

С С С Р — М П С

Днепропетровский институт

инженеров железнодорожного транспорта

---

Ю. Г. Амосов

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ  
НАГРУЗОК НА КРЫШКИ ЛЮКОВ  
ОТКРЫТОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА  
ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ МЕТАЛЛОПРОДУКЦИИ

Автореферат

диссертации на соискание учёной  
степени кандидата технических наук

Днепропетровск 1973

НТБ  
ДНУЖТ

**СССР - МПС**

**Днепропетровский институт  
инженеров железнодорожного транспорта**

---

**Инженер Амосов Юрий Георгиевич**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ  
НАГРУЗОК НА КРЫШКИ ЛЮКОВ ОТКРЫТОГО  
ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ  
МЕТАЛЛОПРОДУКЦИИ**

**/Специальность № 05.22.07 - Подвижной состав  
и тяга поездов/**

**/Диссертация написана на русском языке/**

**Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук**

**Днепропетровск  
1973**

**НТБ  
ДНУЖТ**

Днепропетровский институт инженеров железнодорожного транспорта направляет Вам автореферат диссертации инженера Ю.Г.Амосова.

Просим Вас и всех заинтересованных лиц Вашего учреждения принять участие в публичной защите диссертации или прислать свой отзыв в двух экземплярах, заверенных печатью учреждения по адресу: г.Днепропетровск - 10, ул. Университетская, 2, Институт инженеров железнодорожного транспорта.

Исследования, представленные в диссертационной работе проведены в 1961-1968 гг. Экспериментальная часть диссертации выполнена в лаборатории динамики и прочности подвижного состава, в лаборатории кафедры вагоны и вагонное хозяйство Днепропетровского института инженеров железнодорожного транспорта, а также на металлургических заводах Приднепровья и в опытных поездках на Приднепровской и Донецкой железных дорогах.

Научный руководитель кандидат технических наук, доцент И.М.Коротеев.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор П.В.Шевченко, кандидат технических наук, старший научный сотрудник А.А.Львов.

Ведущее предприятие /учреждение/ - Всесоюзный научно-исследовательский проектно-технологический институт вагоностроения /г.Кременчуг/.

Автореферат разослан \* 14 \* марта 1973 года

Защита диссертации состоится \* 27 \* апреля 1973 г. в 14<sup>30</sup> час. на заседании Ученого Совета Днепропетровского института инженеров железнодорожного транспорта /г.Днепропетровск, ул. Университетская, 2, ауд. 364/.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Ученый секретарь Совета,  
кандидат технических наук,  
доцент

/А.Ф.Логвин/

ИТЬ  
ДНУКТ

XXIV съезд Коммунистической партии Советского Союза поставил перед работниками железнодорожного транспорта задачу повысить эффективность труда, улучшить использование транспортных средств. Директивами съезда предусмотрено увеличить за пятилетие грузооборот на 22% и производительность труда на 23%.

Производство черных металлов возрастет на 28%, цветных - на 40%. Значительно изменится объем перевозок металлопродукции /цельнокатаных колес, штрипсов, блюмсов, слэбов, листовой стали в пачках, слитков и др./.

Продолжительное время перевозка металлопродукции согласно техническим условиям производилась только на платформах.

На крупных металлургических заводах ежедневно перерабатывается до двух тысяч полувагонов сырья. Для обеспечения плана отгрузки металла каждому такому заводу требуется свыше пятисот платформ и подать такое количество платформ ежедневно не представляется возможным. Заводы вынуждены отправлять металл продукции в полувагонах, предназначенных главным образом для перевозки сыпучих грузов и снабженных открывающимися крышками люков для саморазгрузки. На железных дорогах СССР в 1970 г. грузооборот только за счет перевозки черных металлов составил 198 млрд. ткм.

Перевозки в полувагонах изделий металлопродукции имеют специфические особенности. При погрузке грузов весом 0,43-10 т на крышки люков передаются значительные сосредоточенные или распределенные нагрузки по линии или поперек, вдоль или поперек геофронтальных выштамповок люка, кассету, площадку, а при перевозке колесных и гусеничных грузов и грузов сельскохозяйники, крышки получают нагрузки от колес, гусениц. В результате возникают иные условия взаимного действия груза с крышками люков по сравнению с нагрузками при перевозке сыпучих грузов. Нагрузки, приложенные на небольших участках крышки люка, могут вызвать высокие местные напряжения.

НТБ  
ДНУЖТ

Для расчета крышек люков /типа пластин/ в основном применялась классическая теория, опирающаяся на гипотезы Кирхгофа-Лява. Развитию и приложению классической теории расчета пластины посвящены работы отечественных исследователей Б.Г.Галеркина, П.В.Шевченко, С.Г.Леханиченко и зарубежных - М.Т.Губера и Е.Зейделя.

Расчету конструкции крышки люка при нагружении сыпучим грузом посвящена диссертация А.П.Горбенко. В этой работе крышка рассматривается как подкрепленная пластинка с точечным опиранием, которая рассчитывается с применением вариационного метода Лагранжа-Рунда. Модель крышки люка исследована поляризационно-оптическим методом.

В.Г.Дубровин, рассматривая задачу о расчете крышек люков для двух рабочих положений /груженое и разгруженое/ предлагает использовать метод конечных разностей для крышек, изготовленных из алюминиевого сплава марки АМг-6, при действии распределенной нагрузки на площади размером 25 x 25 см.

Однако вопрос о проверочных расчетах схем нагружки и оптимальных нагрузок при перевозке металлопродукции оставался открытым.

Более того, представление распределенной по всей поверхности крышки или сосредоточенной на площади центрального квадрата размером 25 x 25 см нагрузки корректное при сыпучих и кусковых грузах, далеко не отражает фактического нагружения при перевозке цельскокатяных железнодорожных колес, блюмсов, штрапсов, грузовых автомашин и прицепов на колесах.

Предметом данной диссертационной работы являются исследования оптимальных нагрузок на крышки люков полувагонов, обеспечивающих перевозку металлопродукции при полном использовании грузоподъемности, допускаемых норм напряжения и прогибов при движении в поездах со скоростью до 100 км/ч.

Исследования возможности перевозки металлопродукции в открытом подвижном составе /полувагонах/ при оптимальных нагрузках на крышки люков велась

НТБ  
ДНУЖТ

по трем направлениям: 1/ теоретический анализ, 2. моделирование процесса нагружения произвольной поперечной нагрузкой крышки люка полувагона на электрической модели стержневых систем, 3/ экспериментальное статическое и динамическое исследование надежности схем перевозок металлопродукции.

При перевозке металла подкладки рассредоточивают нагрузку и уменьшают возможность ее перераспределения при соударении полувагонов, а с другой стороны обеспечивают возможность механизированной погрузки и выгрузки грузов. В то же время на подкладки расходуется, примерно, до 5 млн. м<sup>3</sup> лесоматериала в год. В этих условиях решение вопроса выбора наиболее выгодного места расположения подкладок приобретает особую актуальность.

В эксплуатации полувагонов на сети дорог и в работе транспортных цехов металлургических заводов неоднократно возникали практические вопросы выбора наилучших схем погрузки металлопродукции. В данной работе в определенной мере нами восполнен этот пробел.

Работа состоит из введения, пяти глав, выводов, библиографии и приложения.

Первая глава работы посвящена выбору расчетной схемы и построению математической модели исследуемых вариантов нагружения крышек. В работе рассматриваются варианты нагружения крышек при перевозке металлопродукции, наиболее характерной для металлургических заводов Приднепровья. В связи с неоднородностью перевозимой металлопродукции по стандартным размерам и весу, конструкцией крышек воспринимающих нагрузки, в качестве расчетной схемы для проверочных расчетов схем погрузки была принята конструктивно-анизотропная пластина с ребрами подкрепления посредине или без них с опиранием контурного подкрепления в пяти точках на противоположных сторонах пластины.

Обычно расчет крышек люков открытого подбункерного состава на прочность от сосредоточенной и рассредоточенной нагрузки

деленной нагрузкой не охватывает всех разнообразных способов размещения металлопродукции в подштампах из-за неоднородности схемы нагружения. Нормы крепления и нагрузки грузов не всегда указаны с допускаемыми нагрузками, что может привести к перегрузке и повреждению крышек лочек.

Расчет листа крышки с гофрированными выштамповками на произвольное поперечное нагружение производится интегрированием дифференциального уравнения изгиба жестких пластинок

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = \frac{q(x, y)}{D} \quad (1)$$

где  $D$  - цилиндрическая жесткость,

$q(x, y)$  - закон распределения нагрузок.

