

МИНИСТЕРСТВО ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ СССР

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

На правах рукописи

624.072.2

БОРИСОВ Владимир Борисович

**МАТРИЧНАЯ ФОРМА
УПРУГО-ПЛАСТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА
СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМЫХ
СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ МЕТОДОМ
ПРОБ И ИТЕРАЦИЙ**

01.02.03. — Строительная механика

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

Днепропетровск — 1980 г.

НТБ
ДНУЖТ

НТБ
ДНУЖТ

Общая характеристика работы.

Актуальность проблемы.

Решениями XXV съезда КПСС, постановлением ЦК КПСС и Совета Министров СССР "О повышении эффективности и качества научных исследований в высших учебных заведениях" предусматривается дальнейшая интенсификация научной работы в решении важнейших народно-хозяйственных задач по повышению надежности и долговечности машин и сооружений, уменьшению их материалоемкости, улучшению качества и снижению трудоемкости на всех стадиях изготовления промышленной продукции.

Решение этих задач требует дальнейшего развития и совершенствования методов расчета на прочность и жесткость, позволяющих полнее учитывать действительные условия работы машин и сооружений и происходящие при этом изменения физико-механических свойств материала.

68862

Большое практическое значение имеют решения задач, связанные с исследованием напряженно-деформированного состояния в элементах конструкций при сложном совместном температурно-механическом нагружении за пределами упругости материала. В литературе описано большое число работ, посвященных расчету статически неопределимых стержневых конструкций в условиях сложного нагружения. Однако очень мало работ, в которых рассматривается решение задачи для случая совместного механического и температурного сложного нагружения при упруго-пластической деформации материала. Поэтому весьма актуально изучение напряженно-деформированного состояния статически неопределимых стержневых элементов подверженных одновременному механическому и температурному сложному нагружению, учитывающему изменение физико-механиче -

НТБ
ДНУЖТ

ских характеристик в зависимости от температуры, времени нагружения, величины и знака пластической деформации, термоциклирования.

Цель работы состояла в исследовании напряженно-деформированного состояния статически неопределимых стержневых систем при сложном совместном температурно-механическом нагружении за пределами упругости материала. Для ее достижения необходимо было выполнить следующее:

1. Разработать упрощенные методы упруго-пластического расчета пространственных статически неопределимых стержневых систем, подверженных одновременному механическому и температурным воздействиям в условиях простого и сложного нагружения. Стержни могут быть по длине переменной жесткости и ослаблены различными концентраторами напряжений.

2. Упруго-пластические расчеты должны учитывать изменения физико-механических характеристик материала в зависимости от температуры, времени нагружения, величины и знака пластической деформации, числа теплообмена.

3. Изучить возможности ускорения сходимости итерационного решения канонических уравнений путем улучшения нулевого приближения.

4. Разработать метод упруго-пластического расчета неразрезных балок и балок на упруго-пластическом слабосвязанном основании при совместном механическом и температурном воздействиях. Рассмотреть балки переменной жесткости с учетом концентрации напряжений.

5. На основании разработанных методов упруго-пластических расчетов предложить конструкционные и технологические способы

НТБ
ДНУЖТ

управления напряженно-деформированным состоянием указанных
вышестержневых систем и элементов конструкций;

Научная новизна

Создана упрощенная методика упруго-пластического расчета пространственных статически неопределимых стержневых систем при совместном температурно-механическом нагружении, учитывающая изменение физико-механических характеристик материала. Стержни могут быть по длине переменной жесткости и ослаблены различными концентраторами напряжений. Расчет пространственных стержневых систем, поддерживавших жесткую плиту (балку) произведен с учетом релаксации модулей упругости стержней во времени.

Разработаны основы упруго-пластического расчета неразрезных балок на упруго-пластическом и нелинейно-упругом ослабленном основании, подвергавшихся совместному механическому и температурному воздействию;

Решения учитывают возможность отрыва балки в отдельных точках от основания.

