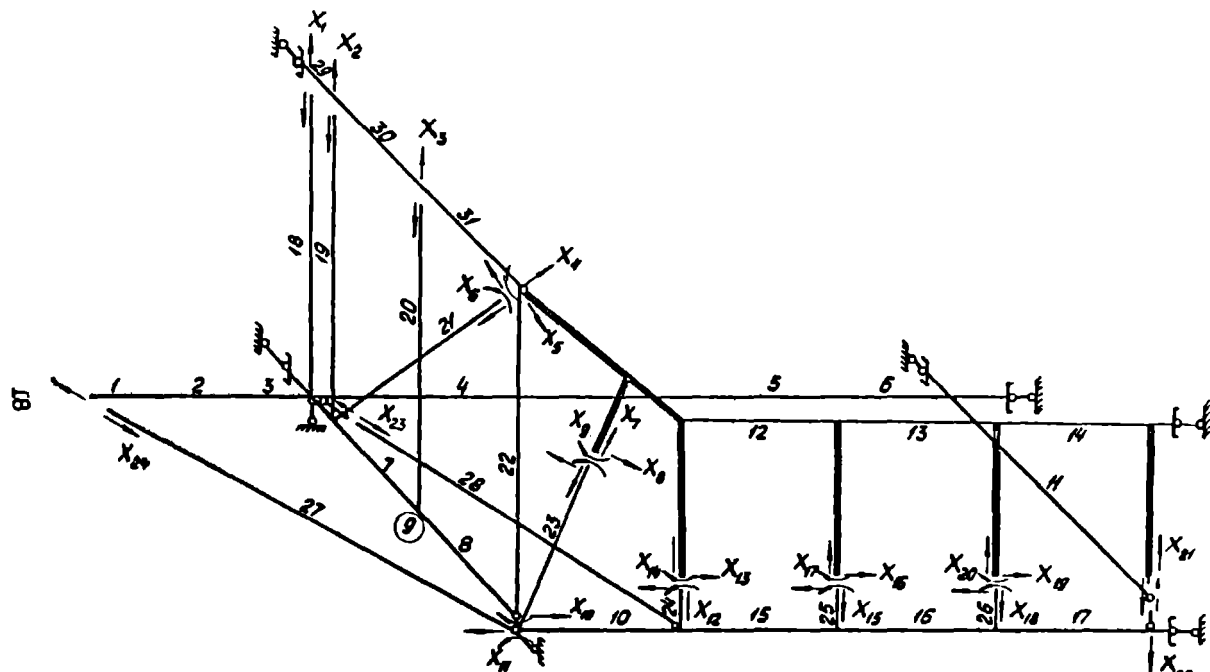


Рис. 3. Основная система, неизвестные и нумерация стержней при расчете вагона для перевозки цемента

может служить причиной появления повреждений. Например, в стержне 25 расчетные напряжения при третьем расчетном режиме составляют 328 МПа, тогда как допускаемые напряжения для этого режима равны 165 МПа. Появление таких высоких напряжений объясняется сдвигом обшивки относительно боковой балки рамы вследствие растяжения нижнего края обшивки от изгиба боковой стенки. Применявшиеся ранее при проектировании вагона расчетные схемы не были ориентированы на ЭВМ и не учитывали этой особенности конструкции в связи с высокой степенью статической неопределенности системы, недоступной для ручного счета. Разработка уточненной расчетной схемы и применение ЭВМ позволили провести более полный анализ напряженного состояния вагона.

Для оценки достоверности расчетной схемы произведено сопоставление расчетных и экспериментально замеренных напряжений. Установлено, что принятая расчетная схема достаточно полно отображает работу конструкции.

На втором этапе произведен выбор рациональной конструктивной схемы вагона на основе исследования влияния изменений конструктивной схемы на напряжения в элементах вагона. Критерием рациональности принято снижение напряжений в шкворневой балке и торцовой стенке, как в наиболее напряженных и ответственных элементах вагона. С этой целью последовательно рассмотрено четыре варианта конструктивной схемы (рис. 4). В первом варианте изменено количество и расположение стоек торцовой стенки: вместо двух установлены три из двутавра № 10 (стержни 18 и 20). Во втором варианте исследовано влияние на напряженное состояние шкворневой балки раскоса из двутавра № 10, установленного между шкворневой и хребтовой балками