Были найдены функции, удовлетворяющие дифференциальному уравнению - условиям опирания по контуру и подсчитаны внутренние усилия. Момент инерции гофрированного сечения листа крышки больше, чем момент инерции прямоугольного сечения.

Эта особенность учитывалась с помощью множителя  $\eta^2$ , показывающего во сколько раз отнесенный к единице длины момент инерции гофрированного сечения, больше отнесенного к единице длины момента инерции прямоугольного сечения. Задача исследования напряженного состояния крышки сводится к отысканию решения дифференциального уравнения для различных видов нагрузок  $q$ . Для каждой из нагрузок: сплошной распределенной, частично распределенной по узкой полосе или линии поперек или вдоль гофров, одной или двух сосредоточенных выведены формулы для расчета внутренних усилий в крышке с учетом специфики нагружения металлопродукцией. Изгиб и кручение листа рассматривается отдельно от контурного подкрепления. Вместе с тем лист крышки, контурное подкрепление и средние усиливающие балочки образуют единую систему.

Проверочный расчет крышек люков на произвольное поперечное нагружение при одновременной деформации всех элементов крышки рассмотрен с использованием электронных цифровых машин.

При решении задачи устойчивости крышек люков пользуемся энергетическим методом.

Полная энергия системы равна

$$\mathfrak{E} = V - W, \quad /2/$$

где  $V$  - полная энергия изгиба и кручения элементов крышки люка;

$W$  - работа внешних сил распределенных -  $q$ , сосредоточенных -  $P$

Выражение для работы внешних сил имеет вид

$$W = \sum \int_0^a \int_0^b q w dx dy + \sum P_i w_i \quad /3/$$

Полная энергия изгиба и кручения элементов крышки равна

$$\begin{aligned} V = & \frac{1}{2} \int_0^a \int_0^b [D_y \left( \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right)^2 + 2 D_{xy} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + D_x \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right)^2 + 4 D_k \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right)^2] dx dy + \\ & + \sum \frac{E J_{\text{изг}}}{2} \int_0^b \left( \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right)^2 dy + \sum \frac{E J_{\text{круч}}}{2} \int_0^a \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right)^2 dx + \sum \frac{E J_{\text{изг}}^{(d)}}{2} \int_0^b \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right)^2 dy + \\ & + \sum \frac{E J_{\text{круч}}^{(d)}}{2} \int_0^a \left( \frac{\partial^2 w}{\partial y \partial x} \right)^2 dx + \sum \frac{E J_{\text{изг}}^{(w)}}{2} \int_0^b \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right)^2 dy + \sum \frac{E J_{\text{круч}}^{(w)}}{2} \int_0^a \left( \frac{\partial^2 w}{\partial y \partial x} \right)^2 dx. \end{aligned}$$

/4/

Исходным материалом служат геометрические характеристики крышки люка /ширина крышки -  $b$ , длина крышки -  $a$ , жесткость при изгибе листа, соответственно, в направлении образующих гофра, перпендикулярном образующим гофра -  $D_x$   $D_y$

жесткость при кручении листа -  $D_k$ , моменты инерции сечения контурных и усиливающих балок при изгибе -  $J$ , кручении  $J^{(d)}$  и главный секториальный -  $J^w$ , индекс порядкового номера балок -  $i, j$ , индексы вдоль и поперек полувагона -  $l, m$  и значения модуля упругости и сдвига -  $E, G$ , коэффициент Пуассона -  $\mu$ .

Для проверочных расчетов схем загрузки особенно эффективно использование выражения функции  $w$  аппроксимирующей изогнутую упругую поверхность крышки лodka, предложенного П.В.Шевченко и другими. Выражение удовлетворяет граничным условиям в точках опоры крышки, где прогиб равен нулю. После подста-

$$w = C_{00} \frac{y}{b} \left[ 1 - \cos \frac{4\bar{l}(x-c)}{a-2c} \right] + C_{10} \left( 1 - \frac{y}{b} \right) \left[ 1 - \cos \frac{2\bar{l}(x-d)}{a-2d} \right] + \left[ C_{20} \frac{x}{a} + C_{30} \left( 1 - \frac{x}{a} \right) + \sum_{m=1,3,5,\dots}^{\infty} C_{m0} \sin \frac{m\bar{l}x}{a} \right] \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \sin \frac{n\bar{l}y}{b}$$

новки  $w$  в равенство /3/ и /4/ получаем полную энергию системы как функцию неизвестного параметра, при котором потенциальная энергия принимает минимальное значение.

$$\frac{\partial (V-W)}{\partial C_{ik}} = 0. \quad (i = 0, 1, 2, 3, \dots, m)$$

Используя вариационное уравнение Лагранжа получаем система совместных, линейных уравнений относительно неизвестных  $C_{ik}$

$$\left. \begin{aligned} \delta_{0,0} C_{00} + \delta_{0,1} C_{10} + \delta_{0,m} C_{m0} &= \Delta_{00}; \\ \delta_{1,0} C_{00} + \delta_{1,1} C_{10} + \delta_{1,m} C_{m0} &= \Delta_{10}; \\ \delta_{m,0} C_{00} + \delta_{m,1} C_{10} + \delta_{m,m} C_{m0} &= \Delta_{m0} \end{aligned} \right\} /5/$$

Каждый из коэффициентов  $S_{i,2}$  выражает воз-  
можную работу реактивных сил, соответствующих  
одной единичной функции, на перемещениях, отве-  
чающих другой единичной функции. Грузовые члены  
найлены по выражениям, зависящим от внешней  
нагрузки. Система уравнений вида /5/ легко програм-  
мируется и решается на ЭЦВМ. Находим  $\omega$

Вычисление грузовых членов и единичных коэффи-  
циентов производится по формулам:

$$\Delta_{00} = q \frac{y_2^2 - y_1^2}{2b} \left[ x_2 - x_1 - \frac{a \cdot 2c}{4l} \left( \sin \frac{4\pi(x_2 - c)}{a - 2c} - \sin \frac{4\pi(x_1 - c)}{a - 2c} \right) \right];$$

$$\Delta_{10} = q \left( y_2 - y_1 - \frac{y_2^2 - y_1^2}{2b} \right) \left[ x_2 - x_1 - \frac{a \cdot 2d}{2l} \left( \sin \frac{2\pi(x_2 - d)}{a - 2d} - \sin \frac{2\pi(x_1 - d)}{a - 2d} \right) \right];$$

$$\Delta_{20} = - \frac{q b (x_2^2 - x_1^2)}{2a \pi n} \left( \cos \frac{n\pi y_2}{b} - \cos \frac{n\pi y_1}{b} \right);$$

$$\Delta_{30} = - \frac{q b}{\pi n} \left( x_2 - x_1 - \frac{x_2^2 - x_1^2}{2a} \right) \left( \cos \frac{n\pi y_2}{b} - \cos \frac{n\pi y_1}{b} \right); \quad /8/$$

$$\Delta_{mn} = \frac{q a b}{\pi^2 m n} \left( \cos \frac{m\pi x_2}{a} - \cos \frac{m\pi x_1}{a} \right) \left( \cos \frac{n\pi y_2}{b} - \cos \frac{n\pi y_1}{b} \right).$$

$$\begin{aligned} S_{m,m} = & \frac{\pi^4 b}{4a^3} D_x m^4 - \frac{\pi^4}{2ba} m^2 D_x \mu n^2 + \frac{\pi^4 a}{4b^3} D_y n^4 + \frac{\pi^4 m^2}{ab} D_k n^2 + \\ & + \frac{\pi^4}{2b^3} \sum_1^i (E J_{bq} - B'' D_y) \sin^2 \frac{m\pi x_{bq}}{a} n^4 + \frac{\pi^4 m^2}{2a^3 b} \sum_1^i G J_{cq}^{(d)} \cos^2 \frac{m\pi x_{cq}}{a} n^2 + \\ & + \frac{\pi^6 m^2}{2a^2 b^3} \sum_1^i E J_{cq}^{(\omega)} \cos^2 \frac{m\pi x_{cq}}{a} n^2 + \frac{\pi^4 m^4}{2a^3} \sum_1^j (E J_{\text{ПОПЕРЕЧ}} - b' D_x) \sin^2 \frac{m\pi y_{\text{ПОПЕРЕЧ}}}{b} n^2 + \\ & + \frac{\pi^4 m^2}{2ab^2} \sum_1^j G J_{\text{ПОПЕРЕЧ}}^{(d)} \cos^2 \frac{n\pi y_{\text{ПОПЕРЕЧ}}}{b} n^2 + \frac{\pi^6 m^4}{2a^3 b} \sum_1^j E J_{\text{ПОПЕРЕЧ}}^{(\omega)} \cos^2 \frac{n\pi y_{\text{ПОПЕРЕЧ}}}{b} n^2; \end{aligned}$$

где  $v^I, v^{II}$  - величины приведенной ширины листа, включаемой в расчетное сечение поперечных и продольных балок;

$X_1, X_2, Y_1, Y_2$  - координаты внешней распределенной нагрузки от металлопродукции витевальностью  $q$ ;

$a, b, c, d$  - геометрические размеры крыши лота;

$X_{вд}, Y_{попереч}$  - координаты контурных подкреплений и средних усиливающих балок.

