

МИНИСТЕРСТВО ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ СССР  
ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ИНСТИТУТ  
ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

---

На правах рукописи

Инженер Т. М. ШПАК

# О МЕСТНОМ УПРУГОМ ДЕФОРМИРОВАНИИ ГОЛОВКИ И ШЕЙКИ РЕЛЬСА

(экспериментальное и аналитическое исследование)

05.432. Железнодорожный путь

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Днепропетровск  
1970

МИНИСТЕРСТВО ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ СССР  
ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ИНСТИТУТ  
ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

---

На правах рукописи

Инженер Т. М. ШПАК

О местном упругом деформировании  
головки и шейки рельса

(экспериментальное и аналитическое исследование)

05.432. Железнодорожный путь

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Днепропетровск  
1970

43749

Днепропетровский институт инженеров железнодорожного транспорта направляет Вам для ознакомления автореферат диссертации инженера Т. М. Шпак.

Просим Вас и всех заинтересованных лиц учреждения принять участие в публичной защите диссертации или прислать свой отзыв в письменном виде в 2-х экземплярах, заверенных печатью учреждения, по адресу:

г. Днепропетровск, 10, Университетская, 2, ДИИТ

Работа выполнена в Белорусском институте инженеров железнодорожного транспорта.

Программа опытных исследований выполнена силами и средствами путепытательной лаборатории ДИИТа на одном из участков Приднепровской ж. д.

Научный руководитель — доктор технических наук, профессор **М. А. Фришман.**

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор **В. И. Ангелейко,**  
кандидат технических наук, и. о. профессора  
**М. П. Смирнов.**

Ведущая организация — ЦНИИ МПС.

Автореферат разослан « 11 » *мая* 1970 г

Защита диссертации состоится « 11 » *июня* 1970 г  
на заседании Ученого совета Днепропетровского института  
инженеров железнодорожного транспорта.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ин-  
ститута.

Ученый секретарь совета

**Б. М. КЛИМКОВСКИЙ.**

## ВВЕДЕНИЕ

Создание материально-технической базы коммунизма в СССР предопределяет перспективу дальнейшего расширения сети, а также интенсификации использования существующих железных дорог.

На железнодорожном транспорте страны непрерывно растет грузонапряженность, проводится планомерное увеличение скоростей движения, повышается уровень средних и максимальных осевых нагрузок.

В отношении железнодорожного пути рост отмеченных эксплуатационных параметров имеет определяющее значение и стимулирует непрерывные поиски мер по совершенствованию конструкции, норм устройства и технических условий содержания.

Объектами совершенствования являются в первую очередь элементы верхнего строения пути, особенно рельсы. В современных условиях дальнейшее повышение эксплуатационной стойкости рельсов связывается с улучшением качества рельсовой стали путем упрочняющей термообработки объемной закалкой, что считается основным средством предотвращения контактно-усталостных повреждений. Вместе с тем, в опубликованных обзорах рельсовой проблемы подчеркивается, что наибольшая эффективность повышения эксплуатационной стойкости рельсов может быть достигнута при комплексном осуществлении ряда мер: совершенствовании системы использования рельсов, конструкции профиля, норм устройства и содержания пути и подвижного состава.

В решении этих вопросов важная роль принадлежит анализу и учету напряженно-деформированного состояния рельсов. Однако, в этом отношении имеются серьезные затруднения, связанные с недостаточной изученностью некоторых компонентов напряженно-деформированного состояния рельсов.

В рельсах современных типов наиболее напряженным элементом профиля является головка. Здесь сочетаются общие, контактные и местные деформации и напряжения\*

Изучению общих и контактных напряжений и деформаций посвящено много теоретических и экспериментальных исследований, позволивших значительно приблизиться к научному описанию этих компонентов и создать инженерные способы их расчета.

По местным же деформациям и напряжениям головки рельса теоретические разработки пока единичны. Вместе с тем, проведенные в последние годы у нас в стране и за рубежом лабораторные исследования подтверждают, что в головке рельсов современных типов доля местных продольных деформаций (напряжений) является весьма значительной, поэтому разработка расчетных приемов их определения является актуальной задачей.

Исследование местного упругого деформирования головки рельса неотделимо от рассмотрения местных деформаций шейки как упругого основания головки. Кроме того, исследование упругого деформирования шейки приводит к оценкам местной жесткости рельса как пружины, что имеет самостоятельное значение в решении задач по взаимодействию пути и подвижного состава.

В связи с приведенными соображениями в диссертации комплексно рассматриваются вопросы местного упругого деформирования головки и шейки рельса.

