

МПС—СССР

**ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ИНСТИТУТ
ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
им. Л. М. КАГАНОВИЧА**

Кандидат технических наук, доцент

Я. Н. ГАРКАВИ

**О РАСПРЕДЕЛЕНИИ НАПРЯЖЕНИЙ
В БРУСКОВЫХ РАМАХ ПАРОВОЗОВ**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

на соискание ученой степени доктора технических наук,
представленной в Московский электромеханический
институт инженеров транспорта

1950 год

НТБ
ДНУЖТ

2151

МПС—СССР

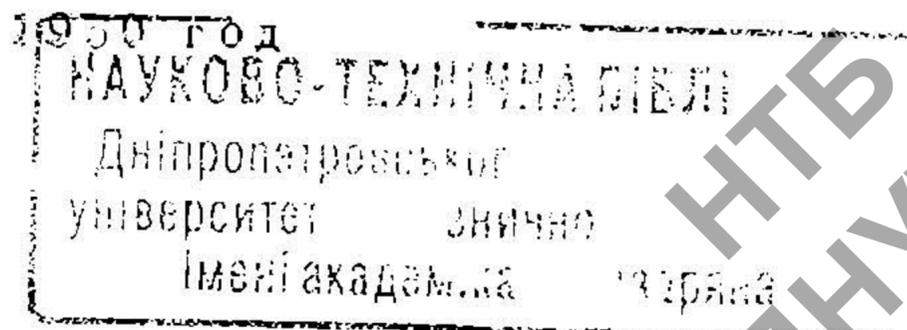
ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ИНСТИТУТ
ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
им. Л. М. КАГАНОВИЧА

Кандидат технических наук, доцент
Я. Н. ГАРКАВИ

О РАСПРЕДЕЛЕНИИ НАПРЯЖЕНИЙ
В БРУСКОВЫХ РАМАХ ПАРОВОЗОВ

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

на соискание ученой степени доктора технических наук,
представленной в Московский электромеханический
институт инженеров транспорта



Днепропетровская областная типография. Зак. № 7729–100. ВТ 09024.

1¹/₄ печ. листа 40.000 знаков в 1 печ. листе.

Подписано к печати

ДНУЖТ

Работа по исследованию напряженного состояния в брусковых паровозных рамах состоит из двух частей:

1) О распределении напряжений в брусковых рамах паровозов;

2) К вопросу о распределении напряжений в брусковых рамах паровозов.

Первая часть объемом 130 страниц закончена автором в 1947 году и содержит следующие главы:

I. Исследования работы брусковых рам и методы их конструирования.

II. Исследование напряжений в прозрачных моделях брусковых рам методом фотоупругости.

III. О напряжениях в рамах паровозов.

Вторая часть объемом 60 страниц закончена в январе 1950 года и содержит следующие главы:

I. Исследование напряжений в прозрачных моделях рамного полотнища с помощью метода полос.

II. Исследование напряженного состояния в стальных моделях полотна рамы с помощью метода покрытий.

III. Испытание стальных моделей полотна брусковой паровозной рамы на усталость.

Содержание первой части работы автора кратко сводится к следующему.

Брусковая рама современного магистрального паровоза состоит из двух полотнищ, обычно из прокатной стали 5, толщиной 125—140 мм каждое, высотой до 900 мм и длиной свыше 12 метров *).

Оба полотнища связаны рядом массивных поперечных креплений из стального литья. В головной части рамы к полотнищам ее жестко крепятся блочные цилиндры паровой машины, хвостовая часть соединяется с упряжными приборами. Паровой котел опирается на раму рядом опор.

*) Чертежи рам приводятся в учебниках, например, в курсе паровозов коллектива авторов под редакцией С. П. Сыромятникова, Москва 1937, стр. 214.

Полотно рамы снабжается буксовыми вырезами для букс ведущих осей и междуосевыми облегчающими вырезами больших размеров. Буксовые вырезы снизу закрываются плотно посаженными на специальные выступы полотна (каблучки) буксовыми струнками, также из стали 5, которые крепятся болтами, гайками, контргайками и клиньями к полотну рамы.

Рамное полотно, благодаря вырезам, напоминает по конструкции многостержневую безраскосную ферму, состоящую из коротких брусков, переменного по высоте поперечного сечения, жестко соединяющихся между собой в узлах. У самых коротких брусков отношение длины бруска к высоте среднего поперечного сечения равно 2,2. Эти бруски расположены над буксами. У остальных брусков указанное отношение больше 5.

Технология изготовления рамного полотна заключается в следующем: из прокатной плиты требуемой толщины вырезаются автогеном контуры полотна и все вырезы, затем заготовка отжигается в печи, правится под прессом и обрабатывается на станках.