Зная функцию прогибов  $\omega$  вычисляются изгибающие моменты и другие силовые факторы. В результате расчета на ЭЦВМ определяются силовые факторы и напряжения для листа, контурных и усиливающих балок.

Наибольшие нормальные напряжения в гофрах листа /середина пролета от центра валика опорной петли до точки середины толщины опорной закладки/ находилась по выражению

$$\sigma_n = \frac{0,104 M_y}{W} + \mu \frac{6 M_x}{h} \quad 17/$$

а касательная напряжения

$$\tau_{xy} = \frac{6 H_{xy}}{h^2}; \quad \tau_{xz} = \frac{6 Q_x}{4h}; \quad \tau_{yz} = \frac{0,104 Q_y S_2}{J_2 h} \quad 18/$$

В листе над подкреплениями вычислялись суммарные напряжения, как пластинки и верхних волокон, приведенной ширины листа, замкнутого сечения балки. Напряжения для подкреплений, подверженных равнораспределенному действию крутящих моментов, определялись по формуле:

$$\sigma'_{max} = \frac{M_{max}}{J_x} y_{max} + \frac{B_{max}}{J_\omega} \omega_{max} \quad 19/$$

где  $B$  - величина наибольшего бимоента,  $z \cdot \text{см}^2$

$$\sigma_{\text{max}} = \frac{m}{k^2} \left[ 1 - \frac{1}{\frac{chkl}{2}} \right] , \quad /10/$$

а  $K$  - упругая изгибно-крутильная характеристика, см

$$K = \sqrt{\frac{G J_d}{E J_{\omega}}} . \quad /11/$$

Нормальные секторные напряжения составили 44% от общих напряжений и 78% от нормальных напряжений изгиба.

Максимальные касательные напряжения складываются из касательных напряжений поперечного изгиба, секторных, чистого кручения.

$$\tau_{\text{max}} = \tau_x + \tau_{\omega} + \tau_{\text{кр}} ; \quad /12/$$

Последнее слагаемое формулы отлично от нуля в том случае, когда поперечная нагрузка не проходит через центр изгиба.

Изгибно-крутильный момент

$$M_{\omega \text{ нагб}} = - \frac{msh \frac{kl}{2}}{kch \frac{kl}{2}} , \quad /13/$$

Изгибные жесткости ребер определены за вычетом произведения ширины листа, вошедшего в расчет характеристики тонкостенных стержней открытого или замкнутого сечения, на цилиндрическую жесткость пластины. Наибольшее значение в данном случае имеют касательные напряжения чистого кручения.

По стиснутой методике расчеты выполнялись для случаев полной загрузки полувагонов грузом /62 т/, а также при действии на крышку со средней обвязкой из стали 08Г2 поперечных нагрузок 4,5 т и 8,9 т

по III расчетному режиму, предусмотренному "Нормами расчетов вагонов на прочность".

Достоверность расчета проверена путем постановки специальных экспериментов, в результате которых получено удовлетворительное совпадение с расчетом. В табл.1 приводится сравнение результатов аналитического и экспериментального исследования напряжений в крышке люка с одной усиливающей балочкой при перевозке листовой стали в пачках при нагружении по линиям вдоль всех гофрированных выштамповок.

Проверочные расчеты прогибов крышки люка если температурная функция имеет вид  $T = T / z$  / выполнены по методике П.М.Варвака.

В работе получены формулы для определения температурных прогибов гофрированного листа крышки люка при погрузке горячей металлопродукции

$$\omega_1 = \omega_3 = \frac{\sqrt{2}}{2} (-c_1 \operatorname{ch} \beta y + c_2 \operatorname{ch} \gamma y) + \frac{3\lambda^2 M_T}{2D}, \quad /14/$$

$$\omega_2 = c_1 \operatorname{ch} \beta y + c_2 \operatorname{ch} \gamma y + 2\lambda^2 \frac{M_T}{D}, \quad /15/$$

где 
$$\beta = \frac{\sqrt{2+\sqrt{2}}}{\lambda}, \quad \gamma = \frac{\sqrt{2-\sqrt{2}}}{\lambda} \quad /16/$$

Для определения постоянных  $C_1$  и  $C_2$  использовались граничные условия:

$$y = \pm \frac{b}{2}; \quad \omega_k = 0, \quad (k=1,2), \quad /17/$$

которые затем подставлялись в выражения для  $\omega_1, \omega_2$  и  $\omega_3$ . Получена система алгебраических уравнений, численное решение которой при расчетах выполнено на ЭВМ. Показано, что при допущении отсутствия нагрева крышек, в расчет вносится погрешность

НИИ  
ДНУЖТ

Нормальные напряжения в кг/см<sup>2</sup>, возникающие  
в расчетных сечениях шестигрфровой со средней обвязкой крышки люка  
и прогибы в мм при поперечной нагрузке 4,5 и 8,9 т от листовой стали  
в пачках

Таблица 1

Нагрузка 4,5 т

Сечения, обозначающие № точек	5	6	29	30	31	32	37	38	39	42	43	44	45	46
Средние измеренные напряжения	530	260	310	20	390	70	280	190	-310	980	-60	60	-140	560
Средний прогиб под нагрузкой	4,5													
Суммарные расчетные напряжения от кручения и растяжения или сжатия	455	225	265	17	335	60	325	165	-265	840	-65	50	-120	480
Расчетный прогиб под нагрузкой	4,4													
Нагрузка 8,9 т														
Сечения, обозначающие № точек	5	6	29	30	31	32	37	38	39	42	43	44	45	46
Средние измеренные напряжения	1000	425	580	130	600	120	660	360	-550	1710	-120	300	-200	860
Средний прогиб под нагрузкой	8,1													
Суммарные расчетные напряжения от кручения и растяжения или сжатия	945	370	560	115	575	85	629	345	-515	1640	-115	275	-180	745
Расчетный прог. 3 под нагрузкой	8,0													

ДНТБ  
ДУЖТ

до 14-16%. При других законах распределения температур во толщине крышки и подкреплений можно ожидать значительно больших погрешностей. Поэтому необходимо учитывать при проверочных расчетах крышек люков их работу при повышенных температурах.

Воздействием ударной нагрузки от металлопродукции, нередко является причиной повреждения или разрушения крышек люков при погрузочно-выгрузочных операциях. В работе графически установлены зоны длительной и ограниченной выносливости крышек люков при внезапном приложении поперечной нагрузки.

Во второй главе с целью отработки методики исследования на электрической модели, а также для приближенной оценки напряженного состояния конструкции крышек применялась приближенная расчетная схема. Для составления программы расчета использовалась методика, предложенная автором. Крышка люка моделировалась дважды:

на основе аналогии между уравнениями в конечных разностях метода сеток для задачи изгиба пластины и уравнениями метода перемещений для плоской стержневой системы создана стержневая модель с фиктивными единичными состояниями;

на основе аналогии между уравнениями метода перемещений для стержневой модели и уравнениями электрической цепи создана электрическая модель, соответствующая единичным состояниям и параметрам стержневой модели.

Крышки люков, расчетные схемы которых приводятся к стержневым системам, целесообразно моделировать на основе метода перемещений. Дифференциальное уравнение изогнутой срединной поверхности жесткой пластины можно представить в виде двух уравнений

$$\nabla^2 M = \frac{\partial^2 M_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M_y}{\partial y^2} = -q, \quad (18)$$

$$\nabla^2 \omega = \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} + \mu \frac{\partial^2 \omega}{\partial y^2} = -\frac{M_x}{D}$$

НТБ  
ДНУЖТ

где  $\omega = \omega(x, y)$  - функция прогибов см, положительная при направлении вниз;

$D$  - цилиндрическая жесткость кгсм;

$q(x, y)$  - интенсивность внешней распределенной нагрузки, кг/см<sup>2</sup>;

$M_x, M_y$  - изгибающий момент соответственно вокруг оси  $Y$  и  $X$  на единицу длины сечения крышки перпендикулярного оси, кгсм/см;

$$\nabla^4 \omega = \nabla^2 \nabla^2 \omega; \nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \text{ - двумерный оператор Лапласа;}$$

$M$  - приведенный момент.