Практическая ценность результатов исследования

Результаты исследования и рекомендации полученные в диссертационной работе, были использованы: I) при выполнении кафедрой сопротивления материалов ЭМИ им.В.Я.Чубаря научно-исследовательской работы по важнейшей тематике МЧМ УССР (приказ МЧМ УССР № 600 от 20.XII.1978г.) "Исследование и расчеты на ЭЦВМ температурных полей и напряженно-деформированного состояния в рамных конструкциях и совершенствование существующей

НТБ
ДНУЖТ

методики проектирования металлургических изложниц на основе анализа стойкости промышленных партий внедряемых термоуравновешенных изложниц" (планируемый экономический эффект 530000рублей в год); 2) при выполнении с помощью разработанного метода упруго-пластического расчета главных балок мостовых кранов в работе "Исследование металлоконструкций мостовых кранов Макеевского завода им.С.М.Кирова, проработавших более 20 лет", экономический эффект 140000рублей в год.

Апробация работы

Основные результаты работы докладывались автором на отчетных научно-технических конференциях Запорожского машиностроительного института им.В.Я.Чубаря (1970, 1977, 1978, 1979, 1980гг), на научно-технической конференции по определению напряжений и перемещений в элементах конструкций сложной формы на основе гипотезы неплоских сечений (г.Горький, январь 1972г.).

Содержание работы

Материалы диссертации размещены в введении, пяти главах и приложениях:

Введение содержит постановку задачи исследования и обзор литературных данных по теме диссертации. Отмечено, что в научных исследованиях, выполненных с помощью метода проб и итераций проф. В.В.Абрамова, к началу выполнения диссертационной работы отсутствовали расчеты:

1) для пространственных статически неопределимых стержневых систем, подверженных одновременному механическому и тем-

НТБ
ДНУЖТ

пературному сложному нагружению, учитывающему изменение ϕ -
зико-механических характеристик в зависимости от температуры,
времени нагружения, величины и знака пластической деформации,
термоциклирования;

2) не имелось решений упруго-пластического расчета не-
разрезных балок и балок на нелинейно-упругом и упруго-пласти-
ческом основании при совместном механическом и температурном
нагружении.

Обосновываются задачи поставленные в диссертационной
работе.

В первой главе методом перемещений получено общее реше-
ние задачи по определению усилий в стержнях системы и переме-
щений произвольно нагруженного абсолютно жесткого тела. Тело
подвергается действию произвольно приложенных сосредоточенных
и распределенных нагрузок (рис. I). Стержни, при помощи кото-
рых абсолютно жесткое тело прикреплено к неподвижным опорам,
имеют переменную жесткость, могут быть неточно изготовлены
по длине и подвергаться температурному воздействию. Путем
статического, геометрического и физического обследования сис-
темы на рис. I выводим формулу для определения усилия N_i в
любом стержне i :

$$N_i = [\bar{e}_2 \bar{l}_i + \bar{e}_y \bar{m}_i + \bar{e}_x \bar{n}_i + \bar{\theta}_x (\bar{y}_i \bar{l}_i + \bar{z}_i \bar{m}_i) + \\ \bar{\theta}_y (\bar{x}_i \bar{l}_i + \bar{z}_i \bar{n}_i) + \bar{\theta}_z (\bar{x}_i \bar{m}_i + \bar{y}_i \bar{n}_i) - \bar{\delta}_i] \psi_i \quad (I)$$

Решение получено в матричной форме :

$$\bar{A} x = \bar{B} \quad (2)$$

НТБ
ДНУЖТ

$$A = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1j} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2j} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ a_{61} & a_{62} & \dots & a_{6j} & \dots & a_{6n} \end{vmatrix} \xrightarrow{\bar{x}} \begin{vmatrix} \bar{a}_{11} \\ \bar{a}_{12} \\ \vdots \\ \bar{a}_{6j} \\ \vdots \\ \bar{a}_{6n} \end{vmatrix} \quad (3)$$