Особенности профиля рельса, условия его нагружения и опирания многофакторны и местные деформации проявляются многообразно как в поперечном сечении, так и вдоль рельса. Поэтому сложная и многогранная тема установления зависимостей, отражающих местные деформации рельса может, по-видимому, решаться только поэтапно с возрастающей степенью приближения.

Учитывая вышеизложенное в данной работе затронута лишь часть обсуждаемых задач.

Основной целью исследования является разработка расчетного способа, позволяющего решать, в порядке первого приближения, следующие практические и поисковые задачи:

1) определять местные продольные деформации головки рельса в загруженном сечении (за пределами стыка) при действии вертикальной, центрально приложенной силы;

\* Следуя данной проф. В. Н. Даниловым классификации, в диссертации принято, что в головке рельса в зоне ниже 5 мм от поверхности катания деформации и напряжения вызванные контактным давлением, также относятся к разряду местных.

2) определять при тех же условиях величину упругого сжатия шейки;

3) оценить возможные изменения названных показателей местного упругого деформирования рельса при варьировании генеральных размеров элементов профиля и конструктивных изменениях в устройстве подрельсового основания.

Исследования, связанные с решением сформулированных задач осуществлялись в данной работе экспериментально-теоретическим путем.

Экспериментальная часть диссертации содержит лабораторные статические и путевые динамические испытания, при которых производилось тензометрирование головки и шейки рельса Р50 по специальной программе изучения местных деформаций.

В аналитическом исследовании местных деформаций головки и шейки как бруса и пластинки применены основные положения теории расчета плитно-балочных систем по методу перемещений с использованием функций А. В. Александрова, основанных на решениях теории упругости.

В итоге проведенных исследований в диссертации разработана методика и предложены расчетные зависимости, позволяющие решать поставленные задачи.

Реферируемая работа содержит пять глав, изложенных на 180 стр. машинописного текста. Текст сопровождается 52 иллюстрациями.

## ГЛАВА I.

### **СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА ПО ИССЛЕДОВАНИЮ МЕСТНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ И НАПРЯЖЕНИЙ В РЕЛЬСАХ**

В первой главе приведен краткий обзор, а в некоторых случаях детальный анализ предыдущих исследований. Рассмотрены работы С. П. Тимошенко, Н. Н. Максимова, В. Н. Данилова, Е. П. Бондаренко, И. С. Инютина, М. П. Смирнова, В. Ф. Яковлева, В. Н. Кравченко, Л. П. Мелентьева, J. Eisenmann.

Круг вопросов, решавшихся в диссертации, тесно связан с работами названных авторов.

Рассмотрены также некоторые результаты исследований по воздействию подвижного состава на путь, выполненных под руководством В. А. Лазаряна и М. А. Фришмана на-

учными сотрудниками ДИИТа и под руководством О. П. Ершкова в ЦНИИ МПС.

Некоторую аналогию в отношении местного упругого деформирования шейки рельса имеют явления местного упругого деформирования стенки металлических подкрановых балок, в связи с чем приняты во внимание результаты исследований по подкрановым балкам, изложенные в работах Б. М. Броуде, Б. Б. Лампси, О. Ф. Иванкова и других авторов.

В предыдущих исследованиях местного упругого деформирования головки и шейки рельсов при рассмотрении действия вертикальной, центрально приложенной силы отмечались следующие явления: вертикальные деформации шейки и головки, местный изгиб головки вследствие местной упругой податливости (сжатия) подголовочного основания, местный изгиб рельса в пролете между опорами, «обратный изгиб» рельса под влиянием расклинивающего действия концентрированного давления колеса.

В расчетном отношении наибольшее развитие в предыдущих исследованиях получили вопросы местного изгиба головки, которая рассматривалась как балка, лежащая на сплошном упругом основании, образуемом шейкой (простейшее, винклеровское основание; обобщенное упругое основание с учетом продольных касательных усилий взаимодействия; основание в виде полуплоскости, без учета продольных касательных реакций).

В работах В. Н. Данилова указано, что в строгой постановке расчета местных деформаций шейку рельса следует рассматривать как пластинку. В этом отношении первой публикацией (1964 г.), в которой изложена попытка реализации подобной расчетной схемы, явилась работа В. Н. Кравченко. Здесь рельс представлен по схеме трехслойного стержня с рассмотрением шейки как пластинки в условиях плоского напряженного состояния.

Учет упругих взаимосвязей шейки с головкой и подошвой выполнен по условию совместности деформаций с использованием метода сил. Автор упомянутой работы ограничился составлением решения в общем виде, в связи с чем не представляется возможным судить об эффективности предложенной методики расчета.