В паровозах встречаются также полотна из стального литья. При изготовлении их не требуется автогенной резки внешних и внутренних контуров. Однако, и они подвергаются при изготовлении отжигу в печи и правке под прессом.

Теоретическими и экспериментальными исследованиями доказано, что основной нагрузкой на брусковую раму паровоза является продольная сила давления пара на крышки цилиндров паровой машины, попеременно растягивающая и сжимающая каждое полотно. Наиболее нагруженный участок полотна рамы заключается между осью цилиндра и первым буксовым вырезом включительно, считая от цилиндра паровой машины. Силы давления пара на крышки цилиндров достигают большой величины, например, для паровоза серии ФД она равна 52900 кг.

Методы конструирования брусковой рамы крайне примитивны. Майнеке (Германия) рассчитывает поперечное сечение полотна в первом буксовом вырезе на простое растяжение от силы давления пара на переднюю крышку цилиндра P , раскладывая эту силу по закону рычага на две составляющие — в надбуксовой части сечения и в буксовой струнке.

Допускаемые напряжения при таком расчете берутся низкими: 200—400 кг/см², причем большие значения назначаются для буксовых струнок.

Экзержиан (США) рассчитывает полотно, как сплошной лист (без вырезов), на внецентренное растяжение силой P , учитывая различные расстояния от центров тяжести поверяемых поперечных сечений полотна до горизонтальной плоскости, содержащей ось цилиндра. Расчет носит характер поверочного, причем нормальные напряжения в наиболее удаленных от центров тяжести поперечных сечений слоях достигают около 600 кг/см².

Широко применяются также чисто эмпирические нормалы для размеров поперечных сечений полотнищ различных иностранных заводов, составленные на основе выполненных конструкций.

В эксплуатации паровозов нередки случаи возникновения трещин усталости в наиболее нагруженных головных участках полотна рамы, что и привлекает к вопросам определения напряжений в рамах научные учреждения и отдельных исследователей.

В 1938 году А. А. Попов (СССР) впервые предположил, что полотно рамы есть стержневая система с жесткими узлами и произвел расчет рамы паровоза серии ФД при действии продольной нагрузки P . Благодаря неудачно выбранной расчетной схеме, в которой крепление буксовых струнок к полотну принято шарнирным, Попов получил непомерно большие нормальные напряжения в буксовых струнках (2472 кг/см²), что выше предела усталости материала буксовых струнок. Так как буксовые струнки редко рвутся, то это обстоятельство вызвало сомнение в правильности основного предположения Попова.

А. В. Сломянским (СССР) разработан и проверен экспериментально метод расчета брусковой рамы паровоза со снятыми буксовыми струнками на подъемку паровоза на домкратах во время подъемочного ремонта.

При снятых струнках раму приближенно считают неразрезной балкой.

В 1940 году закончены динамические испытания рамы паровоза серии ФД, весьма тщательно проведенные Центральным научно-исследовательским институтом (ЦНИИ) Министерства путей сообщения СССР с помощью электротензометров и осциллографов. Эти испытания показали, что

нормальные напряжения в различных точках полотна рамы невелики, ниже 300 кг/см^2 , распределяются по длине брусков крайне неравномерно, и не дают объяснения причин возникновения трещин усталости в рамах. Напряжения в различных точках оказались знакопеременными с почти симметричным циклом.

Динамическими испытаниями полностью опровергнуты положения, принятые в расчетах по способам Майнеке и Экзержиана. Однако, общей картины распределения напряжений получено не было, так как напряжения могли быть измерены лишь в отдельных, произвольно выбранных, точках.

Поэтому авторы динамических испытаний в заключении указывают дальнейший этап исследования работы брусковой рамы: исследование распределения напряжений методом фотоупругости.

Это исследование и было сделано автором настоящей работы.

Из целлулоида и органического стекла изготовлены модели полотна рамы в $1:25$ и $1:20$ натуральной величины. Модели снабжены съемными моделями буксовых струнок из того же материала, что и модель полотна. Буксовые вырезы заполнены упрощенными моделями букс из органического стекла.

Для сопоставления результатов измерения напряжений в грузеных прозрачных моделях, по совету академика А. Н. Динника, изготовлена также модель полотна рамы из органического стекла с односвязным контуром, т. е. без облегчающих вырезов. К этой модели также были подогнаны модели буксовых струнок и модели букс.

Прозрачные модели нагружались продольной растягивающей нагрузкой, имитирующей силу давления пара на переднюю крышку цилиндра паровоза.

Определение распределения напряжений методом фотоупругости нами было разбито на две серии опытов:

1) определение распределения напряжений в прозрачных моделях полотна рамы с закрепленными моделями буксовых струнок, что соответствует нормальному состоянию экипажной части паровоза, и

2) то-же для прозрачных моделей с незакрепленными буксовыми струнками при различных способах посадки буксовых струнок на каблучки—напряженной, скользящей, свободной с большим зазором и т. д.

