

МИНИСТЕРСТВО ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ СССР  
ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА  
имени М.И.КАЛИПИНА

На правах рукописи

БДН 074.У

ГЕРАСИМОВ ВИТАЛИЙ ПЕТРОВИЧ

НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ БЕСТКОПЛАСТИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК  
И КОЛЬЦЕВЫХ РАМ ПРИ НЕОДНОРОДНОМ НАПРЯЖЕННОМ СОСТОЯНИИ

01.02.03 - Строительная механика

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертация на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

НТБ  
ДНУЖТ

Работа выполнена в Институте технической механики АН УССР

Научный руководитель

доктор технических наук, профессор В.С. ГУДРАМСКИЧ

Официальные оппоненты

доктор физико-математических наук, профессор И.Г.ТЕРЕГУЛОВ.

Кандидат технических наук, доцент Е.В. БУЖКЕВИЧ.

Ведущее предприятие указано в решении Специализированного Совета ДИИТ.

Защита диссертации состоится "2" апреля 1981 г.  
в "15" часов на заседании Специализированного Совета К П4.07.02  
в Днепропетровском институте инженеров железнодорожного транспорта  
имени М.И.Калинина.

Отзывы на автореферат просим направлять по адресу:

320629, ГСП, г. Днепропетровск, Ю, ул. Академика Лазаряна, 2,  
ДИИТ, Ученому секретарю Совета К П4.07.02,

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан "26" сентября 1981 г.

НТБ  
ДНУЖТ

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В настоящее время широкое распространение получили разнообразные тонкостенные системы. В авиационной и космической технике, кораблестроении, транспортном и энергетическом машиностроении, промышленном строительстве используются конструкции, состоящие из тонкостенных оболочек и кольцевых рам.

В строительной механике и связанных с ней задачах прочности существенно возросло значение нелинейных теорий. Учет физической и геометрической нелинейности позволяет наиболее полно описать реальное поведение конструкций, правильно определить запас прочности, выявить дополнительные резервы веса.

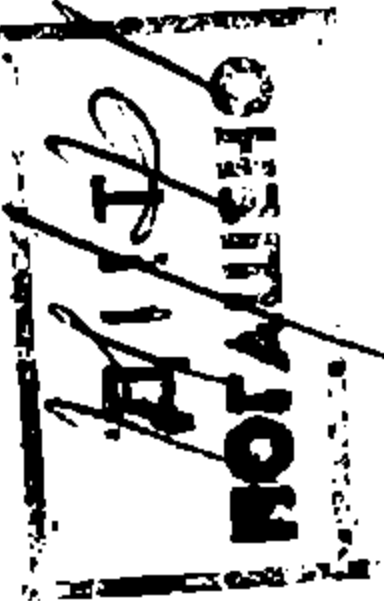
Необходимость учета неупругой стадии работы материалов и конструкций привела к интенсивному развитию теории пластичности, одному из актуальных разделов механики деформируемого твердого тела. Учет пластических деформаций позволяет в более полной мере изучить работу конструкции, определить реальные ресурсы несущей способности.

Несмотря на значительные успехи в развитии теории и применении ее к расчетам следует отметить, что в строительной механике тонкостенных конструкций имеется целый ряд вопросов, которые должны решаться при учете пластической стадии деформирования материала.

Особый интерес представляет исследование несущей способности оболочечных конструкций при неоднородном напряженном состоянии. Такое состояние может быть вызвано, с одной стороны, неоднородным нагружением, в частности, воздействием различных локальных нагрузок, с другой стороны, влиянием конструктивных особенностей системы (стыки оболочек, отверстия). Наличие разнообразных несовершенств делает случаи неоднородного напряженного состояния реальными и наиболее распространенными для различных тонкостенных кон-

НТБ  
ДНУЖТ

6637a



струкций. Методы расчета несущей способности тонкостенных систем с учетом пластических деформаций при неоднородных состояниях разработаны недостаточно.

Целью данной работы является:

- Разработка методов и алгоритмов расчета несущей способности жесткопластических тонкостенных систем при неоднородном напряженном состоянии.