В предыдущих исследованиях (в работе С. П. Тимошенко) указано, что наряду с местным изгибом головки необходимо учитывать местные деформации рельса от внецентренного растяжения продольными составляющими контактного

давления. Это явление известно в теории местных напряжений балок под названием расклинивающего действия сил  $F = P/\pi$ .

Влияние отмеченного фактора должно быть существенным, особенно в верхней зоне головки рельса, так как учет одних лишь деформаций местного изгиба головки рельса не обеспечивает достаточной сходимости результатов расчета с результатами эксперимента.

Вместе с тем попытка учета деформаций расклинивания по отмеченной элементарной схеме внецентренного растяжения не приводит к приемлемым результатам.

Последним обстоятельством определяется необходимость постановки дальнейшего исследования расклинивающего действия приложенного к головке рельса вертикального давления колеса. Этот вопрос рассмотрен в диссертации с привлечением экспериментально-теоретических приемов исследования и с учетом работ, выполненных В. Ф. Яковлевым, П. С. Инютиным, А. М. Никоновым.

В отношении лабораторных измерений местных деформаций и напряжений головки и шейки рельса в литературе накоплен большой материал (Л. П. Мелентьев, J. Eisenmann), достаточно полно отражающий распределение местных деформаций по контуру загруженного поперечного сечения. В меньшей мере выяснено распределение местных деформаций по протяжению рельса в зависимости от условий опирания и нагружения.

Информация об опытных исследованиях местных деформаций головки рельса в действующем пути в литературе весьма мала, так как таких исследований было мало. Из проведенных работ наиболее близкой по поставленным задачам и методике эксперимента является работа, выполненная М. П. Смирновым по изучению местных деформаций в подголовочной зоне рельса при движении тяжелых нагрузок (на путях промышленного транспорта). Опубликованные М. П. Смирновым материалы свидетельствуют о принципиальной возможности выделения на осциллограммах четкого изображения местных продольных деформаций головки рельса при соответствующем размещении датчиков.

Ценную (хотя и косвенную) информацию о местных напряжениях внутри головки рельса доставили известные экспериментальные работы с моделями при использовании поляризационно-оптического метода. Результаты этих работ учитывались в диссертации при условном выделении зон объемного, плоского и линейного напряженного состояний в голов-

ке рельса, а также при разработке математической модели расклинивающего действия контактного давления колеса.

Приведенный в первой главе анализ состояния вопроса в целом свидетельствует о заметном расширении в последние годы лабораторно-экспериментальных исследований местного упругого деформирования рельсов и о некотором отставании аналитических разработок, в связи с чем до настоящего времени не предложено практического способа расчета полных местных продольных деформаций и напряжений в головке в зоне на уровне  $\bar{5}$ —15 мм от поверхности катания и расчетной оценки жесткости шейки в зависимости от условий опирания рельса.

Актуальность исследования местных деформаций в отмеченной зоне головки рельса определяется тем, что по данным ЦНИИ МПС (О. С. Скворцов, Е. И. Успенский, Ю. Ф. Шварц) эта зона является наиболее вероятным местом «эпицентра» развития опаснейшего дефекта—поперечной трещины усталости.

## ГЛАВА II.

### **ОБОСНОВАНИЕ РАСЧЕТНОЙ СХЕМЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ МЕСТНОГО УПРУГОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ШЕЙКИ И ГОЛОВКИ РЕЛЬСА ПРИ ВЕРТИКАЛЬНОМ ЦЕНТРАЛЬНОМ ДАВЛЕНИИ КОЛЕСА**

Так как применительно к рельсу теория расчета плитно-балочных систем по методу перемещений применяется впервые, то этим обстоятельством определилась необходимость проведения значительного объема работы по обоснованию расчетной схемы. Основным затруднением здесь явилось то, что рельс близок к схеме конструкции с бесконечным протяжением, а в исходном методе рассматриваются схемы, имеющие ограниченную, относительно небольшую длину. В расчете плитно-балочных систем по методу перемещений решение представляется в тригонометрических рядах и быстрота сходимости рядов существенно зависит от соотношения поперечных и продольных размеров рассчитываемой конструкции, заметно снижаясь при уменьшении этого отношения, т. е. при увеличении длины. Отмеченная особенность отправного метода приводит к необходимости условного выделения из рельса расчетного участка конечной, притом минимально возможной длины. При этом должны быть обес-

печены граничные условия принятого метода— торцы свободны от нормальных напряжений.