Рассмотрена крышка люка под действием нагрузки распределенной по закону плоскости, проходящей через кромку листа.

В области интегрирования функций  $M$  и  $\omega$  выбрана прямоугольная сетка с произвольным числом равных интервалов

$$\lambda = \frac{a}{4} \quad \text{и} \quad \varepsilon = \frac{b}{8} \quad \text{где} \quad \alpha = \frac{\lambda^2}{\varepsilon^2} \quad \text{при} \quad a=144, \quad b=158 \text{ см.}$$

Приводится пример расчета допустимых нагрузок на крышку люка полувагона при загрузке её распределенной нагрузкой. Расчеты прогибов крышек на модели ЭМСС показали, что пренебрежение кручением листа крышки приводит к погрешностям порядка 16%.

В третьей главе произведена оценка несущей способности крышек люков для условий перевозки металлопродукции. Здесь учитывались допустимые напряжения, деформации /прогибы/, допустимые запасы прочности. Расчетные статические напряжения принимались исходя из пределов допустимых напряжений и коэффициентов вертикальной динамики, обусловленных нормами для расчетов на прочность вагонов колес 1520 мм.

По заданию МПС исследованы для пяти крышек люков пятьдесят пять схем загрузок. Сосредоточенная в разных местах или распределенная нагрузка на крышки люков передавалась, когда: а/ две подкладки рас-

положены на крышке на расстоянии не менее 700 мм друг от друга параллельно оси полувагона; б/ одна подкладка расположена посредине крышки параллельно оси полувагона; в/ подкладки расположены на крышке поперек и параллельно оси полувагона в ярус; г/ подкладки уложены на крышки поперек полувагона; д/ автомобиль колесами устанавливался на крышках без подкладок.

Исследования прочности крышек люков проводились на специальном стенде. Для получения всевозможных вариантов нагружения использовалась вертикальная передвижная рама с рельсовыми балочками и гидравлические домкраты с протарированными манометрами. Регистрация показаний датчиков производилась электронным автоматическим измерителем деформаций АИ-100М. Индикаторами часового типа измерялись прогибы крышки люка под нагрузкой. Для сравнения пяти типов крышек проведены 378 опытов и более 78 тысяч записей относительных деформаций.

По результатам стендовых испытаний по каждому варианту передачи нагрузки и данным таблиц построены графики зависимости между наибольшими измеренными напряжениями и величинами приложенных сил. Зависимость между напряжениями и силами на каждом графике изображена двумя лучевыми линиями, соответствующими неблагоприятному /линия 1/ и благоприятному /линия 2/ случаям действия нагрузок.

Для сопоставления несущей способности крышек применительно к заданной схеме загрузки графики сгруппированы на рис.1. Горизонтальными линиями

$\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  или  $\sigma_2$ ,  $\sigma_2^1$  и т.д. показан уровень допускаемых напряжений. Нижние горизонтальные линии  $\sigma_1$ ,  $\sigma_1^1$  соответствуют  $\sigma = 1100 \text{ кг/см}^2$  для стали СТЗ по ГОСТ 380-50. Тележки МТ50,  $V = 80 \text{ км/час}$ . Средние линии  $\sigma_3$ ,  $\sigma_3^1$  соответствуют  $\sigma = 1340 \text{ кг/см}^2$ .

приняты как средние напряжения из трех значений. Верхние горизонтальные линии  $\sigma_2$ ,  $\sigma_2^1$  соответствуют  $\sigma = 1625 \text{ кг/см}^2$ , как средние из двух значений напря-

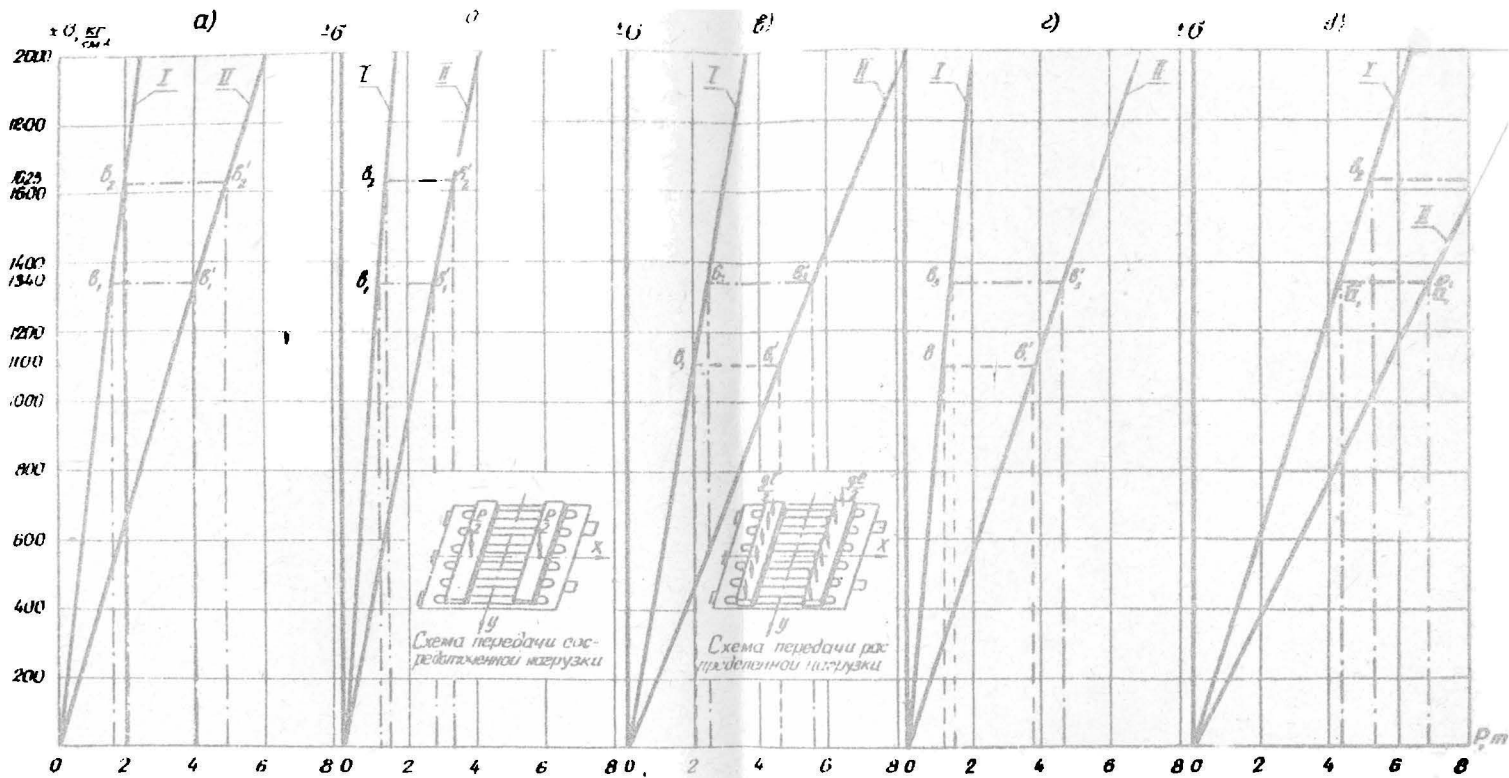


Рис. 1. Графики изменения напряжений в зависимости от величины нагрузки для крышек локоп-полувагонов:  
 а) шестигорбкой с двумя усиливающими балочками (тип I); б) шестигорбкой с двумя усиливающими балочками (тип II); в) девятигорбкой; г) шестигорбкой без усиливающих балочек; д) шестигорбкой с одной усиливающей балочкой:

--- тележка МТ-50,  $V=80$  км/ч,  
 --- { тележка ЦНИИ ХЗ-0,  $V=100$  км/ч;  
 --- { тележка " "  $V=80$  км/ч

ДНУЖТ

жений. Опуская перпендикуляры из точек пересечения этих горизонтальных линий с наклонными лучевыми линиями I или II, например из точек  $v_1$ ,  $v_1'$  на ось абсцисс, находили величины допускаемых нагрузок на соответствующую крышку при неблагоприятном и благоприятном способе их приложения. Сопоставляя допускаемые нагрузки для типовых конструкций крышек при одинаковых вариантах их загрузки, оценивали их несущую способность.