- Экспериментальные исследования несущей способности исследуемых тонкостенных систем при нагрузках, вызывающих такие состояния.

- Применение разработанных методов для решения задач несущей способности ряда конкретных оболочечных конструкций.

Научная новизна. Разработаны методы и алгоритмы расчета несущей способности тонкостенных оболочечных систем и кольцевых рам при неоднородном напряженном состоянии, вызванном особенностью нагружения (локальные нагрузки) или конструктивными особенностями (стыки оболочек, локальные ослабления в виде подкрепленных отверстий), на основе теории предельного равновесия с применением методов математического программирования.

Разработаны программы расчета на алгоритмическом языке Фортран для определения предельных нагрузок, характеризующих несущую способность оболочечных конструкций и кольцевых рам при локальном и комбинированном нагружении, вызывающих неоднородное напряженное состояние.

Проведены экспериментальные исследования несущей способности цилиндрических оболочек при локальном нагружении, подтверждающие правильность теоретических исследований.

Практическая ценность. Полученные в работе результаты доведены до возможности практического использования в инженерных расче-

тах конструкций, элементами которых являются оболочки и кольцевые рамы. На алгоритмическом языке Фортран разработаны программы расчета. Программы реализованы на ЭВМ типа БЭСМ-4М и БЭСМ-6.

Представлены таблицы и графики.

Внедрение результатов. Разработанные и реализованные программами алгоритмы расчета несущей способности оболочечных конструкций внедрены в промышленность и используются при расчетах конструкций. Экономический эффект от внедрения результатов работы составил 79,75 тыс.руб.

Апробация работы. Основное содержание диссертации докладывалось на IV Всесоюзной научной школе-симпозиуме по механике деформируемого твердого тела (г.Куйбышев, 1977г.), на Всесоюзном научном совещании по проблемам прочности двигателей (г.Ленинград, 1979г.), на XI Всесоюзной конференции по теории оболочек и пластин (г.Ереван, 1960г.), на научно-технической конференции в СВВКУ (г.Саратов, 1973г.), на семинарах Института технической механики АН УССР (до мая 1970г. Днепропетровское отделение Института механики АН УССР) в 1973-1980г.г.

Публикации. Основные результаты исследований опубликованы в 7 статьях.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и приложения. Общий объем диссертации 133 страницы машинописного текста, 39 рисунков, список литературы включает 136 наименований.

#### Содержание работы

Во введении раскрывается актуальность темы исследований, сформулирована цель, научная новизна и практическая ценность работы, приведена аннотация всех глав диссертации.

В первой главе дается обзор исследований по несущей способности тонкостенных конструкций при неоднородных напряженных состояниях.

При использовании методов упруго-пластического расчета несущая способность конструкций определяется на основе применения локальных критериев прочности и связывается с достижением максимальных значений интенсивности напряжений и деформаций их предельных значений. Другой подход связан с определением предельной нагрузки для системы на основе построения зависимостей прогиба от нагрузки.

Значительное применение к расчету тонкостенных систем находит теория предельного равновесия, базирующаяся на модели идеального пластического тела. Несущая способность конструкции характеризуется здесь достижением нагрузкой предельного значения, при котором система превращается в кинематически изменяемый механизм. Применение расчетных схем на основе этой теории связано часто с упрощением расчета и приводит к весовому совершенствованию сложных статически неопределимых систем.

Разработка методов расчета оболочечных конструкций при локальном нагружении связана с работами В.З.Власова, А.Л.Гольденвейзера, В.И.Моссаковского, В.В.Новожилова, Ю.Н.Работнова, В.И.Феодосьева, К.Ф.Черных и др. Обзоры исследований, посвященных этой проблеме, приведены в работах Э.И.Григольца, В.С.Гудрамовича, В.М.Даревского, Г.Н.Чернышева, где рассмотрены работы по локальному нагружению упругих тонкостенных систем.