В первой серии опытов модели струнок подвязывались к полотну рамы нитками.

Исследование распределения напряжений производилось на установке „спаренные призмы“ конструкции лаборатории оптического метода Ленинградского государственного университета с помощью компенсатора Краснова.

В результате этих опытов получен ряд диаграмм распределения наибольших касательных напряжений по контурным точкам моделей и по точкам внутри контура. Определены также знаки главных напряжений на контуре моделей.

Исследования показали, что только лишь для модели полотна без облегчающих вырезов, т. е. односвязной, с закрепленными буксовыми струнками, элемент полотна над буксой, а также и буксовая струнка, подвергаются почти осевому растяжению, как это предполагается при расчете полотна рамы по Майнеке. Во всех же остальных случаях главные напряжения в наружных и внутренних слоях по середине указанных элементов разных знаков. Следовательно, надбуксовые элементы и буксовые струнки подвергаются одновременно растяжению и изгибу, как элементы стержневой системы.

Наибольшей величины напряжения, как правило, получались по середине брусков, но не в узлах, где несколько брусков соединяются вместе.

Если струнки скреплены с полотном рамы, то интенсивность напряжений в наружном и внутреннем слоях по середине струнки выше, чем в наружном и внутреннем слоях надбуксового элемента. Если же струнки не скреплены с моделью полотна рамы, то, по мере увеличения зазора между моделями струнок и каблучками полотна рамы, среднее надбуксовое сечение модели полотна оказывается все более напряженным, а струнка разгружается.

В первой серии опытов выявлен также наиболее существенный коэффициент концентрации напряжений. Наибольшие местные напряжения обнаружены на внешнем контуре полотна рамы, у ребер каблучков первого буксового выреза. Коэффициент концентрации для переднего каблучка первого буксового выреза оказался равным $\alpha_r = 2,7$.

Задача о распределении напряжений в полотне брусковой рамы относится к тому классу, для которого решение,

полученное методом фотоупругости для прозрачной модели, еще не позволяет судить о распределении напряжений в самой детали из металла, даже при условии соблюдения геометрического и силового подобия. Напряженное состояние в такой многосвязной детали, как брусовая рама паровоза, может в какой-то мере зависеть от упругих свойств материала детали.

Поэтому автор должен был подобрать такое аналитическое решение для груженных прозрачных моделей полотна рамы, которое давало бы близкие к полученным экспериментально величины напряжений.

Известно, что задачи о распределении напряжений внутри плоской упругой многосвязной области при обобщенном плоском напряженном состоянии можно разделить на два основных рода. Примером задач первого рода может служить пластинка с просверленной в ней группой отверстий для заклепок. Напряжения, возникающие вблизи контуров отверстий, носят местный характер и не оказывают влияния на напряженное состояние в пластинке вдали от контуров отверстий. Примером задач второго рода может служить рама в обычном представлении, т. е. стержневая система с жесткими узлами, в которой длины элементов велики по сравнению с высотой их поперечных сечений. Напряжения, возникающие в каком-либо элементе рамы, вызывают напряженное состояние в остальных элементах.

Результаты исследования напряженного состояния в прозрачных моделях полотна рамы методом фотоупругости ясно показали, что рассматриваемая автором задача ближе к задачам второго рода, чем первого, хотя полотно состоит из коротких элементов.

Исследования напряженного состояния для коротких балок прямоугольного поперечного сечения с различной поперечной нагрузкой, произведенные Лазаряном, Варваком, Фукухара и др., подтверждают эти соображения.

Поэтому для расчета груженной прозрачной модели с закрепленными буксовыми струнками нами использован один из методов, разработанных для решения рам, именно метод четырех моментов.

Вычисленные таким путем для целого ряда точек груженной прозрачной модели с закрепленными буксовыми

струнками напряжения оказались достаточно близкими к полученным экспериментально методом фотоупругости.

Таким образом автор пришел к заключению: всякая многосвязная деталь, находящаяся в обобщенном плоском напряженном состоянии и состоящая из прямых коротких брусков прямоугольного сечения, жестко связанных между собой в узлах, есть стержневая система с жесткими узлами, если отношение $\frac{\text{длина стержня}}{\text{высота поперечного сечения}}$ больше двух для стержней, не несущих поперечной нагрузки, и больше пяти для стержней, нагруженных поперечной нагрузкой.

В этом заключается, повидимому, наиболее важный результат проделанной нами работы.