Рассмотрены сравнительные данные о несущей способности крышек, если нагрузка передавалась через две подкладки, уложенные поперек гофров на расстоянии 700 мм друг от друга. Графики показывают, что для шестигофровых крышек /рис.1, а, б/ с двумя усиливающими балочками и без них /рис.1, г/ линии I идут примерно под одинаковыми углами наклона к оси абсцисс. Опуская перпендикуляры из точек  $v_1$ ,  $v_2$  на ось абсцисс получили допускаемую сосредоточенную нагрузку на крышке  $P=1,2-1,8$  т, для девятигофровой /рис. 1, в, тележки ЦНИИ-ХЗ-О/  $P=2,2$  т, а для шестигофровой с одной усиливающей балочкой /рис.1, д точки  $v_1$ ,  $v_2$ /  $P=4,2-4,8$  т. Наиболее слабой оказалась крышка тип II - шестигофровая с двумя усиливающими балочками /рис.1, б, точка  $v_2$ , линия II/  $2ql=3,2$  т. Наибольшей несущей способностью обладает шестигофровая крышка с одной усиливающей балочкой  $2ql=7$  т.

Из графиков изменения напряжений для случаев передачи сосредоточенной и распределенной нагрузок через одну подкладку, расположенную посредине крышек установлено, что наиболее слабой оказывается шестигофровая крышка без усиливающей балочки. Ее несущая способность равна в пределах 1-2 т /линия I, точка  $v_1$ , и линия II, точка  $v_3$ /. Наибольшей несущей способностью, при передаче нагрузки через одну подкладку, обладает шестигофровая крышка с одной усиливающей балочкой  $P=2,4-7$  т.

Аналогичные графики изменения напряжений в зависимости от величины нагрузки разработаны применительно к тридцати пяти схемам загрузки.

Установлено, что применение большого количества

деревянных подкладок, укладываемых в ярус не способствует повышению норм допускаемых нагрузок на крышу по сравнению с загрузкой крыши через одну или две подкладки, укладываемые поперец гофров. Несущая способность крышек люков при передаче нагрузки через подкладки, уложенные вдоль гофров снижается.

Если определять нагрузку на крышу по допускаемым напряжениям  $1100 \text{ кг/см}^2$  /тележки МТ-50,  $V = 80 \text{ км/час}$ /, то согласно графикам их величины при нерациональном размещении одной подкладки равны  $P = 0,4 - 0,6 \text{ т}$ , а при рациональном размещении подкладки  $P = 0,5 - 0,7 \text{ т}$ . Однако, для других типов крышек, при рациональном размещении подкладок несущая способность резко возрастает и равна  $4,2 - 8,0 \text{ т}$ .

Применяя две подкладки и располагая их на крышках ближе к осям запорных механизмов, можно достигнуть существенного увеличения их несущей способности. По графикам установлено, что допускаемая нагрузка получается в пределах от  $3,8$  до  $8$  и более тонн. Составляя графики, замечено, что во-первых, при передаче нагрузки через одну подкладку для получения большей грузоподъемности крыш важно правильно выбрать место её расположения; во-вторых, применение двух подкладок значительно повышает грузоподъемность крышек всех рассмотренных конструкций.

При изменении места приложения сосредоточенных сил в направлении от середины к окрестности жесткого контура крышки можно достигнуть увеличения несущей способности в среднем на  $12\%$ . При симметричном относительно оси  $У$  расположении двух сосредоточенных нагрузок по сравнению с одной в центре крышки, несущая способность возрастает в полтора раза. Несущая способность увеличивается при загрузке крышки нагрузкой, распределенной через две подкладки поперец гофров по сравнению с двумя сосредоточенными, приложенными через подкладку на оси  $Х$  симметрично относительно оси  $У$  в  $1,6$  раза.

На 24% повышается несущая способность крышки с увеличением площади центрального прямоугольника с размером 250 x 1100 мм до 850 x 1100 мм при нагружении распределенной нагрузкой. Отмеченное характерно для всех крышек.

Шестигофровая крышка, выпускаемая Уралвагонзаводом, с одной усиливающей балочкой в рассмотренных случаях приложе 14 см обладает наибольшей несущей способностью. Как правило, сосредоточенные нагрузки вызывают значительное понижение несущей способности крышек.


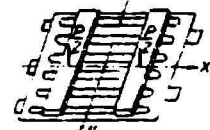
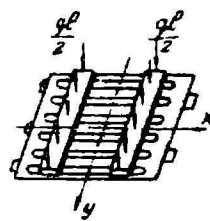
Анализ графиков определения допускаемых нагрузок на конструкции крышек из одинакового материала показал, что существенной разницы в нагрузках обусловленной скоростями движения поезда 80 и 100 км/ч не получается, в то же время схема нагружки, тип тележки оказывают большое влияние на несущую способность.

Грузовые автомашины и прицепы при нагрузке в полувагоны колесами устанавливают на крышки люков в любом месте. Опытная проверка несущей способности типовых крышек проводилась путем нагружения их имитированным колесом диаметром 850 мм с шириной обода 200 мм. Установлено, что при таком нагружении за пределами загруженной площади деформация весьма незначительна. Несущая способность крышки зависит от того, в какое место опертó колесо. Допускаемая нагрузка может находиться в пределах от 1,5 до 3,9 т.

На нагрузку и крепление грузов прежде предусматривалась только нагрузка от сыпучего груза на крышку люка четырехосного полувагона 4,3 т. По нашим предложениям перечень норм нагрузок крышек расширен. Для шестiosных и восьмiosных полувагонов установлена распределенная нагрузка на крышку не более 6 т, сосредоточенная не более 1,5 т и т.д. Однако, на наш взгляд требуется дальнейшее упорядочение норм нагрузок на крышки люков.

Допускаемые нагрузки по узлам и деталям гру-

Таблица 2

Схема передачи нагрузки на крышку	Конструкция крышки	Место приложения нагрузки	Допустимая нагрузка $P$ в т/м на элемент покрытия			Распределенная нагрузка $q$		Объемные нагрузки $Q$ в т/м <sup>3</sup>		
			тележка			платформа		платформа		
			MT-50	MT-60	MT-80	MT-50	MT-60	MT-80	MT-50	MT-60
			50	60	80	>60	>60	>60	>60	
			Нагрузка сосредоточенная							
	б-газробал с двумя усилителями балочными - тип I	между 3 и 4 газробалами	16	19	19	22	27	36	44	
	также - тип II	между 1 и 2 газробалами	11	13	13	15	18	24	29	
	в-газробал	между 3 и 4 газробалами	20	24	24	28	37	45	60	
	б-газробал без усилителей балочными - тип I	между 3 и 4 газробалами	11	13	13	15	18	24	29	
	б-газробал с двумя усилителями балочными	между 3 и 4 газробалами	4,3	5,3	5,1	6,0	>6,2	9,7	>10,0	
			Нагрузка распределенная							
	б-газробал с двумя усилителями балочными - тип I		4,0	5,0	4,8	5,6	>6,2	9,0	>10,0	
	также - тип II		2,0	3,4	3,3	3,9	4,6	6,3	7,4	
	в-газробал		4,6	5,7	5,5	>6,2	>6,2	>10,0	>10,0	
	б-газробал с двумя усилителями балочными		3,0	4,7	4,5	5,3	6,3	8,6	10,1	
	б-газробал с одной усилителем балочным		7,0	>8,0	>8,0	>6,2	>6,2	>10,0	>10,0	

зовых вагонов нормируются в зависимости от типа тележек /технические условия табл. 4,5,6/. В то же время, в допускаемых нагрузках на крышки люков влияние типа тележек пока не учитывается. Целесообразно при оценке несущей способности деталей и узлов грузовых вагонов иметь единый подход, включая и крышки люков полувагонов. При таком подходе достигается наилучшее использование грузоподъемности вагонов. Схемы погрузок и допускаемые нагрузки на крышки приведены в табл.2. Выбор величины допускаемых нагрузок на крышки люков рекомендуется производить по указанным схемам с учетом использования грузоподъемности вагонов.

Например, если исходить из условий наилучшего использования грузоподъемности полувагона и обеспечения сохранности крышек, то достаточно принять схему загрузки /слева/ и взять процент использования грузоподъемности полувагона крайний столбец /справа/ легко оценить целесообразность данной схемы погрузки. Схемы погрузок, дающие наилучшее использование грузоподъемности четырехосного полувагона имеют в правом столбце таблицы соответствующие отметки 100% и больше, очерчены прямоугольником. Такие оптимальные схемы погрузок должны считаться "обязательными". Схемы погрузок, когда грузоподъемность полувагона используется на уровне 95% и ниже следует рассматривать как "возможными". Они могут применяться лишь в случаях, когда перевозка грузов по ним диктуется специфичекими условиями. Следует иметь в виду, что когда схема погрузки оценивается нами приемлемой по условиям прочности крышек люков, то это значит, что она отвечает и условиям прочности по всем элементам рамы и кузова полувагона.