Основные достижения в развитии теории пластичности применительно к расчету тонкостенных конструкций связаны с именами И.А.Биргера, А.С.Григорьева, А.А.Ильшина, Ю.Н.Работнова, А.Р.Ржаницына, И.С.Цуркова, Э.Овата, В.Прагера, Ф.Ходма и др. Развитие теории

пределного равновесия и методов расчета тонкостенных систем отражены в работах А.А.Гвоздева, А.Р.Ржаницина, М.И.Ерхова, Э.Г.Ходжа и др. Обзоры методов расчета, учитывающих пластические свойства материала, даны в работах А.А.Ильшина, Е.Р.Лепика, Ю.В.Немировского, В.Сльшака, и А.Савчука, В.Ольшака, Э.Мруза и П.Пежины и др. Задачи несущей способности тонкостенных конструкций при локальных нагрузках на основе теории предельного равновесия рассмотрены в работах А.А.Ржаницина, М.И.Ерхова, С.С.Гудримовича, В.Ольшака и А.Савчука, В.Р.Терровере, А.С.Дехтяря, С.А.Рассказова, А.М.Тютюнника, К.К.Куликова, А.И.Хомякова, А.Леванца, А.Бирона, Э.Ходжа, Н.Демира и др.

Другой подход связанный с построением зависимости "сила-прогиб" и определением предельной нагрузки оболочки дан в работах В.И.Леодосьева и С.М.Черняксова.

В работах А.Н.Гузя и др. приведен обзор методов расчета существенно неоднородного напряженно-деформированного состояния, вызванного наличием отверстий в тонкостенных конструкциях типа пластин и оболочек. В работах А.Н.Добромислова, М.И.Ерхова, В.В.Рождественского, А.И.Ручимского и др. рассмотрены вопросы неупругого поведения таких систем.

Значительный интерес представляют исследования динамического поведения неупругих оболочек при действии локальных нагрузок. Жесткопластические схемы расчета применялись к исследованию динамики оболочек М.И.Ерховым, П.А.Кузичным, В.П.Тамужем, Изоном, Шилдом, Ходжем. Обзоры по динамике тонкостенных конструкций при пластических деформациях представлены в работах Ю.А.Демьянова, Н.В.Эволинского, В.Н.Мазалова, Б.М.Малишева, Л.В.Немировского, М.И.Рейтмана, Г.С.Шапиро.

Важным вопросом в теории пластичности является формулировка условия текучести. Для условия Мизеса применительно к оболочкам

этот вопрос наиболее полно рассмотрен А.А. Илькиным. Кусочно-линейные условия рассмотрены М.И. Ерховым. В работе условие текучести принято в виде

$$F(T_{ij}, M_{ij}) = T_1^2 + T_2^2 - T_1 T_2 + 3T_{12}^2 + \frac{12}{h^2} (M_1^2 + M_2^2 - M_1 M_2 + 3M_{12}^2) - \sigma_s^2 h^2 = 0, \quad (1)$$

где  $h$  — толщина оболочки,  $\sigma_s$  — предел текучести материала.

Скорость диссипации внутренней энергии  $D$  на поверхности деформирования  $\Pi$  имеет вид

$$D = \int_{\Pi} (T_1 \varepsilon_1 + T_2 \varepsilon_2 + T_{12} \gamma + M_1 \alpha_1 + M_2 \alpha_2 + M_{12} \chi) d\Pi \quad (2)$$

используя ассоциированный закон течения, подставляя значение скоростей деформаций в (2), получим

$$D = \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_s h \int_{\Pi} \left[ \varepsilon_1^2 + \varepsilon_1 \varepsilon_2 + \varepsilon_2^2 + \frac{1}{4} \gamma^2 + \frac{h^2}{12} (\alpha_1^2 + \alpha_1 \alpha_2 + \alpha_2^2 + \frac{1}{4} \chi^2) \right]^{\frac{1}{2}} d\Pi \quad (3)$$

Предельная нагрузка определяется из уравнения

$$A - D = 0 \quad (4)$$

где  $A$  — мощность внешней нагрузки.

Для многих сложных конструкций расчет целесообразно проводить на основе численных методов, широко используя современные ЭВМ. Задача определения несущей способности при этом связана с применением методов математического программирования. В теории предельного равновесия для статических и кинематических задач расчет связан с поиском экстремума функции внешней нагрузки при заданной системе ограничений. Связь математического программирования с теорией предельного равновесия показана в работах А.А. Гвоздева и А.М. Проценко, М.И. Ерхова, А.А. Чираса, А. Бирона и др.