Для нагруженных прозрачных моделей с незакрепленными буксовыми струнками опасными поперечными сечениями являются сечения по середине буксового выреза. Любопытно, что напряжения в этих сечениях получаются почти одинаковыми для моделей многосвязных (с облегчающими вырезами) и односвязной (без облегчающих вырезом) при одинаковых зазорах или натягах между буксовыми струнками и каблучками моделей и при одинаковой нагрузке. Это позволяет применить элементарный прием для нахождения величин напряжений в указанном сечении, причем найденные теоретически и экспериментально напряжения получаются достаточно близкими.

Следовательно, в случае незакрепленных буксовых струнок влияние отверстий (облегчающих вырезом) на напряжения в средних поперечных сечениях надбуксового ригеля и буксовой струнки невелико.

Экспериментальное и теоретическое исследование распределения напряжений в нагруженных прозрачных моделях полотна брусковой рамы позволяет предложить надежный способ определения напряжений в опасных точках головного участка полотна рамы из металла.

С помощью уравнений четырех моментов автором определены напряжения для опасных точек полотна рамы паровоза серии ФД. Многочисленные эксперименты с прозрачными моделями указали правильную расчетную схему.

Поэтому вычисленные автором напряжения оказались близкими к полученным при динамических испытаниях рамы паровоза серии ФД, проведенных ЦНИИ МПС.

Расчетные напряжения повсюду несколько выше измеренных, так как автор старался вести расчет в запас прочности.

Расчетные напряжения для всех опасных точек значительно ниже предела усталости рамного металла. Они также ниже и табличных средних норм допускаемых напряжений. Даже при весьма осторожном учете всех факторов, влияющих на понижение предела усталости рамного металла, мы приходим к выводу, что в современных паровозных рамах заключается значительный избыток металла. При этом для определения действительного коэффициента запаса прочности для каждой опасной точки автор пользовался как дифференциальным методом Одингга, так и последними данными, приводимыми Серенсенем.

Чем же об'яснить, в таком случае, появления трещин усталости в брусковых рамах паровозов?

Причиной их, очевидно, являются начальные напряжения, которые возникают в полотне рамы при автогенной резке отверстий и при правке полотна после отжига.

Поскольку нашими исследованиями прозрачных моделей доказано, что полотно рамы есть стержневая система с жесткими узлами, нетрудно представить, насколько интенсивным должно быть начальное напряженное состояние в рамах при принятой в настоящее время технологии их изготовления.

Законченная в 1947 году часть работы автора показала, что и технология изготовления полотна брусковой рамы и конструкция его должны быть изменены для увеличения динамической прочности рамы.

1) Автогенная резка облегчающих и буксовых вырезов, отжиг и правка полотна после отжига должны быть заменены только механической обработкой всех отверстий, при которой в многосвязной системе второго рода начальное напряженное состояние не возникает.

2) Конструкция полотнища, толщина которого в современных магистральных паровозах достигает 125—140 мм, ничем не оправдывается. Поскольку каждый брусок рамного полотна работает, как элемент стержневой системы с жесткими узлами, на изгиб и растяжение, следует увеличивать высоту брусков, а не толщину их.

Первая часть работы автора, после окончания ее, была подвергнута обсуждению на научных конференциях кафедр

двух ВТУЗ'ов, а также была передана для заключения ряду специалистов.

При детальном разборе и критике этой части работы автора обнаружена была недоработка некоторых вопросов. Критические замечания сводились к следующему:

1) Казалось невероятным, что начальные напряжения, возникшие при огневой резке и правке под прессом много-связной системы второго рода могут оказать решающее влияние на динамическую ее прочность. Естественнее было бы предположить, что здесь сказывается фактор концентрации напряжений в углах и переходах. Между тем, при исследовании напряженного состояния в прозрачных моделях явление резкой концентрации напряжений в углах и переходах автором обнаружено не было.

2) В рамах паровозов серии ФД часто возникают трещины непосредственно за местом привалки цилиндров паровой машины. При исследовании же упругих прозрачных моделей в этих местах интенсивное напряженное состояние не обнаружено.