В четвертой главе исследованы схемы /см. рис. 2/ перевозки металлопродукции: цельнокаташих железнодорожных колес, листового проката, прямоугольных и квадратных заготовок, листовая сталь в рулонах в полувагонах. Схемы отличаются друг от друга спосо-

НТБ  
ДНУЖТ

бом передачу нагрузки.

Из рассмотренных схем перевозки только в двух случаях: /рис.2, б, в/ нагрузка распределяется по всей длине гофрированных выштамповок крышек люков по площади пола.

В первой схеме рис.2,а крышей вагона без подкладок порожки размещены 146 желтокатанных железнодеревянных колес диаметром 350 мм на крышках люков /11 шт./ при их перевозке в полувагонах. Нагрузка на отдельные крышки оказывается на 10-15% выше нормы.

По трем последующим схемам осуществлялась перевозка листового проката с шириной листа от 1250 до 1800 мм и длиной от 1250 до 5500 мм /рис.2,б,в,г/. При расположении пакетов по схеме рис.2,б нагрузка распределяется примерно равномерно по площади пола. Пакеты при ширине более 1400 мм укладываются в один ряд вдоль хребтовой балки в 2-3 яруса. При погрузке нельзя перегружать среднюю часть вагона рис.2,г, следует перевозить как это показано на рис.2,а с догрузкой металла над тележками в 2-3 яруса. Погрузка листовых пакетов с преимущественным расположением всей нагрузки между шкворцевыми балками вызывает большие напряжения хребтовой балки 1400 кг/см<sup>2</sup>. Такая схема погрузки не может быть рекомендована.

По пятой и шестой схемам /рис.2,в,д/ осуществлялась перевозка слябов размером 800х2650 мм в 3 яруса, в первом и третьем ярусе по одиннадцать слябов и во втором - девять слябов и передают нагрузку примерно по всей площади пола или при частичном загрузке крышек люков вдоль гофрированных выштамповок. По этой же схеме осуществлялась перевозка слябов с деревянными подкладками. Напряжения при погрузке слябов без подкладок незначительно отличались от напряжений при погрузке на подкладках попеременно всех гофров. Подкладки почти не изменяли распределения нагрузок. Перевозка слябов по рассмотренным схемам погрузка может быть рекомендована.

НТБ  
ДНУЖТ

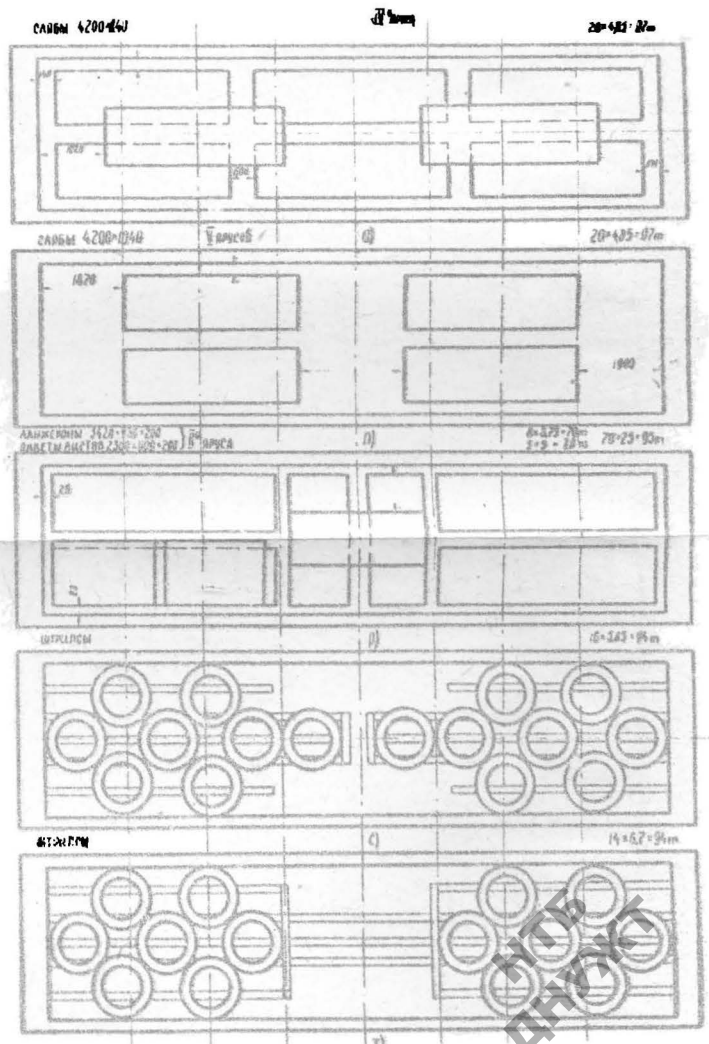
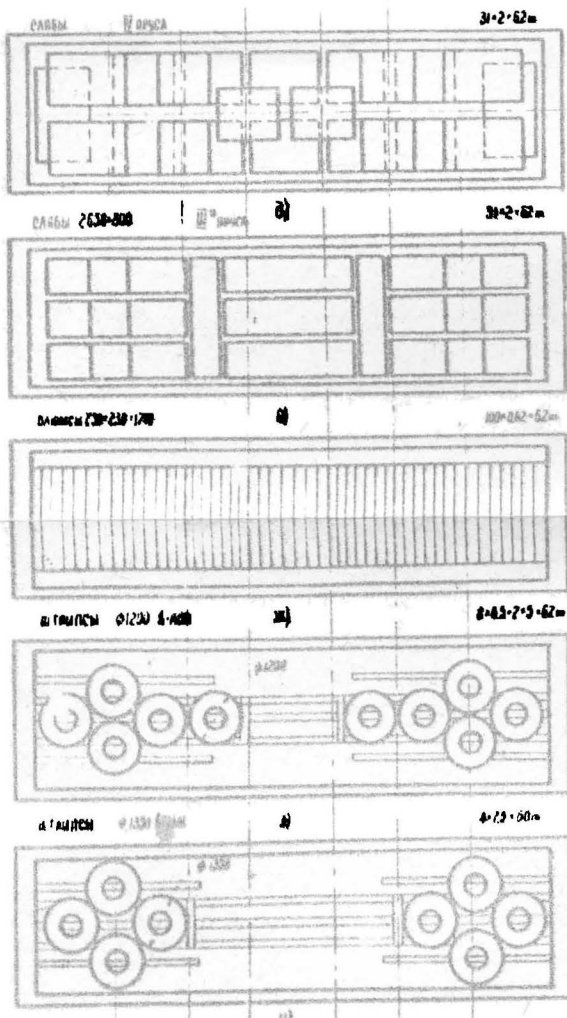
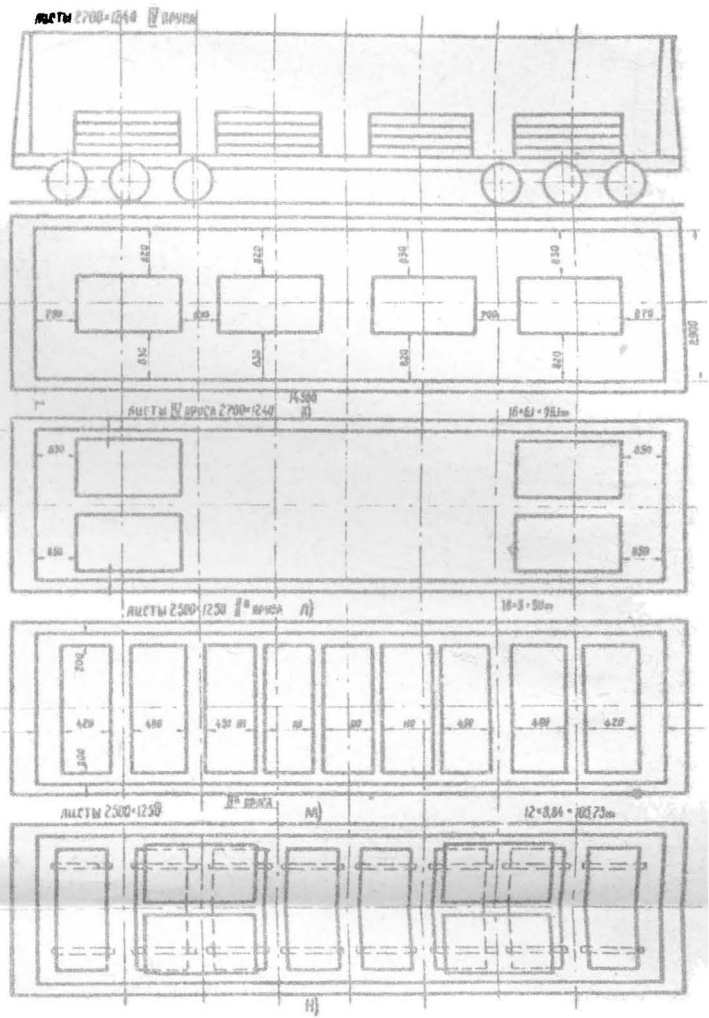
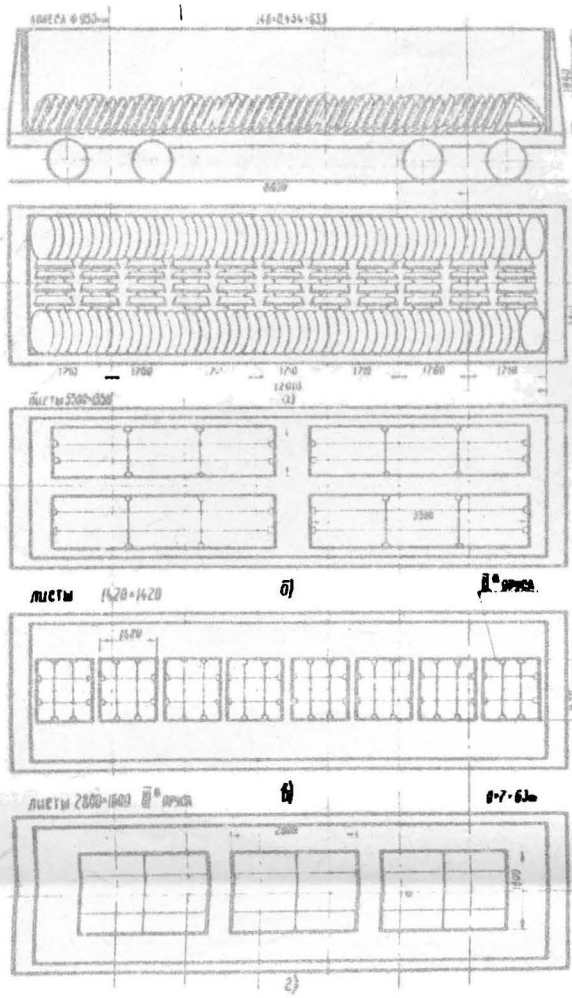