Задача об определении несущей способности конструкции при решении ее на основе кинематического метода теории предельного равновесия формулируется так: из всех кинематически допустимых полей скоростей перемещений действительным является такое, при котором

величина внешней нагрузки  $P$  является минимальной, т.е. требуется найти минимум функции цели  $P$ , зависящей от некоторого числа переменных определяемых полем скоростей перемещений, на которые наложены определенные ограничения.

В работе в такой постановке решаются задачи определения несущей способности оболочечных конструкций при неоднородном напряженном состоянии. Приведение поставленной задачи к задаче математического программирования позволяет дальнейшее решение осуществить численно, используя ЭВМ.

Во второй главе представлены результаты теоретического и экспериментального исследования несущей способности цилиндрических оболочек при воздействии статической и динамической локальной нагрузки.

Теоретическое исследование несущей способности цилиндрических оболочек проведено на основе кинематического метода теории предельного равновесия. Схема разрушения (рис. I) выведена из физических соображений, в частности, из наблюдений формы разрушения оболочек при экспериментальных исследованиях. При разрушении часть оболочки превращается в кинематически изменяемый механизм.

Предельная нагрузка определяется из уравнения (4). Поверхность деформации  $\Pi$  состоит из участков поверхности оболочки, ограниченных сосредоточенными деформациями, понятие которых введено Рванценым А.Р. Сосредоточенные деформации направлены вдоль линий перелома поверхности оболочек и включают кольцевые пластические шарниры (скорость диссипации  $D_1$ ), пластические шарниры, направленные по образующим (скорость диссипации  $D_2$ ), пластические шарниры, направленные по линиям  $\alpha_2(\varphi)$ ,  $\alpha_3(\varphi)$  (скорость диссипации  $D_3$ ).

$$D_1 = \frac{4}{3} \sigma_s h^2 \delta r l^{-1} \sum_{i=1}^4 D_{1i},$$

$$D_2 = \frac{4}{3} \sigma_s h^2 \delta r^{-1} D_{2i} \quad (5)$$

$$D_3 = \frac{8}{\sqrt{3}} \sigma_s r h \delta \sum_{i=1}^2 D_{3i}$$

На поверхностях, ограниченных пластическими шарнирами, скорость диссипации имеет вид:

$$D_4 = \frac{4}{\sqrt{3}} \sigma_s h r \delta \sum_{i=1}^3 D_{4i} \quad (6)$$

$\delta$  - скорость перемещения штампа, которому приложена нагрузка,  $\ell$  - длина поля скоростей деформации,  $D_{ji}$  - нелинейные функции от параметров, которые определяют поле скоростей деформации.

Предельную нагрузку  $P$  определим, полагая суммарную скорость диссипации внутренней энергии  $D = \sum_{i=1}^4 D_i$  и мощность внешней нагрузки  $A = P\delta$

$$P = \sigma_s h^2 \left( \frac{4}{3} r \ell^{-1} \sum D_{1i} + \frac{4}{3} \ell r^{-1} D_{21} + \frac{8}{\sqrt{3}} r h^{-1} \sum D_{3i} + \frac{4}{\sqrt{3}} r h^{-1} \sum_{i=1}^3 D_{4i} \right) \quad (7)$$

Проведен численный анализ для определения несущей способности цилиндрических оболочек при нагружении штампами (ложементами) с различными углами охвата (рис.1). Алгоритм расчета составлен на языке Fortran для ЭВМ БЭСМ-6.

Рассмотрена круговая цилиндрическая оболочка, находящаяся под действием поперечной локальной нагрузки, которая мгновенно прикладывается и через некоторый промежуток времени снимается, т.е. закон изменения нагрузки следующий

$$P = \text{const} \quad , \quad 0 < t \leq t_1 \quad P = 0 \quad t > t_1 \quad (8)$$

Пластическое деформирование оболочки происходит при динамической нагрузке, которая выше предельной статической нагрузки  $P_s$ . Анализ поведения цилиндрической оболочки при динамической нагрузке существенно использует статическое решение.