Следуя принципу суперпозиции общие нормальные напряжения по торцам выделяемого участка обособляются, как это впервые было сделано в работе В. Н. Кравченко, приведенном их интегрально к моментам, вызывающим чистый изгиб. Следовательно, имея целью изучение местных напряжений, можно изложенным приемом «отсечь» общие напряжения и в выполнении указанных граничных условий ориентироваться только на местные продольные нормальные напряжения от поперечных нагрузок. Отсюда следует, что границы выделяемого расчетного участка должны быть назначены по поперечным сечениям, в которых местные продольные напряжения в головке, шейке и подошве становятся нулевыми или пренебрежимо малыми. В связи с этим автором проведены обширные лабораторные эксперименты с отрезком нового рельса Р50, протяжением 1,5 м. В экспериментах измерялись проволочными датчиками продольные деформации на боковой грани головки, а также продольные и поперечные деформации шейки рельса в условиях статического воспроизведения вертикального давления колеса  $P = 10$  т при различных схемах опирания. Особое место в проведенных экспериментах занимает исследование местных деформаций головки и шейки при опирании рельса на сплошное жесткое основание. В таком идеализированном варианте полностью блокируется общий и местный (в смысле междушпального пролета) изгиб рельса, что позволило выделить местный изгиб головки за счет парциальной вертикальной упругой податливости (сжатия) шейки рельса.

Анализ результатов проведенных экспериментов показал, что зона существенных местных упругих деформаций головки и шейки заключается в границах  $\pm 2,5 \cdot b_{ш}$  считая от центра контактной площадки ( $b_{ш}$  — высота шейки рельса). Данный вывод является достаточно строгим для случая опирания рельса на сплошное, жесткое основание и приближенным при дискретном опирании на упруго-податливые опоры.

В общем случае с некоторым приближением граничные статические условия расчетной схемы определения местных деформаций головки как бруса и шейки как пластинки удовлетворяются, если выделить из рельса участок конечной длины протяжением  $l = 5 \cdot b_{ш}$  с расположением нагрузки в центре выделяемого участка.

Во второй главе приводятся также материалы по схематизации очертания поперечного сечения рельса в связи с при-

менением теории расчета плитно-балочных систем. В первом приближении шейка рельса схематизирована пластинкой постоянной толщины.

Контактное давление на головку и реактивный отпор по подошве для целей исследования местного изгиба головки и сжатия шейки приведены к срединной плоскости (плоскости симметрии) рельса в виде равномерной нагрузки интенсивностью  $q_{\text{гол}}$  и  $q_{\text{под}}$ , распределенной вдоль рельса на участках  $l_{\text{гол}}$  и  $l_{\text{под}}$  соответственно\*

Так как в принятом методе расчета плитно-балочных систем нагрузка раскладывается в ряд Фурье, то проведенная схематизация контактного давления и реактивного отпора позволяет воспользоваться готовыми формулами определения коэффициентов разложения для кусочно-равномерно распределенной нагрузки.

### Г Л А В А III.

#### РАСЧЕТЫ ПО МЕСТНОМУ УПРУГОМУ ДЕФОРМИРОВАНИЮ ШЕЙКИ РЕЛЬСА

На рис. 1 показана принятая в диссертации расчетная схема рельса для определения деформаций местного вертикального изгиба головки и деформации сжатия шейки в соответствии с основными положениями расчета плитно-балочных систем по методу перемещений. В допущениях, принятых при формировании показанной расчетной схемы, наиболее значительным является неучет местных продольных смещений подошвы, что вызвано недостаточной изученностью сил трения, препятствующих этим смещениям.

Величина полной вертикальной деформации сжатия шейки в произвольном сечении расчетного участка рельса может быть представлена алгебраической разностью вертикальных смещений узловых линий головки и подошвы

$$\Delta b_{\text{ш}} = Z_1(x) - Z_3(x),$$

которые в свою очередь представляются тригонометрическими рядами

$$Z_1(x) = \sum_{n=1}^{n=\infty} Z_1^{(n)} \cdot \sin \frac{n \cdot \pi \cdot x}{l},$$

где  $Z_1^{(n)}$  амплитудное значение смещения в гармонике  $n$ .

\* При исследовании расклинивающего действия контактного давления последнее рассматривается в диссертации распределенным, как обычно, по полуэллипсону.