Рис.2. Схемы перевозки металлопродукции.

По седьмой схеме осуществлялась перевозка бляхосов в два - три яруса, примерно, совпадала с погрузкой листового стали вдоль хребтовой балки. По восьмой и девятой схемам осуществлялась перевозка штрипсов: 10 штрипсов /рис.2,з/ и 8 штрипсов /рис.2,и/. Все штрипсы опирались на нижерисованные хребтовую и поперечные балки вблизи шкворневой опоры. При таком расе дожении штрипсов на крышки люков передается незначительная часть веса груза, а основная нагрузка передается элементам рамы.

На рисунке справа показаны схемы перевозки металлопродукции в шестисосных полувагонах. По схеме рис.2,к,д,м,н погружены пакеты листового металла, по схеме рис.2,о,п - слэбы, рис.2,р - даждероны и пакеты листов, а по схеме 2,с,т - штрипсы. Приведены результаты экспериментальных исследований, подтверждающие пригодность полувагонов по условиям прочности крышек люков для предлагаемых схем перевозки металлопродукции.

Произведена проверка устойчивости металлопродукции и сохраняемости схем погрузки в условиях соударения груженых полувагонов во время движения, роспуска полувагонов на сортировочных горках, трогания, осаживания и при торможениях поездов.

Изучению подвергались размеры перемещений металлопродукции в условиях, которые могут существенно изменить распределение нагрузки по крышкам люков и по полувагону в целом.

Исследования показали, что в поездных условиях размеры сдвига грузов от своих первоначальных отметок незначительны. Устойчивость грузов и сохраняемость схем погрузки в поездах обеспечивалась. Наибольшие сдвиги грузов происходят при соударении вагонов.

Предложены зависимости перемещения грузов  $\bar{S}$  мм от скорости соударения полувагонов  $V$  км/ч которые имеют следующие соотношения:

$$\begin{aligned} \bar{\Sigma}_{\text{пн}} &= 61,5 + 51,2 \text{ V} && - \text{ промасленные пакеты;} \\ \bar{\Sigma}_{\text{хп}} &= 47,7 + 31,4 \text{ V} && - \text{ холоднокатаные пакеты;} \\ \bar{\Sigma}_{\text{с}} &= -62 + 28,6 \text{ V} && - \text{ слябы.} \end{aligned} \quad /19/$$

Коэффициенты корреляции  $\bar{Z} = 0,264$  для промасленных листовых пакетов;  $\bar{Z} = 0,371$  для холоднокатаных листовых пакетов;  $\bar{Z} = 0,495$  для слябов. Проверка с помощью  $t$  - критерия показала, что с доверительной вероятностью 0,9-0,999 эти корреляционные связи являются существенными. Наиболее неустойчивыми против сдвигов оказались пакеты промасленной листовой стали. В целях исключения перегрузки осей и тележек, в случае сдвигов пакетов стали, рекомендовано в схемах погрузки предусматривать, чтобы сумма продольных зазоров между пакетами была не более  $1/8$  базы полувагона.

В работе установлены для крышек люков зависимости средних добавок динамических напряжений  $\text{кг/см}^2$  от скорости движения поезда  $\text{км/ч}$ . Аппроксимация с помощью метода наименьших квадратов на ЭЦВМ "Днепр" опытных данных позволила представить эти зависимости аналитически.

Для цельнокатаных колес, перевозимых в полувагонах на девятигофровых крышках при скорости 60-80  $\text{км/час}$  /16,7-22,2  $\text{м/сек/}$

$$\Delta \bar{G}_g = 0,00508V^2 + 4,28V - 101; \quad /20/$$

для блямсов, перевозимых в полувагонах на шестигофровых с двумя усиливающими балочками крышках при скорости 50-70  $\text{км/час}$  /15,3 - 19,5  $\text{м/сек/}$

$$\Delta \bar{G}_g = 0,016V^2 + 3,24V - 52,4; \quad /21/$$

для штрипсов, перевозимых в полувагонах на шестигофровых с одной усиливающей балочкой крышках при скорости 75-100  $\text{км/час}$  /20,8-27,8  $\text{м/сек/}$

$$\Delta \bar{G}_g = 0,0000042V^2 + 5,63V - 244,1 \quad /22/$$

при корреляционном отношении 0,56-0,58.

Из уравнений можно с достаточной точностью определить для указанных типовых крышек значения динамических добавок напряжений в зависимости от скорости при перевозке металлопродукции. Максимальное значение  $K_{дв}$  при перевозке металлопродукции при скорости 70-100 км/ч составляет 0,4 исключая перевозку штрипсов.

На основе исследований при перевозке металлопродукции обоснованы следующие положения:

1. Перевозка железнодорожных колес в полувагонах с размещением их на крышках люков без подкладок из лесоматериала допустима. Наибольшие суммарные напряжения в крышке составляли  $1350 \text{ кг/см}^2$ .

2. Перевозка в полувагонах листовой стали в пачках весом 4,3 т без подкладок из лесоматериала может быть разрешена. Наибольшее напряжение в гофре крышки составляло  $820 \text{ кг/см}^2$ , при прогибе 8-7 мм. При погрузке этих же пакетов на коротких подкладках, которые не опираются на все гофры в крышке возникают напряжения до  $1500 \text{ кг/см}^2$ , при прогибе до 14 мм.

Специальные опыты по перевозке листовой стали в пачках весом 10 т показали, что при опирании пачка на две крышки так, что нагрузка передается через один брусок поперек всех гофров на середину каждой крышки напряжения достигали  $1600 \text{ кг/см}^2$ . Погрузка по этой схеме недопустима.

3. Перевозка стали для проката прямоугольного сечения /слябов/ по рассмотренным в работе схемам может быть разрешена без применения подкладок из лесоматериала. При опирании слябов весом 5 т на подкладки из лесоматериала, лежащие на поперечных балках, напряжения в крышках составляли  $220 \text{ кг/см}^2$ . При погрузке слябов на крышки без усиливающих балочек напряжения составляли  $800 \text{ кг/см}^2$  при прогибе середины крышки 5 мм, а при погрузке на крышки с усиливающими балочками не превышали  $500 \text{ кг/см}^2$ .

4. При погрузке стали для проката квадратного сечения /блумсов/ размером  $230 \times 230 \times 1710$  или

НТБ  
ДНУЖТ

1420 мм и размещения её по оси хребтовой балки при частичном загрузке крышки люка напряжения в ней не превышали  $860 \text{ кг/см}^2$ . Погрузка бldмсов вносле донустима без применения подкладок.