$$\vec{b} = \begin{vmatrix} b_1 = P_2 + \sum_1^n \bar{\delta}_i \psi_i \bar{l}_i \\ b_2 = P_y + \sum_1^n \bar{\delta}_i \psi_i \bar{m}_i \\ b_3 = P_x + \sum_1^n \bar{\delta}_i \psi_i \bar{n}_i \\ b_4 = M_x + \sum_1^n \bar{\delta}_i \psi_i \bar{l}_i \bar{y}_i - \sum_1^n \bar{\delta}_i \psi_i \bar{m}_i \bar{z}_i \\ b_5 = M_y + \sum_1^n \bar{\delta}_i \psi_i \bar{l}_i \bar{x}_i - \sum_1^n \bar{\delta}_i \psi_i \bar{n}_i \bar{z}_i \\ b_6 = M_z + \sum_1^n \bar{\delta}_i \psi_i \bar{n}_i \bar{y}_i - \sum_1^n \bar{\delta}_i \psi_i \bar{m}_i \bar{x}_i \end{vmatrix} \quad (4)$$

Рассмотрены несколько типовых примеров расчета часто встречающихся в инженерной практике статически неопределенных стержневых систем. Эти решения получаются как частные случаи из общего решения (2). В случаях, когда стержни поддерживают не абсолютно жесткое тело, а деформируемое, полученные выше решения используются в качестве нулевого приближения в методе последовательных приближений.

Изложен упруго-пластический расчет статически неопределимых стержневых систем методом перемещений. Для иллюстрации метода рассмотрены задачи при линейном упрочнении (разупрочнении) материала. Особенности упруго-пластического расчета

НТБ
ДНУЖТ

$$\sigma_i = \sigma_{нч} \left(1 - \frac{D}{E}\right) + \left\{ -\delta + \left[\left(e_i + \theta_{zi} \left(\bar{y}_i - \frac{R_{yi}}{R_0} \right) + \theta_{zy} \left(\bar{x}_i - \frac{R_{xi}}{R_0} \right) \right) \lambda \right] D \right\} \quad (1)$$

Дана схема выполнения упруго-пластического расчета.

Рассмотрен упруго-пластический расчет статически неопределимых стержневых систем, рис. 2, когда поперечная балка или плита не являются абсолютно жесткими. Расчет выполняется путем итерационного решения системы уравнений методов сил и перемещений. Сходимость процесса итераций может быть значительно улучшена, если в качестве начального приближения принять усилия или перемещения, полученные в предположении, что поперечная балка или плита являются абсолютно жесткими. Как показали выполненные расчеты даже для простых плоских упруго-деформированных стержневых систем, состоящих из параллельных стержней одинаковой жесткости, в зависимости от жесткости поперечного бруса число приближений сокращается в 5 и более раз. Предложенный метод выбора начального приближения позволяет получить более оптимальную эффективность при рассмотрении нелинейных упругих и пластически деформируемых систем. При решении упруго-пластической задачи следует учитывать ограничения, накладываемые необратимостью механического цикла нагрузки и разгрузки материала.

Изложенный метод задания нулевого приближения может быть успешно использован в сочетании с методом Зейделя.

Для примера на рис. 3 показаны эпюры распределения изгибающих моментов в прессующей балке трансформатора, полученные после нулевого приближения (пунктирные линии) и точного решения задачи (сплошные линии).

НТБ
ДНУЖТ

Рассмотренный метод и формулы для упруго-пластического расчета статически неопределимых стержневых систем применимы к задачам теории ползучести при данной зависимости $\dot{\epsilon} - \sigma$

Во второй главе на основании методики упруго-пластического расчета статически неопределимых стержневых систем, изложенной в первой главе, выведены формулы для определения перемещений гипотетического сечения и напряжений при совместном упруго-пластическом пространственном изгибе с растяжением-сжатием слоистого стержня (рис. 4) от одновременного температурного и механического нагружения:

1. Нормальные напряжения в сечении $m-m$

а) для упруго-деформируемых волокон:

$$\sigma_y = \epsilon \epsilon \quad (8)$$

б) для пластически деформируемых волокон:

$$\sigma^n = \sigma^{ny} \left(1 - \frac{D}{\epsilon}\right) + \epsilon D \quad (9)$$