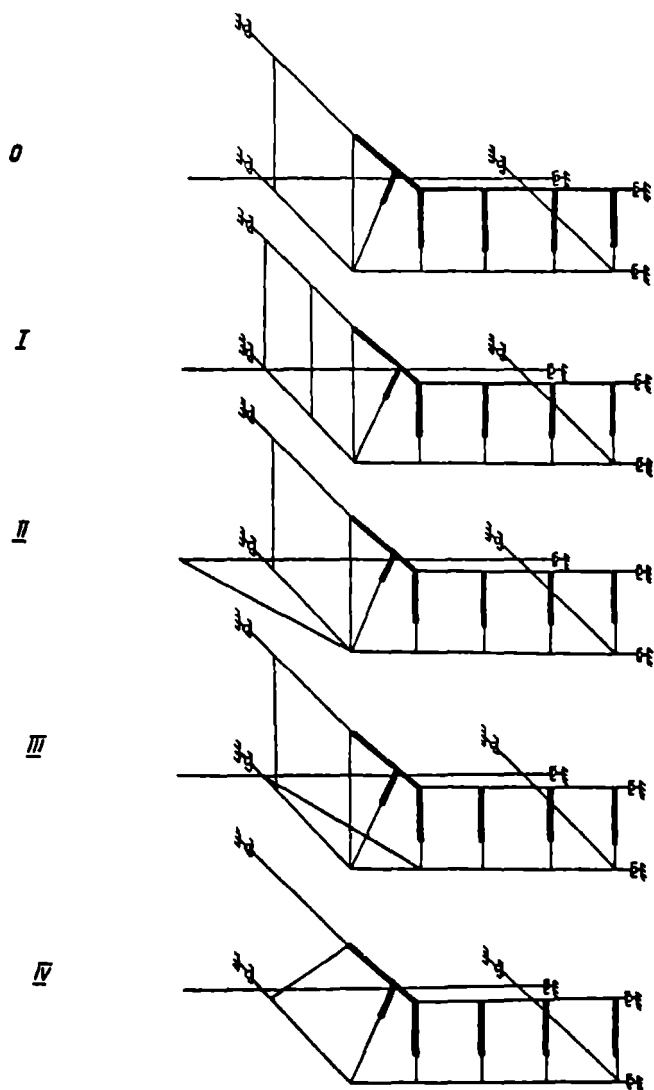


Рис.4. Варианты конструктивной схемы вагона для перевозки цемента

в консольной части вагона. В третьем варианте раскос из двутавра № 10 устанавливался между хребтовой и боковой балкой от шкворневого узла к первой промежуточной стойке. В четвертом варианте в конструктивной схеме вагона произведены следующие изменения: на торцевой стенке установлен раскос 21 из швеллера № 14, вместо стойки 19 из двутавра № 10 установлен уголок 50 x 50 x 5 для лестницы, шкворневая стойка 22 отменена, а раскос 23 выполнен из швеллера № 14 вместо двутавра № 10.

В результате исследования установлено, что наиболее рациональной по принятому критерию является конструктивная схема вагона, выполненная по четвертому варианту. Введение наклонных стоек-раскосов на торцовой стенке, передающих нагрузку от боковой стенки на шкворневый узел, позволяет уменьшить напряжения в шкворневой балке и торцовой стенке более, чем на 50%.

Государственный Комитет Совета Министров СССР по делам изобретений и открытий признал изобретением конструктивную схему вагона, выполненную по четвертому варианту.

На третьем этапе произведено решение задачи оптимального проектирования для выбранной конструктивной схемы. При этом, исходя из практики проектирования, определяющими для прочности элементов вагона приняты нормальные напряжения. Исходные размеры сечений назначались по конструктивным соображениям.

В результате решения задачи оказалось, что часть стержней вырождаются, а напряжения в остальных стержнях не превышают допустимых.

На основе результатов исследования рекомендовано нижний

обязочный угольник боковой стенки выполнять из гнутого профиля и соединить его с обшивкой стенки, исключив стержни 24, 25, 28. Раскосы 21 и 23, как основные элементы, выполнять из швеллера № 14, а стержень 19 — из уголка 50 х 50 х 5 мм для установки лестницы. При этом повышается прочность боковой стенки за счет соединения ее с нижним обязочным угольником и исключаются из конструкции вагона стержни, напряжений в которых превышали допускаемые. Снижение веса вагона составляет 300 кг.

Уменьшение нагрузки на шкворневую балку и торцовую стенку вагона за счет введения раскосов на торцовой стенке создает предпосылки для их дальнейшего облегчения. Вагоны для цемента с такими раскосами выпускаются Крюковским вагоностроительным заводом с 1977 года.

Основные рекомендации по результатам исследования реализованы в конструкции вагона для зерна. Боковая балка рамы соединена с обшивкой боковой стенки, шкворневые стойки изъяты, а на торцовой стенке вагона установлены раскосы из швеллера № 14, опирающиеся нижними концами на шкворневый узел. Как показали испытания, напряжения в элементах вагона не превышают допускаемых. По напряжениям, полученным при испытаниях, определены усилия в раскосах. Установлено, что при загрузке вагона полезной нагрузкой 0,65 Мн (65 т) раскосы принимают на себя нагрузку 0,096 Мн (9,6 т), а шкворневая балка 0,056 Мн (5,6 т). Следовательно, основная часть вертикальной нагрузки от боковой стенки передается непосредственно на пятник, а не на консоли шкворневых балок, что облегчает условия их работы.