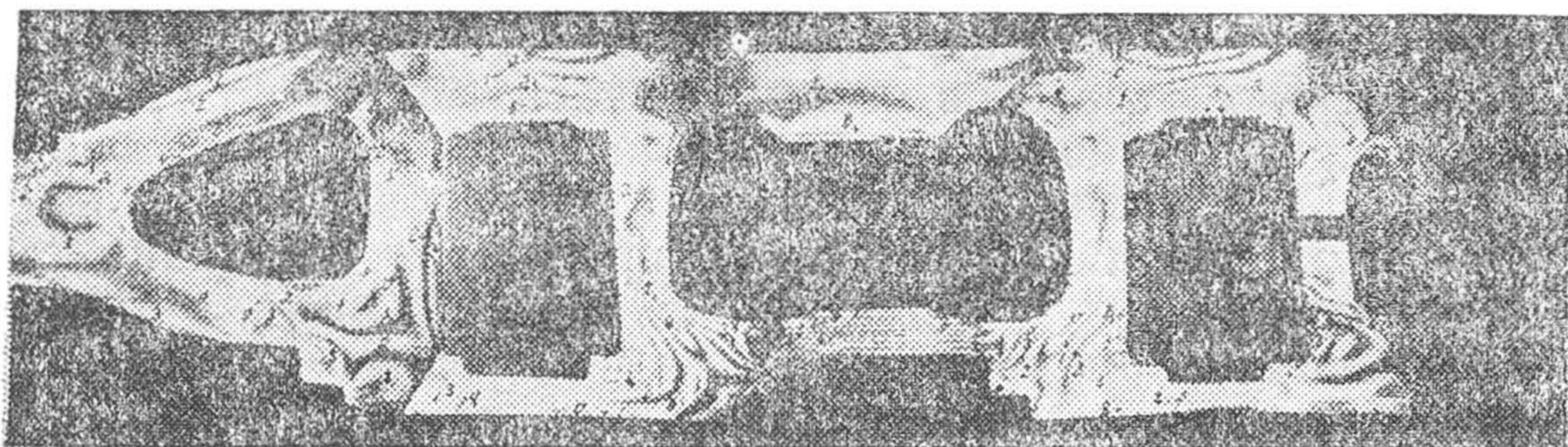
3) Наконец, автор исследовал прозрачные модели на растяжение, как свободно подвешенные пластинки. В паровозе полотно рамы связано с котлом с помощью ряда гибких опор. Было бы важно, очевидно, оценить влияние всех этих креплений на напряженное состояние в полотне рамы.

Критические замечания по первой части работы автора послужили толчком для продолжения исследований. Результаты их приведены во второй части работы автора.

Для выяснения эффекта концентрации напряжений в углах и переходах полотна рамы автор вновь исследовал на растяжение прозрачную модель рамного полотна паровоза серии ФД. Модель была изготовлена возможно более крупной: ее размеры в 14,5 раза менее размеров натуральной рамы. Изготовлена она из материала ИМ-44 типа вискомлит и напряженное состояние в ней изучалось методом полос на поляризационной установке типа Кокера конструкции Ленинградского университета с диаметром линз 130 мм. и с применением зеленого светофильтра. Ее отличие от ранее рассматривавшихся моделей заключается в том, что буксовые струнки изготовлены заодно с моделью полотна рамы. Приведенная в работе автора картина полос в этой модели и эпюра напряжений убедительно показывают, что эффект концентрации напряжений в углах ниже интенсив-

ности напряжений в панелях и, следовательно, не может оказывать решающего влияния на прочность полотна рамы (фиг. 1, 2).

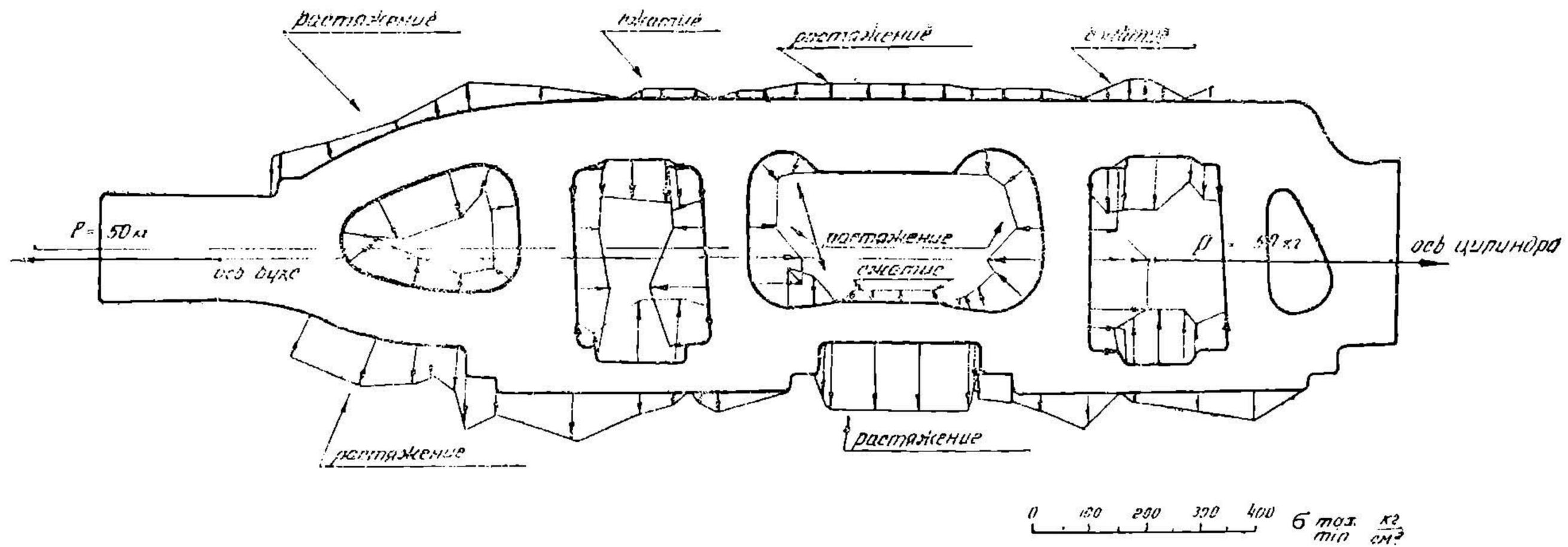
Затем автор произвел расчет напряжений в этой модели по разработанной им ранее методике. Особенности методики упрощенного расчета заданной многостержневой модели заключается в том, что модель рассекается на две части — головную и хвостовую — и равнодействующие сил упругости для каждой отсеченной части приближенно заменяются растягивающими силами, которые легко определяются из условий статики для любой отсеченной части