2. Касательные напряжения, действующие в сечении в направлении осей $\bar{y}$ и $\bar{x}$:

$$\tau_y = \frac{d}{dz} \int_{r_{от}} \frac{\sigma_z}{b(y)} dF \quad (10)$$

$$\tau_x = \frac{d}{dz} \int_{r_{от}} \frac{\sigma_z}{b(x)} dF \quad (11)$$

3. Относительная продольная деформация волокна ϵ , при отсчете от какой-либо точки А на контуре поперечного сечения $m-m$:

$$\epsilon = -\delta + \left[\frac{P + R_{y_0} - \int_{r_{от}} \sigma^n \left(1 - \frac{D}{\epsilon}\right) dF}{R_{y_0}} + \left(-y + \frac{R_{y_1}}{R_{y_0}}\right) \theta_{xx} + \left(-x + \frac{R_{x_1}}{R_{x_0}}\right) \theta_{yy} \right] \quad (12)$$

4. Относительный угол поворота сечений $m-m$ при отсчете от какой-либо точки A на контуре поперечного сечения $m-m$:

$$\theta_{zx} = \frac{\left[-M_x + R_{\delta y_0} - \sum_{i=1}^n \sigma_i^m \left(1 - \frac{D_i}{E_i} \right) y_i F_i \right] R_{y_0}}{R_{y_1}^2 - R_{y_2} R_{y_0}} - \frac{\left[R_{\delta y_0} - \sum_{i=1}^n \sigma_i^m \left(1 - \frac{D_i}{E_i} \right) F_i \right] R_{y_1}}{R_{y_1}^2 - R_{y_2} R_{y_0}}, \quad (13)$$

$$\theta_{zy} = \frac{\left[-M_y + R_{\delta x_0} - \sum_{i=1}^n \sigma_i^m \left(1 - \frac{D_i}{E_i} \right) x_i F_i \right] R_{x_0}}{R_{x_1}^2 - R_{x_2} R_{x_0}} - \frac{\left[R_{\delta x_0} - \sum_{i=1}^n \sigma_i^m \left(1 - \frac{D_i}{E_i} \right) F_i \right] R_{x_1}}{R_{x_1}^2 - R_{x_2} R_{x_0}}, \quad (14)$$

где характеристики жесткости поперечного сечения стержня, записанные в разностной и интегральной форме имеют вид:

$$\left. \begin{aligned} R_{y_k} &= \sum_{i=1}^m E_i F_i y_i^k + \sum_{i=1}^n D_i F_i y_i^k \\ R_{x_k} &= \sum_{i=1}^m E_i F_i x_i^k + \sum_{i=1}^n D_i F_i x_i^k \end{aligned} \right\} k = 0, 1, 2 \quad (15)$$

$$R_{xy} = \sum_{i=1}^m E_i F_i x_i y_i + \sum_{i=1}^n D_i F_i x_i y_i \quad (16)$$

$$\left. \begin{aligned} R_{\delta y_k} &= \sum_{i=1}^m \sigma_i E_i F_i y_i^k + \sum_{i=1}^n \sigma_i D_i F_i y_i^k \\ R_{\delta x_k} &= \sum_{i=1}^m \sigma_i E_i F_i x_i^k + \sum_{i=1}^n \sigma_i D_i F_i x_i^k \end{aligned} \right\} k = 0, 1 \quad (17)$$

$$\left. \begin{aligned} R_{y_k} &= \int_{F_1} E y^k dF + \int_{F-F_1} D y^k dF \\ R_{x_k} &= \int_{F_1} E x^k dF + \int_{F-F_1} D x^k dF \end{aligned} \right\} k = 0, 1, 2 \quad (18)$$

$$R_{xy} = \int_{F_1} E x y dF + \int_{F-F_1} D x y dF \quad (19)$$

$$\left. \begin{aligned} R_{\delta y_k} &= \int_{F_1} \sigma E y^k dF + \int_{F-F_1} \sigma D y^k dF \\ R_{\delta x_k} &= \int_{F_1} \sigma E x^k dF + \int_{F-F_1} \sigma D x^k dF \end{aligned} \right\} k = 0, 1 \quad (20)$$

Рассмотрены перемещения при упруго-пластической деформации слоистого стержня под действием механических и температурных воздействий энергетическим методом и методом начальных параметров.