Таким образом, результаты исследования позволяют заключить, что разработанный алгоритм поиска оптимальных размеров

сечений элементов подвижного состава может быть использован, как один из возможных подходов к решению задачи оптимального проектирования, доступный для применения при проектировании реальных конструкций.

Техническая и экономическая целесообразность внедрения. Техническая целесообразность внедрения доказана результатами испытаний опытного образца вагона. Экономическая эффективность от внедрения рекомендаций исследования на вагоне для зерна составляет 2057 тыс. рублей на программу выпуска 1977 года. Крюковский вагоностроительный завод в 1976 году приступил к серийному выпуску вагонов. С 1977 года вагоны выпускаются о Государственным Знаком качества.

ВЫВОДЫ

1. Изучено современное состояние и сформулирована задача оптимального проектирования конструкций подвижного состава. Показано, что сложность поставленной задачи и несимметричность сечений элементов затрудняют непосредственное применение существующих алгоритмов для ее решения и требуют разработки более удобной для практического применения процедуры поиска оптимальных размеров сечений.

2. Введено понятие характерного параметра состояния и сформулирована сопряженная задача оптимального проектирования, сводящаяся к поиску таких размеров сечений элементов конструкции, которые доставляют минимум ее характерному параметру состояния при заданном объеме материала.

3. Показано, что за исключением особых случаев характерный параметр состояния не имеет аналитического минимума, а следовательно, минимум характерного параметра состояния достигается на границе допустимой области. Сформулированы условия существования множества решений.

4. Построен процесс динамического программирования для решения сопряженной задачи минимума объема. Показано, что специфические свойства задачи позволяют существенно упростить процесс динамического программирования и свести его к систематическому решению задачи линейного программирования.

5. На основе проведенных исследований и способа характерных сечений разработан и реализован на ЭЦМ алгоритм поиска оптимальных размеров сечений элементов подвижного состава, доступный для применения в практике проектирования.

6. Разработана уточненная расчетная схема, исследовано напряженное состояние и выявлены особенности работы вагона для перевозки цемента постройки Крюковского вагоностроительного завода. Установлено, что расчетные и экспериментальные напряжения в отдельных элементах вагона могут превышать допустимые, и, следовательно, рассматриваемая конструкция вагона не является рациональной и нуждается в совершенствовании с целью повышения прочности.

7. Произведен расчет различных вариантов и выбрана рациональная конструктивная схема вагона, обеспечивающая снижение напряжений в наиболее ответственных элементах кузова и рамы вагона.

8. Поставлена и решена задача оптимального проектирования для выбранной конструктивной схемы вагона и определены

оптимальные размеры сечений его элементов.

9. На основе проведенных исследований выбраны рациональные размеры сечений элементов и разработаны конкретные рекомендации по совершенствованию конструкции вагона, позволяющие существенно повысить его прочность при одновременном снижении тары вагона.

10. Основные результаты исследования реализованы в конструкции вагона для перевозки зерна. Натурные испытания подтвердили рациональность принятых проектных решений, а производство таких вагонов освоено Крюковским вагоностроительным заводом. Экономический эффект в народном хозяйстве от внедрения результатов исследования на выпуск 2500 вагонов в расчетном году составляет 2057 тыс.руб.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Царапкин В.А., Бабаев А.А. Методика определения оптимальных параметров сечений стержневых систем вагонов. Труды Ташкентского института инженеров железнодорожного транспорта. Ташкент, 1972, вып. 82, с. 152-158.

2. Царапкин В.А. Оптимальные параметры сечений элементов четырехосного полувагона. Транспортное машиностроение. М., НИИИНФОРМТЯМАШ, 1973, №6, с. 32-35.

3. Царапкин В.А. Рациональная конструкция вагона для перевозки цемента. Транспортное машиностроение. М., НИИИНФОРМТЯМАШ, 1974, № 4, с. 20-25.

4. Царапкин В.А., Андрушин И.С. Результаты испытаний вагона для перевозки зерна. Транспортное машиностроение. М., НИИИНФОРМТЯМАШ, 1975, № II, с. 21-24.

5. А.с. 461010 СССР. Бункерный вагон для сыпучих грузов.
В.А. Царапкин и др. Заявл. 03.05.73 г. № 1919432/27-II;
опубл. 25.02.75 г. Бюллетень изобретений и открытий, № 7,
с. 38.

Царапкин Вадим Александрович

**"НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ
КАРКАСОВ РАМ И КУЗОВОВ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА "**

05.22.07 - Подвижной состав и тяга поездов.

Подписано к печати 26/IV 1979 г. БТ 61289.

Формат бумаги 60х84/16. Бумага для множительных аппаратов. Ротапринт.
Уол.печ.л. I,5. Уч.-изд.л. I. Тираж 100 экз. Заказ № 1107. Бесплатно.

ДИИТ, 320629, ГСП, г. Днепропетровск, 10, ул. Университетская, 2.

Сканировала Камянская Н.А.