Числовые значения амплитуд определяются решением системы трех канонических уравнений для каждой гармоники в отдельности. Коэффициенты канонических уравнений  $r_{ik}^{(n)}$  определяются с использованием функций, разработанных А. В. Александровым для определения единичных погон-

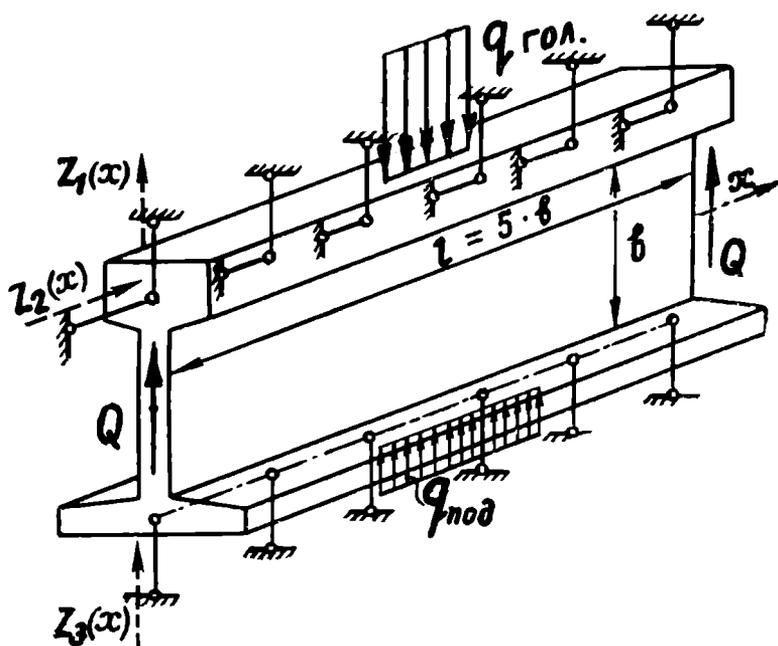


Рис. 1

ных усилий возникающих на продольных кромках пластинки при смещении по закону синусоиды или косинусоиды (А. Ф. Смирнов, А. В. Александров и др. «Расчет сооружений с применением вычислительных машин», Стройиздат, 1964). Свободные члены канонических уравнений определяются как коэффициенты разложения поперечной нагрузки  $q$  в ряд по формуле

$$R_{ip}^{(n)} = \frac{4 \cdot q}{n \cdot \pi} \cdot \sin \frac{n \cdot \pi}{2} \cdot \sin \frac{n \cdot \pi \cdot u}{2 \cdot l}$$

\* В связи с симметрией нагружения четные гармоники из рассмотрения выпадают.

Для определения вертикальных нормальных напряжений в шейке в диссертации применен указанный А. В. Александровым прием введения узловой линии в исследуемое продольное сечение шейки как пластинки с возможным продольным смещением  $Z_4(x)$  и поперечным вертикальным смещением  $Z_5(x)$ .

Принимая для местного изгиба головки рельса «местную» гипотезу плоских сечений, в диссертации, по ранее найденным значениям  $Z_1(x)$ ,  $Z_2(x)$  и  $Z_3(x)$  вычислены значения  $V_1(x)$ ,  $V_2(x)$  и  $V_3(x)$ , как упругих смещений мест условного контакта шейки с головкой и подошвой. Установленные таким образом смещения продольных (верхней и нижней) кромок шейки явились исходными данными при обособленном вычислении  $Z_4(x)$  и  $Z_5(x)$  для произвольных промежуточных продольных сечений шейки.

Используя таблицы единичных реакций пластинки в диссертации получены аналитические выражения коэффициентов и свободных членов канонических уравнений для определения  $Z_4(x)$  и  $Z_5(x)$  и формула для определения амплитуд гармоник нормального усилия

$$N_y^{(n)} = \frac{E \cdot \delta_m}{b_A} [ \Psi_3(\alpha_A) \cdot Z_4^{(n)} + \Psi_1(\alpha_A) \cdot Z_5^{(n)} - \Psi_2(\alpha_A) \cdot V_3^{(n)} ],$$

где  $\delta_m$  — осредненная толщина шейки как пластинки,  
 $b_A$  — расстояние от исследуемого продольного сечения шейки до подошвы,  
 $\Psi_1(\alpha_A)$  — функции проф. А. В. Александрова.

Полное значение погонного нормального усилия определялось в диссертации суммой первых пяти нечетных гармоник

$$N_y(x) = \sum_{n=1,3,5,7,9} N_y^{(n)} \cdot \sin \frac{n \cdot \pi \cdot x}{l}$$

Вертикальные нормальные напряжения в шейке рельса определялись по формуле

$$\sigma_y(x) = \frac{N_y(x)}{\delta_m}.$$

Качественная сторона расчетных эпюр напряжений хорошо согласуется с аналогичными эпюрами, построенными по результатам эксперимента, однако результаты расчета получились несколько меньшими, что явилось следствием допу-

щений, принятых в расчетной схеме. Для загруженного сечения поправочный эмпирический коэффициент составил величину  $K = 1,18$ .

В третьей главе приводится также анализ причин имеющихся в литературе несоответствий в экспериментальной оценке условной жесткости шейки рельсов. Сделан вывод о том, что условием сопоставимости результатов разных исследований является идентичность опирания исследуемого поперечного сечения и обеспечение минимально необходимой длины отрезка рельса, при которой в полной мере реализуется распределяющее действие головки.