Теоретически исследовано влияние релаксации напряжений на деформации отливок.

Для иллюстрации метода приведены результаты исследования влияния релаксации остаточных напряжений в отливке длиной 2000мм на изменение длины отливки, коробление и изменение напряженного состояния в ней с течением времени. Материал отливки чугун СЧ 21-40:

В третьей главе изложен экспериментально-теоретический метод расчета пластин с концентраторами напряжений при механическом нагружении.

Проведен расчет максимальных (σ_{max}), номинальных (σ_{nom}) напряжений и теоретических коэффициентов концентрации напряжений (α_t) для однородных и изготовленных из двухслойного материала пластин, ослабленных боковыми вырезами, при осевом растяжении и чистом изгибе (рис. 5-6). Результаты работы помещены Г.Н.Савиным и В.И.Тульчиным в "Справочнике по концентрации напряжений", издательское объединение "Выща школа", 1976.

В четвертой главе рассматривается общее решение задачи по определению напряжений и перемещений в многопролетной неразрезной балке и балке на нелинейно-упругом и упруго-пластическом основании при одновременном механическом и температурном нагружении, рис. 2. Балка может быть многослойной и переменной жесткости, испытывать упругие, нелинейно-упругие и упруго-пластические деформации с любым законом упрочнения и разупрочнения.

НТБ
ДНУЖТ

Расчеты напряжений в балках и опорных стержнях с переменным поперечным сечением могут выполняться с приближенным учетом концентрации напряжений.

Все перечисленные выше задачи решаются смешанным методом строительной механики в сочетании с изложенным в главах I-III диссертации методом проб и итераций, а также экспериментально-теоретическим методом исследования концентрации напряжений в опасных сечениях плоских стержней.

Метод проиллюстрирован на примерах:

Для балок и поддерживающих ее стержней переменной жесткости упруго-пластические расчеты выполняются с учетом концентрации напряжений.

В пятой главе рассмотрено проектирование статически неопределимых стержневых систем равного сопротивления, описаны результаты исследования технологических напряжений и деформаций на ЭЦВМ БЭСМ-4М. Приведены результаты расчета термопластических напряжений в полосе из конструкционной углеродистой стали при охлаждении ее в различных средах после поверхностного нагрева. Рассмотрены углеродистые стали следующих марок: ст.08, ст.15, ст.20, ст.25, ст.30, ст.35, ст.40, ст.45. Полосы охлаждались симметрично и асимметрично. В последнем случае охлаждение полос сопровождалось деформацией изгиба. В первом случае деформация изгиба отсутствовала. С целью управления напряженно-деформированным состоянием полос, последние перед поверхностным нагревом подвергались равномерному нагреву при температуре $t = 20^{\circ}\text{C}$, $t = 100^{\circ}\text{C}$, $t = 400^{\circ}\text{C}$, $t = 600^{\circ}\text{C}$.

Всего было решено 320 упруго-пластических нестационарных задач. Время каждого цикла нагрева и охлаждения разбивалось на

НТБ
ДНУЖТ

5-6 этапов. Анализ выполненных расчетов для случая симметричного распределения температурных полей показал:

1) При поверхностном нагреве на поверхностях образуются остаточные напряжения растяжения, а в центре сечения полосы напряжения сжатия.

2) Предварительный подогрев полосы до $t_{np} = 400^{\circ}\text{C}$ изменяет знак остаточных напряжений. Теперь на поверхности будут напряжения сжатия, а центральные олои испытывают напряжения растяжения.

3) Указанная в п.1 и п.2 закономерность оправедлива для всех 8 марок стали.

4) Остаточные напряжения от предыдущего цикла нагрева и охлаждения оказывают влияние на временные и остаточные напряжения только на последующие два-три цикла (имеет место явление приспособляемости материала).