5. Специальные опыты погрузке листовой стали в рулонах /штрипсов/ без подкладок на середину крышки люка, нагрузка передается по круговому кольцу большого радиуса вдоль части длины гофрированных выштамповок. При погрузке штрипса весом 3,7 т на середину крышки с усиливающими балочками напряжения составили  $570 \text{ кг/см}^2$  при прогибе 4,8 мм.

Штрипсы большого веса при смещении от середины поперечной балки вызывают высокие статические напряжения -  $1970 \text{ кг/см}^2$ , поэтому штрипсы, которые не могут быть размещены симметрично по осям балок к перевозке в открытом подвижном составе с крышками люков не рекомендуются.

В пятой главе приведен расчет экономической эффективности от увеличения оптимальной нагрузки на крышку люка и сокращения расхода пиломатериалов для подкладок при погрузке и перевозке металлопродукции по нашим предложениям по сравнению с временными техническими условиями.

Годовая экономия от перевозки металлопродукции с учетом оптимальных нагрузок по нашим предложениям составила 1,4 млн.рублей.

На заводах грузят эти виды металлопродукции по исследованным схемам погрузки, одобренным и утвержденным МПС, а на сети железных дорог перевозят.

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. В работе выполнены теоретические и экспериментальные исследования оптимальных нагрузок на крышки люков при различных схемах погрузки и перевозки металлопродукции в открытом подвижном составе. Основные рекомендации по допускаемым нагрузкам в эффективных схемах погрузки в полувагоны внедрены при перевозке цельнокатаных колес, листовых пакетов, слэбов, блюмов, рулонной листовой стали на железных дорогах и в транспортных цехах металлургических заводов. Рекомендации по нормативным величинам допускаемых нагрузок на крышки люков приняты МПС, а схемы перевозки включены в технические условия.

2. Причиной недостаточной точности способа расчета крышек люков открытого подвижного состава, подкрепленных пластин с гофрированными выштамповками, является неполный учет нагрузок от перевозимых грузов, а также температурных сжимающих напряжений при погрузке горячей металлопродукции. Напряжения стесненного кручения элементов крышки люка и прогибы при высоких температурах должны учитываться в расчетах.

3. Оценку напряженного состояния крышек люков в пределах упругих деформаций при ударах наиболее удобно производить через статические напряжения, при нагружении грузом равным весу ударяющей массы, умноженные на коэффициент динамики. Найденный расчетным путем коэффициент динамики составил 1,8. В работе установлены безопасные с точки зрения прочности высоты падения металлопродукции при внезапном приложении поперечной нагрузки к крышкам люков.

4. Разработана методика проверочного расчета крышек полувагонов с использованием моделирующих машин типа ЭМСС при действии произвольной поперечной нагрузки, позволяющая наиболее полно оценивать прочность крышек. Преимущества методики очевидны

при решении вопроса с наиболее целесообразном размещении перевозимой металлопродукции. Возможность перехода от одного варианта расчета за короткое время к другому и сопоставления вариантов позволит улучшить использование грузоподъемности открытого подвижного состава.

5. Построены графики, дающие возможность легко найти границу допустимой области нагрузок на крышку с учетом характера принятых ограничений: заданное статическое напряжение /материал крышки/, тип тележки, схема нагружения и другое. Пользуясь заранее разработанными таблицами можно выбирать оптимальную схему нагрузки на крышку люка при стопроцентном использовании грузоподъемности полувагонов. В таблице рекомендовано целесообразное размещение подкладок, позволяющее повысить допустимые нагрузки на крышки.

6. Опытные данные и эмпирические зависимости, полученные в работе, могут быть использованы для определения величины перемещения различных видов металлопродукции в зависимости от скорости соударения полувагонов. Для исключения перегрузки осей

тележек в случае сдвигов металлов следует в схемах нагрузки предусматривать, чтобы сумма продольных зазоров между накатами была равна не более  $1/3$  длины базы полувагона.

Исследования динамических напряжений в крышках люков открытого подвижного состава при перевозке металлопродукции показали, что принятые в расчет при нормировании коэффициенты вертикальной динамики удовлетворительно согласуются с данными норм для расчетов на прочность и проектирование механической части новых и модернизируемых вагонов железных дорог МПС тонаж 1520 мм /несамоходных/, исключая шпиритсы. Месторасположение крышки на базе открытого подвижного состава незначительно влияет на величину  $K_d$ . Максимальное значение  $K_d$  для перевозке металлопродукции /скорость 50-100 км/ч

составляет 0,4.

8. Технико-экономические исследования показали экономическую эффективность применения оптимальных нагрузок и схем погрузки на крышки люков и сокращения расхода пиломатериалов для подкладок при перевозке металлопродукции.

Аналитические и экспериментальные исследования в эксплуатационных условиях позволили выбрать наиболее целесообразные варианты размещения металлопродукции при перевозке в открытом подвижном составе. Основные рекомендации по применению оптимальных нагрузок на крышки и схем перевозки металлопродукции в открытом подвижном составе одобрены МПС и во многих случаях учтены при составлении технических условий погрузки и крепления грузов. Диссертационная работа содержит 150 страниц, приложение, 33 таблицы, 78 рисунков. Перечень литературы включает 110 названий.

Основные положения диссертации опубликованы в работах:

1. Лазарян В.А., Коротеев И.М., Харитонов А.А., Амосов Ю.Г. Исследование напряженного состояния крышек разгрузочных люков полувагона. Серия "Вагоны и вагонное хозяйство", ЦНИИТЭИ МПС, вып.43, Москва, 1968.
2. Амосов Ю.Г., Бруякин В.К. К вопросу о нормах допускаемых нагрузок на крышки разгрузочных люков полувагонов. Тезисы докладов первой республиканской конференции молодых ученых - железнодорожников, Днепропетровск, 1969.
3. Амосов Ю.Г. Исследование величин допускаемых нагрузок на крышки разгрузочных люков полувагонов и применение модели ЭМСС-7 к их расчету. Материалы 13-й научно-технической конференции УЭМИИТ, Свердловск, 1968.
4. Амосов Ю.Г., Бруякин В.К. Напряженно-деформированное состояние крышек разгрузочных

люков, анизотропные гофрированные пластины, при перевозке различных видов грузов. Тезисы докладов первой республиканской конференции молодых ученых - железнодорожников, Днепропетровск, 1969.

8. Коротеев И.М., Харитонов А.А., Амосов Ю.Г., Дуганов А.Г. Исследование напряженного состояния крышек разгрузочных люков полувагонов. Труды ДИИТа, вып.85, Днепропетровск, 1969.

**Материалы диссертации  
доложены:**

1. На первой республиканской конференции молодых ученых - железнодорожников. ЦК ЛКСМУ, ДИИТ, НТО Приднепровской ж.д., Днепропетровск, февраль 1969.

2. На 13-й научно-технической конференции УЭМИИТа с участием инженерно-технических работников Свердловской и Южно-Уральской железных дорог, Уральского отделения ЦНИИ МПС, Уралвагон-завода на совместном заседании секции строительной механики расчета железнодорожных конструкций, вагоностроения и ремонта вагонов. Свердловск, март 1969.

3. На ученом семинаре кафедр механического факультета вагонного факультета университета общественного прогресса Приднепровской области имени Ленина железной дороги при доме техники. Днепропетровск, ноябрь 1970, декабрь 1972.

4. На юбилейной научно-технической конференции Днепропетровского института инженеров железнодорожного транспорта, декабрь 1972.

Некоторые разделы диссертации включены в отчеты:

1. Полувагон шестисный, грузоподъемностью 93-95 т., унифицированный с кузовом усиленной конструкции. Раздел статические и динамические испытания

тания полувагона при перевозке в нём различных видов новой металлопродукции. Работа по теме № 48 выполнялась по приказу МПС № М-17086, Днепрпетровск, 1963.

2. Определение нормативных величин, допускаемых нагрузок на отдельные элементы четырехосных полувагонов при загрузке их различными грузами.

Работа по теме 210 выполнялась проблемной лабораторией динамики и прочности подвижного состава и кафедрой "Вагоны и вагонное хозяйство" по приказу МПС 6Ц от 17.2.67 и 36Ц от 10.10.67. Днепрпетровск, 1967, 1968.

Сканировала Юнаковская В. В.

---

БТ 23940. Подписано к печати 2/III 1973 г. Заказ № 25  
Тираж 150 экз. Объем 2,0 л.л. Три вклейки.  
Ротапринт ДИИТа.  
Днепропетровск, 10, Университетская, 2.