Поле скоростей перемещений оболочки определим в виде

$$\dot{w}(t, x, \varphi) = \dot{w}_0(t) w(x, \varphi) \quad (9)$$

где  $w_0(t)$  - функция прогиба оболочки от времени,  $w(x, \varphi)$  - поле скоростей перемещений для соответствующего решения статической

задачи.

Принцип виртуальной мощности записывается в виде

$$P \dot{w}_0(t) = D_0 \dot{w}_0(t) + \mu \ddot{w}(t) h \int_S w^2(x, y) ds \quad (10)$$

$\mu$  — плотность материала оболочки,  $S$  — площадь поверхности деформации,  $D_0$  — скорость диссипации внутренней энергии для единичной скорости прогиба. Решением соответствующей статической задачи является  $P_s = D_0$ .

Решая уравнение (10) при условиях (8), определим остаточный прогиб в момент  $t_2$  когда оболочка остановится

$$w_0(t_2) = \frac{P}{P} \frac{P - P_s}{2\kappa} t_1^2 \quad (11)$$

где  $t_2 = t_1 \frac{P}{P_s}$   $\kappa = \mu h r^{-2} \int_S w^2(x, y) ds$

Нахождение остаточных перемещений, определяющих степень поврежденности конструкций является одной из основных целей при решении динамических задач расчета пластических конструкций.

Проведены экспериментальные исследования несущей способности цилиндрических оболочек, деформируемых за пределом упругости, при локальном поперечном нагружении. Испытания проводились на гладких подкрепленных цилиндрических оболочках, выточенных из цельнотянутых труб сплава АМГ-6М. Было изготовлено 15 оболочек диаметром 183мм и 35 оболочек диаметром 133мм. Оболочки нагружались в среднем сечении жесткими штампами (ложментами) с различными углами охвата. При определении несущей способности каждая оболочка испытывалась в нескольких местах (2-х или 4-х). Формы разрушения представлены на рис. 2. При обработке экспериментальных данных применен графический способ Асковица построения кривых методом наименьших квадратов. На рис. 3 приведены зависимости разрушающей нагрузки от толщины гладких оболочек (аналогичные зависимости есть и для

подкрепленных оболочек) при различных углах охвата штампа на основании теоретических и экспериментальных исследований.

В третьей главе рассмотрены задачи определения несущей способности круговых рам —шпангоутов, подкрепляющих оболочки, при различных видах локального нагружения. Определены нижняя, соответствующая статически допустимому распределению напряжений, и верхняя, соответствующая кинематически допустимому распределению деформаций, границы предельной нагрузки.

Рассмотрено действие на шпангоут самоуравновешенной системы радиальных сосредоточенных сил. Верхняя и нижняя границы предельной нагрузки совпадают

$$P_{np} = 4M_s r^{-1} \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{4} \quad \alpha = \frac{2\pi}{m} \quad (12)$$

Проведено сравнение теоретического расчета с измеренными экспериментальными данными, приведенными в работе В.С.Гудрамовича. Расчет несущей способности по формуле (12) дает для четырех и шести сил 7,62 + 9,03 т и 10–14 т для нижнего и верхнего экспериментально найденных значений пределов текучести. Эксперимент дает 7,94 т и 12,75 т соответственно для четырех и шести сил, что удовлетворительно согласуется с расчетом.

Рассмотрено действие на шпангоут радиальной сосредоточенной силы, уравновешенной потоком касательных усилий со стороны оболочки  $\tau = \frac{P}{\pi r} \sin \varphi$  Верхняя и нижняя границы предельной нагрузки в этой задаче также совпадают.

$$P_{np} = 6,906 M_s r^{-1} \quad (13)$$

Рассмотрено действие на шпангоут двух касательных сосредоточенных сил, уравновешенных потоком касательных усилий со стороны оболочки. Нижняя  $P_{np} = 78 M_s r^{-1}$  и верхняя  $P_{np} = 83 M_s r^{-1}$  границы предельной нагрузки близки.