В приложении I - приведены эпюры временных и остаточных напряжений при многократном поверхностном нагреве конструкционной углеродистой стали. Графики распределения температур и пределов текучести по толщине термически обрабатываемой полосы. Рассмотрены ст.08, ст.15, ст.20, ст.25, ст.30, ст.35, ст.40, ст.45.

В приложении II приведена программа упруго-пластического расчета полоо и пластин, простейших статически неопределимых стержневых систем, подверженных одновременному нестационарному механическому и температурному воздействию.

ВЫВОДЫ

1. Разработана упрощенная методика упруго-пластического расчета пространственных статически неопределимых стержневых систем, поддерживавших абсолютно жесткое тело. Стержни могут быть переменной жесткости по длине и ослаблены различными концентраторами напряжений. Система подвергается одновременному механическому и температурному нагружениям. Решения получены в виде готовых формул для определения перемещений жесткого тела в пространстве и усилий (напряжений) в любом стержне. Решения представлены в матричной форме, облегчающие применение расчета на ЭВМ.

2. Выведены формулы для расчета пространственных стержневых систем, поддерживавших абсолютно жесткую плиту (балку) с учетом релаксации модулей упругости стержней во времени.

3. Предложен итерационный способ расчета пространственных стержневых систем, поддерживавших упругую и упруго-пластическую балку и плиту. Разработана методика улучшения сходимости итерационного процесса. Рассмотрены упрощенные способы проектирования оптимальных стержневых конструкций.

4. Получены формулы для упруго-пластического расчета многослойных (композитных) стержней при осевом растяжении (сжатии) и пространственном изгибе. Стержень подвергается любому нестационарному совместному механическому и температурному воздействию.

5. Выведена общая формула для определения первых главных напряжений в опасных сечениях пластин, ослабленных концентраторами напряжений типа выкружка, галтели и т.п. Даны частные

НТБ
ДНУЖТ

решения для пластин, усиленных в зонах концентрации напряжений впаивными кольцами и накладками.

6. Разработаны основы упруго-пластического расчета неразрезных балок и балок на упруго-пластическом и нелинейно-упругом слабовязанном основании. Балки могут опираться одновременно на податливое основание и жесткие опоры. Системы подвергаются совместному механическому и температурному воздействию.

Решения учитывают возможность отрыва балки в отдельных точках от основания.

7. Во всех перечисленных выше задачах упруго-пластические расчеты учитывают изменение физико-механических характеристик материала в зависимости от температуры, времени нагружения, величины и знака пластической деформации и числа циклов нагружения.

8. Составлены программы для расчета на ЭВМ "БЭСМ-4М" одномерного температурного поля с переменными теплофизическими параметрами.

9. Составлена программа для упруго-пластического расчета на ЭВМ "БЭСМ-4М" многослойного (композитного) стержня сложного поперечного сечения при произвольном одновременном механическом и температурном нагружении. Эта же программа может быть использована для расчета: кривых стержней, статически неопределимых стержневых систем, поддерживающих абсолютно жесткую балку и плиту, прямых и естественно изогнутых пластин при цилиндрическом и шаровом изгибах. Программа составлена для материалов с диаграммой деформирования Прандтля, но с учетом различия пределов текучести на растяжение и сжатие и изменений модуля упругости, пре-

68869

НТБ
ДНУЖТ

дела текучести, коэффициента температурного расширения в зависимости от температуры.

10. Аналитически исследовано для восьми марок конструкционной углеродистой стали (ст.08, ст.15, ст.20, ст.25, ст.30, ст.35, ст.40, ст.45) влияние предварительного подогрева, содержание углерода, термоциклирования, механических нагрузок на формирование временных и остаточных напряжений в полосе после поверхностного нагрева с последующим охлаждением до комнатной температуры. Даны практические рекомендации по уменьшению коробления и остаточных напряжений.

Основные положения диссертации отражены в следующих работах.