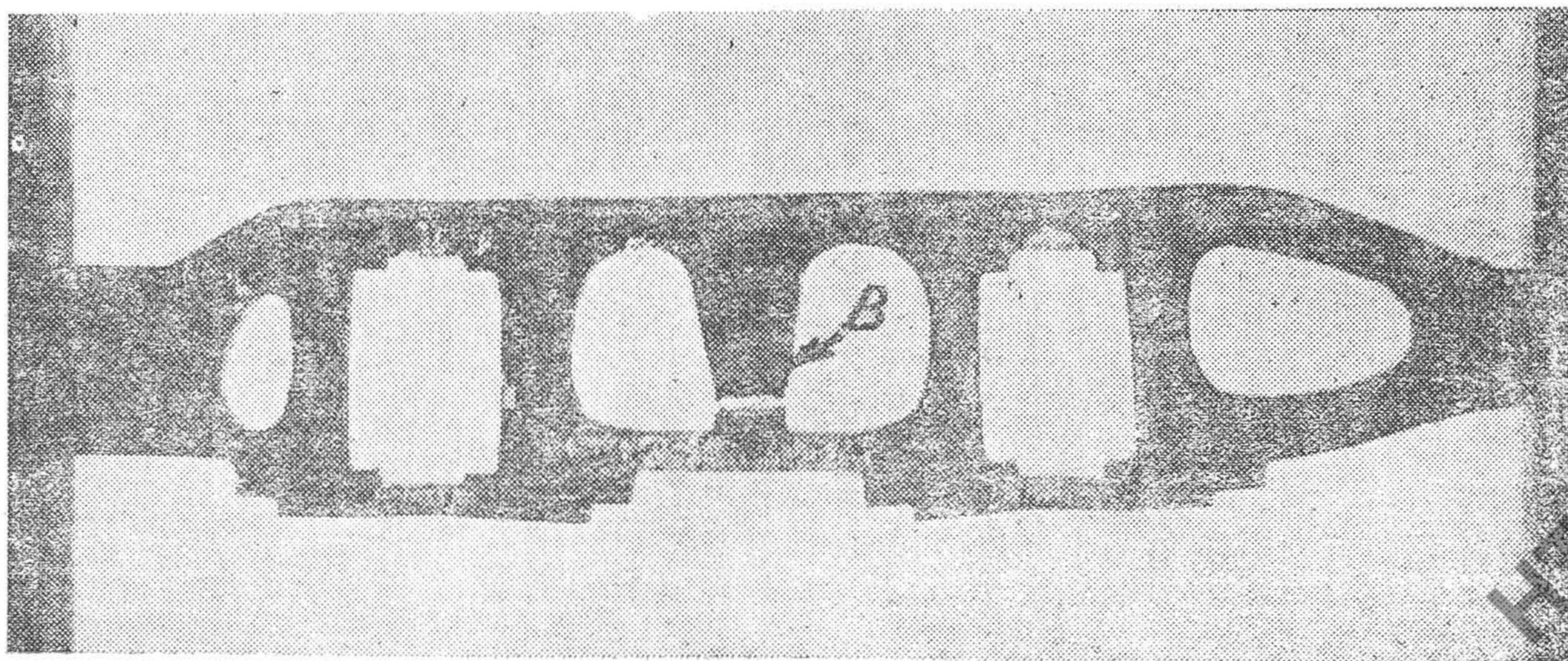
Фиг. 1.