Рассмотрено предельное равновесие шпангоута, нагруженного жестким ложементам, реакция которого уравновешена потоком касательных усилий. Получена зависимость предельной нагрузки от угла охвата ложемента.

В четвертой главе представлены результаты исследования несущей способности некоторых оболочечных конструкций при неоднородном напряженном состоянии, вызванном различными концентраторами напряжений.

Рассмотрены стыки оболочечных систем при осевом нагружении. Для определения несущей способности цилиндрических или конических оболочек, подкрепленных торцевым шпангоутом получена зависимость

$$T = \pi \sigma_s \left[ 4S + bx_1 h + \frac{1}{2} h^2 r (1 + 2x_1 b^{-1}) + \frac{1}{2} h^2 x_1 \operatorname{tg} \alpha \right] (y_0 + x_1 \operatorname{tg} \alpha)^{-1} \quad (14)$$

где  $S, x_1, y_0, h, r, \alpha$  - геометрические параметры шпангоута и оболочки. Построена (рис. 4) зависимость  $\lambda = \frac{T}{2\pi R \sigma_s h}$  ( $R$  - радиус, по которому приложена внешняя нагрузка) от  $\frac{r}{h}$  для площадей шпангоута  $fr^2 = 0,003; 0,001$  (кривые 1, 2). Определена предельная нагрузка для стыка конических оболочек

$$T = \pi \sigma_s \left[ \frac{h_1^2}{2} \left( \frac{2r}{a \cos \alpha_1} - \operatorname{tg} \alpha_1 \right) + \frac{h_2^2}{2} \left( \frac{2r}{b \cos \alpha_2} + \operatorname{tg} \alpha_2 \right) + \frac{2}{\sqrt{3}} (ah_1 + bh_2) \right] \left[ \operatorname{tg} \alpha_1 - \operatorname{tg} \alpha_2 + \frac{1}{2} (a + b) r^{-1} \right]^{-1} \quad (15)$$

Параметры  $a$  и  $b$  определяются при минимизации функции  $T$

Представлены приближенные исследования несущей способности оболочечных конструкций с локальными ослаблениями при внутреннем давлении. Определена предельная нагрузка для эллиптического днища с центральным патрубком.

$$P = \frac{\sigma_s h^2 \left( \frac{r}{d} \operatorname{tg} \alpha + \frac{2r+c}{2c} \right) + \sigma_s h \left( \frac{c}{\cos \alpha} + d \right) \operatorname{tg} \alpha}{rd \operatorname{tg} \alpha + c \left( r + \frac{1}{3} c \right) + r^2} \quad (16)$$

$$\alpha = \operatorname{arctg} \left[ \frac{b}{ac} (\alpha^2 - r)^{\frac{1}{2}} - (\alpha^2 - (r+c)^2)^{\frac{1}{2}} \right],$$

$\alpha, b$  - полуоси эллипса,  $r$  - радиус патрубка,  $c$  - варьируемый параметр,  $d$  - высота патрубка.

Рассмотрено предельное равновесие сферического дна с двумя тремя патрубками. Определена несущая способность цилиндрической оболочки с патрубком

$$P = \frac{\pi \sigma_s h^2 \left( \frac{R}{2l} - \frac{r}{2d} \right) + \sigma_s h (l+d)}{R(l+2r) + dr} \quad (17)$$

$R, r$  - радиусы цилиндрической оболочки и патрубка,

$l, d$  - параметры минимизации. Проведен численный анализ для конкретных конструкций.

Представлены исследования по предельному анализу ряда составных оболочечных конструкций при комбинированной симметричной нагрузке. Рассмотрены сочетание сферическая цилиндрическая оболочки, коническая и цилиндрическая оболочки при комбинированном нагружении осевой силой, погонной радиальной нагрузкой и моментом в месте стыка. Проведен численный анализ на ЭВМ, построены области неразрушения для различных параметров конструкций (рис. 5).

Проведено сравнение расчетных и экспериментальных данных. Результаты экспериментальных исследований для стыков оболочек при осевом нагружении (31,5т, 105т, 208т, 108т), удовлетворительно совпадают с результатами расчетов для этих систем (соответственно 35,1т, 107т, 210т, 121т).