## ГЛАВА IV

### РАСЧЕТЫ ПО МЕСТНОМУ УПРУГОМУ ДЕФОРМИРОВАНИЮ ГОЛОВКИ РЕЛЬСА

В диссертации исследование местного упругого деформирования головки рельса начинается рассмотрением местного ее изгиба с применением новой, отличающейся от предыдущих исследований, расчетной схемы. Выражение для изгибающего момента местного изгиба головки получено двукратным дифференцированием функции  $Z_1(x)$  при учете изгибной жесткости головки

$$\Delta M_{гол} = \frac{\pi^2 \cdot E I_{гол}}{l^2} \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} n^2 \cdot Z_1^{(n)} \cdot \sin \frac{n \cdot \pi \cdot x}{l}$$

В исследуемой задаче полученный ряд сходится медленно и не представляется возможным усилить его сходимость известными приемами преобразования, так как  $Z_1^{(n)}$  сложным образом зависит от  $n$  и определяется из канонических уравнений.

Для получения числовых результатов в диссертации применен следующий прием (экстраполяция на бесконечность) вычисляются первые 12 значений частичных сумм ряда и по ним известными способами подбираются параметры аппроксимирующей функции вида

$$\Delta M(n) = \frac{a}{n} + C.$$

При  $n \rightarrow \infty$   $\Delta M(n) \rightarrow C$ , отсюда  $\Delta M_{гол} = C$ .

Для рельса Р50, в предположении сплошного жесткого основания, исключающего вообще деформации, указанным приемом найдено значение  $\Delta M_{гол} = 8150 \text{ кг} \cdot \text{см}$ , соответствующее действию вертикального центрального давления колеса 10 т.

Вычисленные по этому значению величины относительных местных изгибных  $\Delta \varepsilon_{из}$  продольных деформаций головки для трех точек по ее высоте представлены в виде эпюры (б) на рис. 2. Вычисления проведены по формуле

$$\Delta \varepsilon_{из} = \frac{\Delta M_{гол}}{EI_{гол}} y$$

где  $y_1$  — координата точки относительно собственной оси головки.

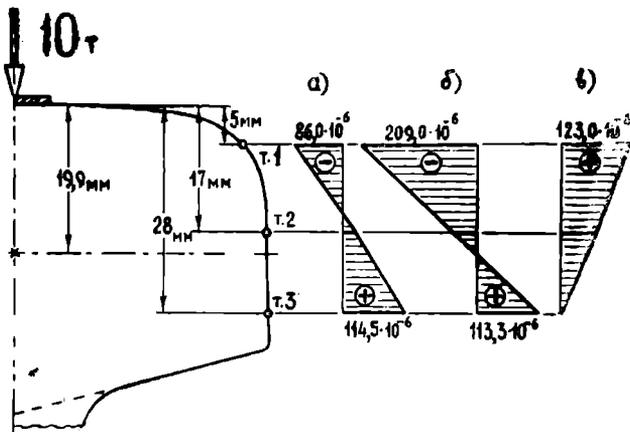


Рис. 2

На этом же рисунке на эпюре (а) представлены экспериментальные значения деформаций для рельса Р50 на сплошном жестком основании. Разность эпюр (а) и (б) дает полуэмпирическую эпюру (в), характеризующую распределение по высоте боковой грани головки продольных деформаций расклинивания.

Из предыдущих исследований известно, что внутри головки под контактной площадкой на глубине 5—20 мм также имеют место продольные деформации расклинивания. На основании сопоставления данных литературы и полученных выше результатов предложена математическая модель распределения по ширине и высоте головки рельса продольных де-

формаций расклинивания. Для точек на уровне 5 мм от поверхности катания приближенное значение продольной деформации расклинивания в диапазоне вертикального давления колеса  $P = 10-20$  т может быть вычислено по формуле

$$\Delta \varepsilon_{\text{раск}} = \frac{299,5 \cdot 10^{-6} \cdot \sqrt[3]{P}}{1 + 0,44 \cdot \xi_i^2}$$

где  $P$  — вертикальное центральное давление колеса в тоннах,  
 $\xi_i$  — расстояние по ширине головки от оси симметрии до исследуемой точки в сантиметрах.