1. Теоретическое исследование напряжений в опасных сечениях пластин сложной формы./Абрамов В.В. Тонконог А.В. Борисов В.Б. и др. Труды Горьковского политехнического института, 1972, т.18, вып.10, с.65-66.
2. Абрамов В.В., Иванченко О.Н. Борисов В.Б. Упрощенный способ расчета плоских и пространственных статически неопределимых стержневых систем.-Реферативная информация о законченных НИР в ВУЗах УССР. Строительная механика и расчет сооружений, 1974, вып.5, с.23-24.
3. Абрамов В.В., Борисов В.Б., Карчев Я.Я. Теоретическое исследование влияния релаксации напряжений на деформации детали.-Реферативная информация о законченных НИР в ВУЗах УССР. Машиностроение и металлообработка, 1976, вып.17, с.36-37.
4. Абрамов В.В., Борисов В.Б. Матричная форма упруго-пластического расчета статически неопределимых стержневых систем

НТБ
ДНУЖТ

методом проб и итераций.-Запорожье, 1972, 38 с. Рукопись представлена ЗМИ. Деп. в УкрНИИТИ 15 февраля 1979 г. № 1359.

5. Абрамов В.В., Ованесова Ж.Г., Борисов В.Б. К расчету плоских статически неопределимых рам при сложном нагружении.-Запорожье, 1979, 19 с. Рукопись представлена ЗМИ. Деп. в УкрНИИТИ 24 октября 1979 г., № 1736.
6. Алгоритм и программа упруго-пластического расчета элементов конструкций методом проб и итераций. /Абрамов В.В., Борисов В.Б., Кичаев М.П. и др.- Запорожье, 1980, 54 с. Рукопись представлена ЗМИ. Деп. в УкрНИИТИ 20 марта 1980 г. № 1957.
7. Абрамов В.В., Сымков А.И., Борисов В.Б. Изгиб биметаллических полос, ослабленных боковыми вырезами.- Сб. научных трудов. /Моск. ин-т инженеров сельскохозяйственного производства.-М: МИИСП. Техническая механика в сельскохозяйственном производстве. том XVI, вып

НТБ
ДНУЖТ

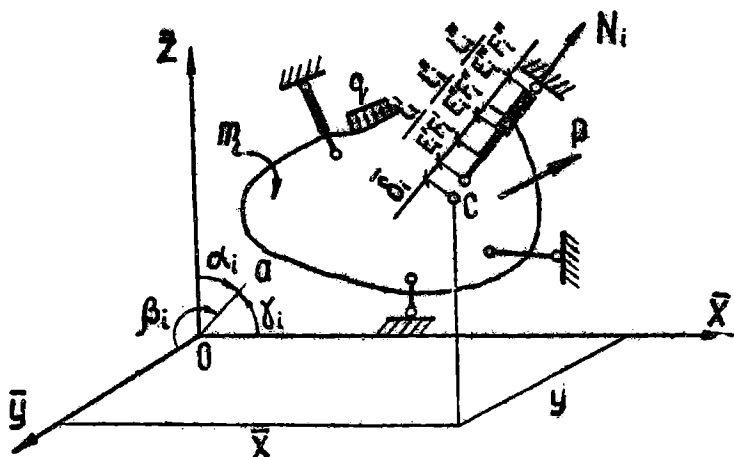


Рис. 1.

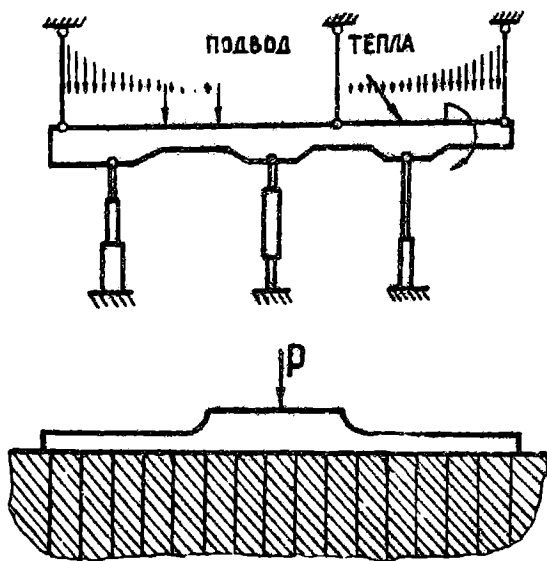


Рис. 2.