#### Основные результаты работы.

I. На основании теории предельного равновесия аппарата тематического программирования разработаны методы и алгоритмы

расчета несущей способности жесткопластических оболочечных конструкций и кольцевых рам при неоднородном напряженном состоянии, вызванном локальным характером нагружения или конструктивными особенностями систем.

2. Созданные на основе разработанных методов программы расчета реализованы на ЭВМ типа БЭСМ-4М и БЭСМ-6.

Результаты расчетов представлены в виде графиков и таблиц.

3. Получены зависимости величины нагрузок, характеризующих несущую способность гладких и подкрепленных цилиндрических оболочек от геометрических параметров этих оболочек и величины угла штампа-ложементов, через который передается локальная нагрузка.

4. Проведено исследование поведения жесткопластических цилиндрических оболочек при динамическом локальном нагружении. Построены зависимости коэффициентов, определяющих остаточный прогиб в момент прекращения движения гладких и подкрепленных цилиндрических оболочек при различных углах охвата штампа.

5. Приведены результаты экспериментальных исследований несущей способности цилиндрических оболочек при локальном нагружении. Проведено 130 испытаний на 50 оболочках. Сравнение результатов расчета несущей способности с экспериментальными данными дает хорошее совпадение.

Приведены результаты исследования несущей способности круговых рам-шпангоутов при различных видах локального нагружения. Сравнение с известными экспериментальными данными подтверждает результаты расчета.

7. Приведены результаты исследования несущей способности стиков оболочечных систем при осевом и комбинированном нагружении.

Проведено исследование влияния локальных ослаблений в виде подкрепленных отверстий на несущую способность жесткопластических оболочек при внутреннем давлении.

В. Разработанные и реализованные программами алгоритмы расчета несущей способности внедрены в промышленность и используются при расчетах конструкций.

Достоверность проведенных исследований подтверждается совпадением результатов расчета несущей способности рассмотренных систем с экспериментальными данными для некоторых опытных конструкций.

ЕО. Подтверждена целесообразность и эффективность использования теории предельного равновесия с применением математического программирования для решения ряда задач по определению несущей способности ряда тонкостенных конструкций при неоднородном напряженном состоянии.

В приложении содержится описание программы численной реализации расчета несущей способности цилиндрических оболочек при локальном нагружении и ее распечатка, а также документ по изданию результатов работы в промышленности.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Гудрамович В.С., Герасимов В.П. Две задачи теории предельного равновесия для системы оболочек вращения при комбинированном нагружении. - В кн.: Вопросы прочности и пластичности. Днепрпетровск: Изд-во ДГУ, 1971, с. 11-18.
2. Гудрамович В.С., Герасимов В.П. Несущая способность силовых колец при локальных нагрузках. - В кн.: Контактная прочность пространственных конструкций. Киев. Наук. думка, 1976, с.163-173.

3. Герасимов В.П. О предельном равновесии цилиндрической оболочки при локальном нагружении. – В кн.: Прочность и надежность конструкций. Киев: Наук. думка, 1978, с. 18–21.
4. Герасимов В.П., Гудрамович В.С. Несущая способность элементов корпусов двигателей с локальными ослаблениями. – В кн.: Всесоюзное научное совещание по проблемам прочности двигателей: Тез. докл. Ч., 1979, с. 30.
5. Герасимов В.П., Гудрамович В.С., Ларионов И.Ф., Муляр К.М., Саввин К.И. Пластическое разрушение составных оболочечных конструкций при осевом сжатии. – Проблемы прочности, 1979, II, с. 58–61.
- Гудрамович В.С., Герасимов В.П. Пластическое разрушение цилиндрической оболочки при локальном нагружении. – Механика деформируемого твердого тела. 1979, вып. 4, Куйбышевский университет, с. 36–40.
7. Герасимов В.П., Гудрамович В.С. Статика и динамика жестко-пластических цилиндрических оболочек при локальном нагружении. – В кн.: Тр. XII Всесоюз. конф. по теории оболочек и пластин. Ереван: Изд-во ЕГУ, 1980, с. 50–56.