— Полное значение продольной деформации в точках верхней части головки рельса может быть представлено алгебраической суммой трех компонентов

$$\varepsilon = \varepsilon_{\text{общ}} + \Delta \varepsilon_{\text{изг}} + \Delta \varepsilon_{\text{раскл}}$$

Применение изложенной в предыдущей главе методики и предложенных выше расчетных зависимостей к сечению в середине пролета между опорами показало, что в этом случае для соответствия результатов расчета и результатов эксперимента необходимо вводить к значению  $\Delta A_{\text{гол}}$  поправочный множитель 1,17

## ГЛАВА V

### ОПЫТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕСТНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ГОЛОВКИ РЕЛЬСА В ПРЯМОМ УЧАСТКЕ ПУТИ

В связи с отсутствием рекомендаций о методике опытных исследований местных продольных деформаций головки рельса в пути в диссертации проведены некоторые предварительные лабораторные исследования, имевшие целью выяснение влияния на местные продольные деформации кромок головки величины эксцентриситета вертикального давления и местного изгиба шейки от горизонтальных поперечных сил.

Установлено, что при одновременном измерении местных продольных деформаций в трех точках (верхней наружной и обеих нижних кромках) головки и при средних значениях ( $\pm 10$  мм) эксцентриситета давления можно к измеренным деформациям головки применять известные приемы вычисления полусумм и полуразностей. При больших значениях эксцентриситета (порядка  $\pm 20$  мм) существенным образом

проявляется локальный изгиб свесов головки (подобно местному изгибу полки двутавра под действием сосредоточенной силы на краю полки).

По данным экспериментов видно, что перемена знака деформаций происходит примерно на удалении 4 см от центра контактной площадки. На основе разработок, выполненных в МИИТе А. И. Гасановым, в диссертации установлены необходимые значения частотных характеристик регистрирующей аппаратуры для записи местных продольных деформаций кромок головки в зависимости от скорости движения нагрузки.

Опытные исследования были проведены на прямом участке пути с рельсами Р50 (шпалы деревянные) при многократных заездах тепловоза ТЭ3 со скоростью 3, 40, 70, 100 км/час.

Датчиками были оснащены восемь сечений в междушпальных пролетах и над шпалами в пределах одного звена.

На рис. 3 представлена для примера фотокопия осциллограммы продольных деформаций кромок головки (точки 1,3 и 3 по рис. 2) в сечении в середине междушпального пролета. Аналогичный вид имеют осциллограммы и для сечений над



Рис. 3

шпалами. Основание пик, отражающих местные деформации, составляет в обоих случаях величину порядка 8—10 см, что указывает на малое влияние дополнительного изгиба рельса в междушпальном пролете при деревянных шпалах и на доминирующую роль упругого сжатия шейки в формировании местного изгиба головки.

Результаты статистической обработки опытных данных, полученных при  $V = 70$  км/час показали, что средние значения местных продольных деформаций сжатия на верхней на-

наружной выкружке головки составляют  $340 \text{ кг/см}^2$  при коэффициенте вариации  $13,7\%$ . Расчетное значение местных напряжений в этой точке составляет  $360 \text{ кг/см}^2$ , что свидетельствует об удовлетворительной сходимости результатов и подтверждает правомерность применения разработанного способа расчета к условиям динамического, безударного нагружения рельса.

В пятой главе приведена также оценка условий применимости в практических расчетах вычисления  $\Delta M_{\text{гол}}$  как для балки, лежащей на упругой полуплоскости, что было впервые применено в работе J. Eisenmann.

Установлено, что для вычисления компонента  $\Delta \epsilon_{\text{изг}}$  для сечения в середине междушпального пролета значение  $\Delta M_{\text{гол}}$  можно принимать по формуле

$$\Delta M_{\text{гол}} = 0,5 \cdot P \cdot \sqrt[4]{\frac{1}{\delta_{\text{ш}}} \cdot I_{\text{гол}} \cdot h_{\text{гол}} \cdot \log \frac{h_{\text{гол}} + b_{\text{ш}}}{h_{\text{гол}}}}$$

Применение этой приближенной формулы для  $\Delta \epsilon_{\text{изг}}$  и приведенной в предыдущей главе формулы для  $\Delta \epsilon_{\text{раскл}}$  дает простой практический способ расчетного определения полного значения местных продольных деформаций в точках головки рельса на уровне  $5 \text{ мм}$  от поверхности катания.

## ВЫВОДЫ

1. В диссертации при исследовании местного упругого деформирования элементов профиля рельса впервые, с получением приемлемых числовых результатов, применена плитно-балочная расчетная схема по методу перемещений в аналитических функциях проф. А. В. Александрова, основанных на решениях теории упругости.

2. Параметры выделяемого участка рельса для определения местных упругих деформаций головки и шейки по схеме бруса и пластинки конечной длины установлены в диссертации с учетом результатов предварительных обширных лабораторных экспериментов, выполненных при нескольких вариантах опирания рельса.