модели. Далее каждая отсеченная часть модели рассчитывается, как обычная рама. Этот приближенный способ оказался очень удобным для расчета паровозной рамы в металле, так как рама в натуре представляет настолько сложную многостержневую систему с жесткими узлами, что расчет ее целиком методами строительной механики практически невозможен. Справедливость такого приближенного способа расчета подтверждается на всех исследованных автором прозрачных моделях с жестко закрепленными буксовыми струнками: вычисленные автором напряжения совпадают с измеренными методом фотоупругости.

Для выяснения влияния на напряженное состояние паровозной рамы скреплений ее с котлом автор сфотографировал картины полос, которые получаются в модели полотна рамы из вискомлита при растягивающей нагрузке в двух случаях — для свободно подвешенной модели и для модели, подкрепленной подклеенной к ней карбинольным



Фиг. 2



Фиг. 3.

клеем стальной пластинкой, которая утрировано имитирует надрамное строение. Во втором случае интенсивность напряжений в модели полотна оказывается несколько ниже, чем в первом случае, но характер напряженного состояния не меняется: модель работает в обоих случаях, как многостержневая система с жесткими узлами. Таким путем еще раз подтверждается корректность примененного автором метода расчета.

Весьма эффективным оказалось испытание трех стальных моделей полотна рамы паровоза серии ФД в 1 : 20 натуральной величины на разрыв до разрушения на 35-тонной универсальной машине для статических испытаний конструкции ЦИИИТМАШ. Модели изготовлены из стальной поковки с содержанием углерода 0,51% различными способами: в одной модели все вырезы образованы слесарным способом, во второй — вырезы выжжены автогеном и поврежденный слой металла удален слесарными инструментами, в третьей — вырезы образованы автогеном, модель отожжена при температуре 900° в электропечи и выправлена под прессом. Обработка всех поверхностей — чистая. Все модели покрыты лаком, состоящим из абиетиновой смолы, растворенной в растворе КР—36 (ацетон с целлулоидом), причем обе составные части взяты равными долями по весу. Сушка лака производилась в термостате в течение 11—12 часов при температуре 80—90°. Режим сушки был подобран так, чтобы первые трещины в лаковом покрытии пробного плоского образца при испытании его на растяжение появлялись, когда напряжения в металле образца достигнут предела текучести.

Рецепт лака отличается от рекомендованных в энциклопедическом справочнике „Машиностроение“. Рекомендованные там лаковые покрытия дают первые трещины в покрытии при сравнительно низких напряжениях в металле. Автор же стремился исследовать явления в модели рамного полотна после появления в отдельных зонах явлений текучести. Названный рецепт рекомендован автору доцентом А. Н. Захаровым.

Разрушающая нагрузка для всех этих образцов оказалась примерно одинаковой, около 4000 кг.

Первые трещины в лаковом покрытии появляются при нагрузке 2800—2950 кг. Как уже упоминалось выше, тре-

щины в лаковом покрытии появляются в тех областях моделей, напряжения в которых достигают предела текучести. Такие области находятся в гибких нижнем поясе полотна рамы и буксовых струнках. В этих элементах наблюдаются первые трещины в лаковом покрытии при растяжении моделей (фиг. 3). Однако, появление пластических деформаций в этих элементах вызывает перераспределение напряжений во всей модели и на приведенных фотографиях ясно видно, что как только появляются трещины в лаковом покрытии на буксовых струнках и нижнем поясе модели полотна рамы, сейчас же возникают трещины в лаковом покрытии в части верхнего пояса, непосредственно примыкающей к месту привалки цилиндров в раме паровоза, т. е. именно там, где чаще всего возникают трещины в паровозных рамах.

Отсюда следует, что распределение металла в полотнах современных брусковых паровозных рам неудачно: неправильно делать массивным верхний пояс и гибким нижний пояс полотна рамы и буксовые струнки. Для повышения прочности рамного полотна нужно увеличить жесткость на изгиб нижнего пояса и буксовых струнок.

Наконец, для выяснения влияния технологии изготовления полотна рамы на динамическую его прочность автор произвел следующие испытания. Из малоуглеродистой стали (0,17 — 0,22% С) изготовлены 6 моделей рамного полотна паровоза серии ФД в 1:25 натуральной величины и испытаны на усталость при пульсирующей растягивающей нагрузке на пульсаторной машине фирмы Лозенгаузен мощностью $\pm 2,5$ т.

При этом три модели изготовлены без применения огневой резки, а в трех моделях отверстия предварительно выжжены автогеном, а затем весь поврежденный автогенной резкой слой металла удален слесарными инструментами.