НТБ
ДНУЖТ

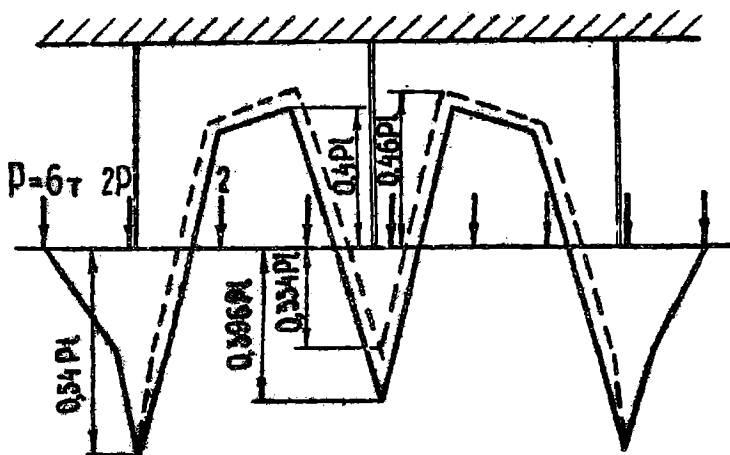


Рис. 3

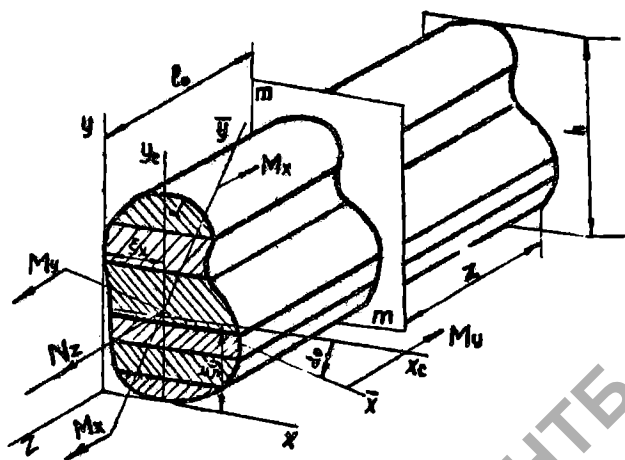


Рис. 4.

НТБ
ДНУЖТ

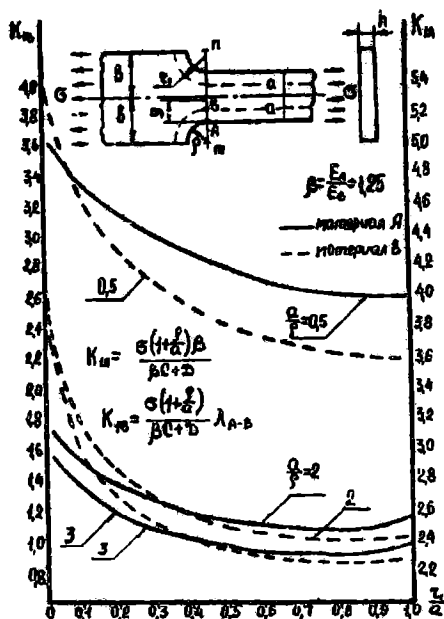


Рис. 5

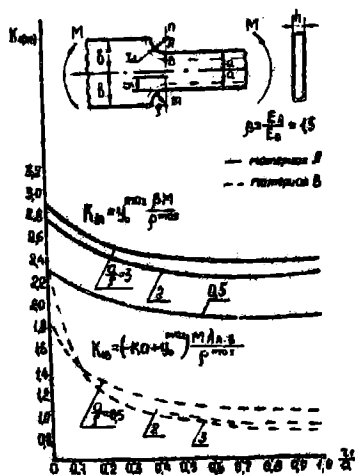


Рис. 6

т.п. 3ТЗ. 32.с. 739-р.200.