Установлено, что если за модуль измерения принять высоту шейки ( $b_{\text{ш}}$ ), то при расчете на действие вертикального давления колеса минимально необходимая длина условно выделяемого расчетного участка рельса определяется соотношением  $l = 5 \cdot b_{\text{ш}}$ .

3. Результаты применения новой расчетной схемы к определению вертикальных упругих деформаций и напряжений

в шейке рельса, являющейся одним из источников местного упругого деформирования головки, удовлетворительно согласуются с результатами эксперимента при вертикальном центральном нагружении.

Разработанная методика позволяет проводить сравнительные расчеты по напряженно-деформированному состоянию шейки (за пределами рельсового стыка) при варьировании основных геометрических параметров профиля рельса и конструктивных изменений в устройстве подрельсового основания, что имеет практическое значение в решении задач по совершенствованию конструкции верхнего строения пути.

4. Применение расчетной схемы рельса как плитно-балочной системы к исследованию местных продольных деформаций головки и сопоставление полученных результатов с результатами эксперимента впервые позволило детально представить качественные и количественные характеристики расклинивающего эффекта, возникающего в головке от контактного давления.

5. В связи с установленными в диссертации закономерностями местного упругого деформирования головки рельса предложена, построенная на полуэмпирической основе, модель расклинивающего действия контактного давления, описывающая рельеф распределения продольных деформаций расклинивания по поперечному сечению головки при вертикальном центральном давлении колеса. Тем самым сформирована одна из предпосылок научного анализа явлений, происходящих внутри головки рельса, что имеет важное значение для исследования прочности рельсов.

6. В диссертации предложена приближенная формула для определения продольных деформаций расклинивания в зависимости от величины вертикального центрального давления колеса. Применение предложенной формулы обеспечивает удовлетворительные результаты расчета при вертикальном давлении колеса в пределах от 10 до 20 т.

7. В экспериментально-опытной части диссертации разработаны и прошли практическую проверку основные положения по проведению опытных измерений местных продольных деформаций головки рельса в действующем пути: схема размещения датчиков на головке рельса, необходимые частотные характеристики регистрирующей аппаратуры, особенности обработки опытных данных.

8. Реализация разработанных положений позволила получить в опытах на действующем пути осциллограммы, которые свидетельствуют о том, что местные продольные деформа-

ции кромок головки рельса в эксплуатационных условиях соизмеримы с общими продольными деформациями. При этом протяжение линии влияния местных продольных деформаций головки в междушпальном пролете на прямом участке пути составляет 8—10 см (для рельса Р50).

9. Результаты статистической обработки данных измерений в прямом участке пути подтвердили приемлемость разработанной методики расчета к условиям динамического вертикального воздействия колес при небольших ( $\pm 10$  мм) эксцентриситетах. Расчетные значения местных продольных деформаций кромок головки рельса Р50 при движении теплового ТЭЗ со скоростью 70 км/час лишь на 5—6% отличаются (по средним значениям) от результатов опытных измерений.

10. Впервые применительно к местным продольным деформациям головки рельса построена по экспериментальным данным поверхность влияния, иллюстрирующая существенную местную деформативность консольных свесов (полок) головки при эксцентриситетах вертикального давления порядка  $\pm 20$  мм, что должно привлечь к себе внимание в последующих исследованиях.

11. Выполненная работа в целом расширяет и углубляет представление о явлениях местного упругого деформирования элементов профиля рельса, позволяет выполнять расчеты местной вертикальной жесткости рельса, существенно уточняет результаты расчетного определения продольных деформаций головки в нагруженном сечении при действии вертикального динамического давления колеса, что имеет научное и практическое значение.

Список использованной в диссертации литературы содержит 73 наименования.

Основное содержание работы опубликовано в следующих статьях автора:

1. О расчете местных вертикальных деформаций и напряжений в шейке рельса. Труды БелИИЖТа, вып. 52, «Высшая школа», Минск, 1967

2. О расчете местных продольных деформаций и напряжений в головке рельса при действии вертикальной силы. Труды БелИИЖТа, вып. 71, Гомель, 1968.

Материалы диссертации доложены на шестой, седьмой и восьмой научно-технических конференциях кафедр БелИИЖТа и ДорНТО Белорусской ж. д., что отражено в напечатанных тезисах, а также на расширенном научно-техническом совещании Рельсовой лаборатории отделения Пути ЦНИИ МПС.

---

Подписано к печати 6.V.70 г. Печатных листов 1,25.

Формат  $60 \times 84^{1/16}$ .

АЭ 32185. Заказ 1030. Тираж 120.

---

Тип. БелНИЖТа, г. Гомель.