Состояние поверхности всех шести образцов для испытания на усталость и их размеры совершенно одинаковы, способы их механической обработки—также одинаковы. При испытании их на усталость в центральной заводской лаборатории Днепропетровского автозавода при участии сотрудников лаборатории оказалось: при пульсирующей растягивающей нагрузке 0—700 кг образцы, изготовленные без применения огневой резки, выдерживают испытание на

усталость (базисное число циклов нагрузки 10^7 при частоте 2000 в минуту), а образцы, при изготовлении которых применена автогенная резка отверстий, разрушаются после 165000—179800 перемен нагрузки по задней буксовой струнке.

Понижение динамической прочности образцов, при изготовлении которых применялась огневая резка отверстий, могло быть вызвано изменением структуры металла в месте излома. Поэтому из металла образцов, примыкающего к местам излома, были изготовлены металлографические шлифы и сотрудниками Центральной лаборатории автозавода произведено металлографическое исследование. В протоколе испытаний отмечается, что никаких следов огневой резки в структуре металла обнаружено не было.

Следовательно, при огневой резке отверстий в много-связной системе второго рода часть тепловой энергии превращается в потенциальную энергию деформации системы. Возникает начальное напряженное состояние, которое понижает динамическую прочность системы при воздействии на нее переменных внешних нагрузок.

Работа автора приводит к следующим выводам:

При конструировании брусовых паровозных рам следует отказаться от эмпирических методов выбора поперечных сечений элементов полотна рамы и от методов расчета по Майнеке или Экзержиану, так как все эти методы не отражают действительной картины распределения напряжений в рамах.

Приближенный метод расчета полотна рамы, предлагаемый автором, является научно обоснованным, экспериментально проверенным и в то же время достаточно простым методом.

Распределение металла в современных брусовых паровозных рамах неудачно. Полотно такой рамы есть многостержневая система с жесткими узлами. Поэтому нужно увеличивать высоту брусов за счет ширины полотна, причем жесткость на изгиб в вертикальной плоскости нижнего пояса полотна рамы и буксовых струнок должна быть увеличена и должна приближаться к жесткости верхнего пояса. При конструировании полотна рамы следует избегать

резких изменений величины поперечных сечений брусков, изломов осей брусков и резких переходов без закруглений, вызывающих концентрацию напряжений.

При изготовлении полотна рамы следует отказаться от огневой резки облегчающих и буксовых вырезов, отжига и правки полотна. Следует перейти на скоростное фрезерование всех вырезов, исключаящее появление начального напряженного состояния в многостержневом полотне рамы. Если в условиях некоторых паровозостроительных заводов замена огневой резки, отжига и правки полотна с последующей механической обработкой отверстий скоростным резанием отверстий окажется экономически невыгодной, то следует обращать многосвязное полотно на время изготовления в односвязное, произведя прорезы в каждом замкнутом контуре. Перед окончательной механической обработкой прорезы должны замыкаться вставкой затяжек или якорей. Для односвязной системы допустимы огневая резка и правка—они не влекут возникновения начального напряженного состояния. В этом смысле конструирование полотна рамы в виде односвязной системы (без облегчающих вырезков) для некоторых типов паровозов позволило бы значительно увеличить динамическую прочность рамы при сохранении принятой в настоящее время технологии изготовления, включающей автогенную резку и правку полотна с последующей механической обработкой поверхности его и кромок среза.

Можно уверенно предсказать, что улучшение технологии изготовления и методов конструирования буксовых паровозных рам дает значительную экономию металла при одновременном повышении их динамической прочности.

Что касается повышения динамической прочности рамы паровоза серии ФД, то здесь, очевидно, наиболее эффективным способом является замена головного участка новым, усиленным. Такую замену проводят в настоящее время паровозоремонтные заводы при капитальном ремонте паровозов серии ФД с поврежденными рамами, с нашей точки зрения, однако, не совсем удачно. Заменяют головной участок полотна рамы новым участком, с усиленными сечениями брусков. Эта вставка приваривается электросваркой к остающейся части полотна по середине первого буксового выреза, где, по нашим вычислениям, переменные напряже-

213a

ния достигают в отдельных точках величины 584 кг/см^2 . Едва ли целесообразно вводить в этом месте сварку, тем более, что недостаточно жесткие буксовая струнка и нижний пояс полотна рамы позади первого буксового выреза остаются при этом без изменения. Поэтому более рационально такую вставку делать до середины второго буксового выреза, где напряжения от переменной нагрузки меньше, чем в первом буксовом вырезе. Это даст также возможность усилить первую буксовую струнку и нижний пояс между первым и вторым буксовым вырезом. На основании всех проделанных автором опытов и вычислений можно не сомневаться, что такая модернизация аварийных рам, уже имевших в эксплуатации усталостные трещины, полностью восстановит их динамическую прочность.