6637a

В. С.

ДНУЖТ

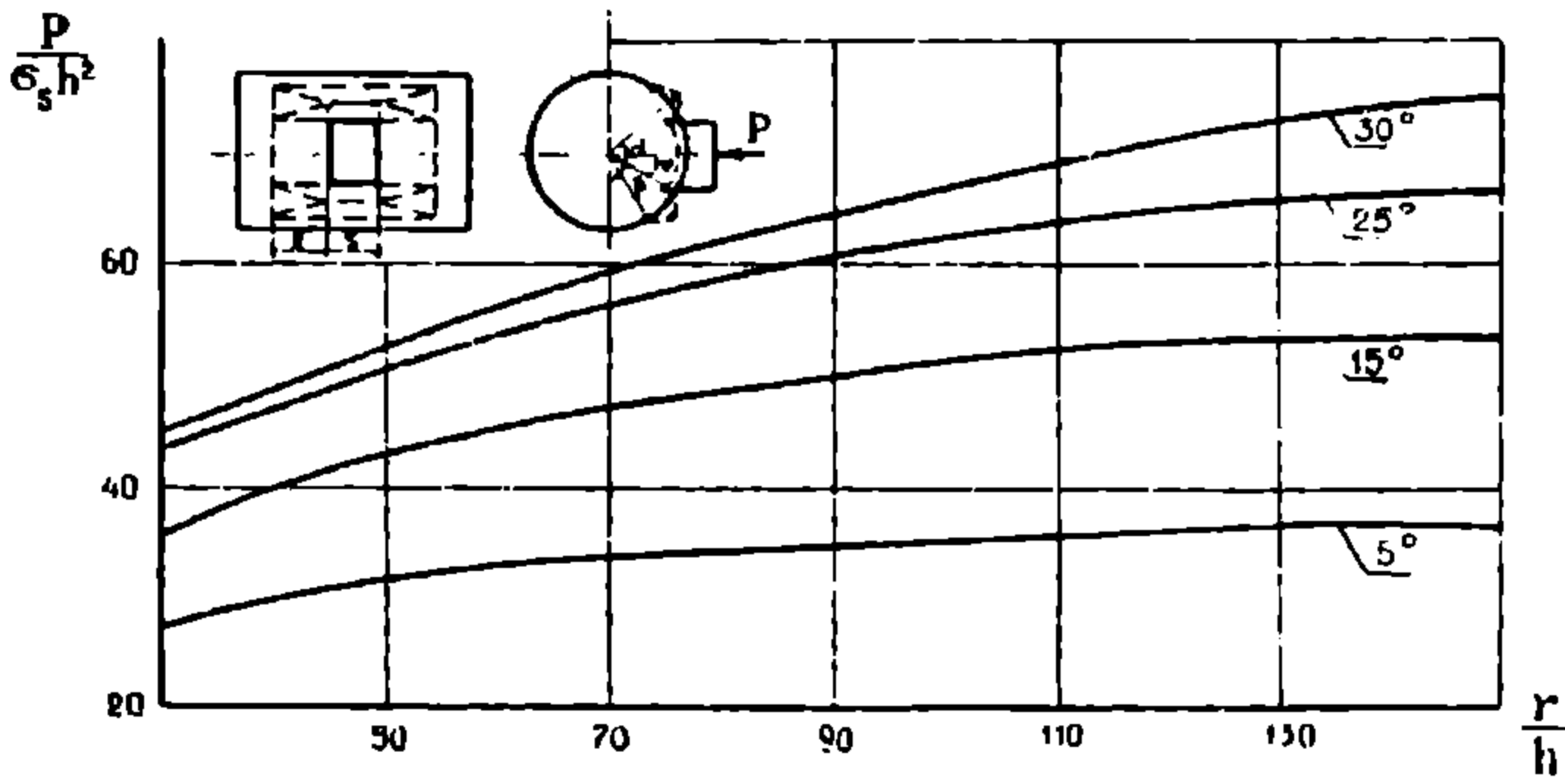


Рис. 1

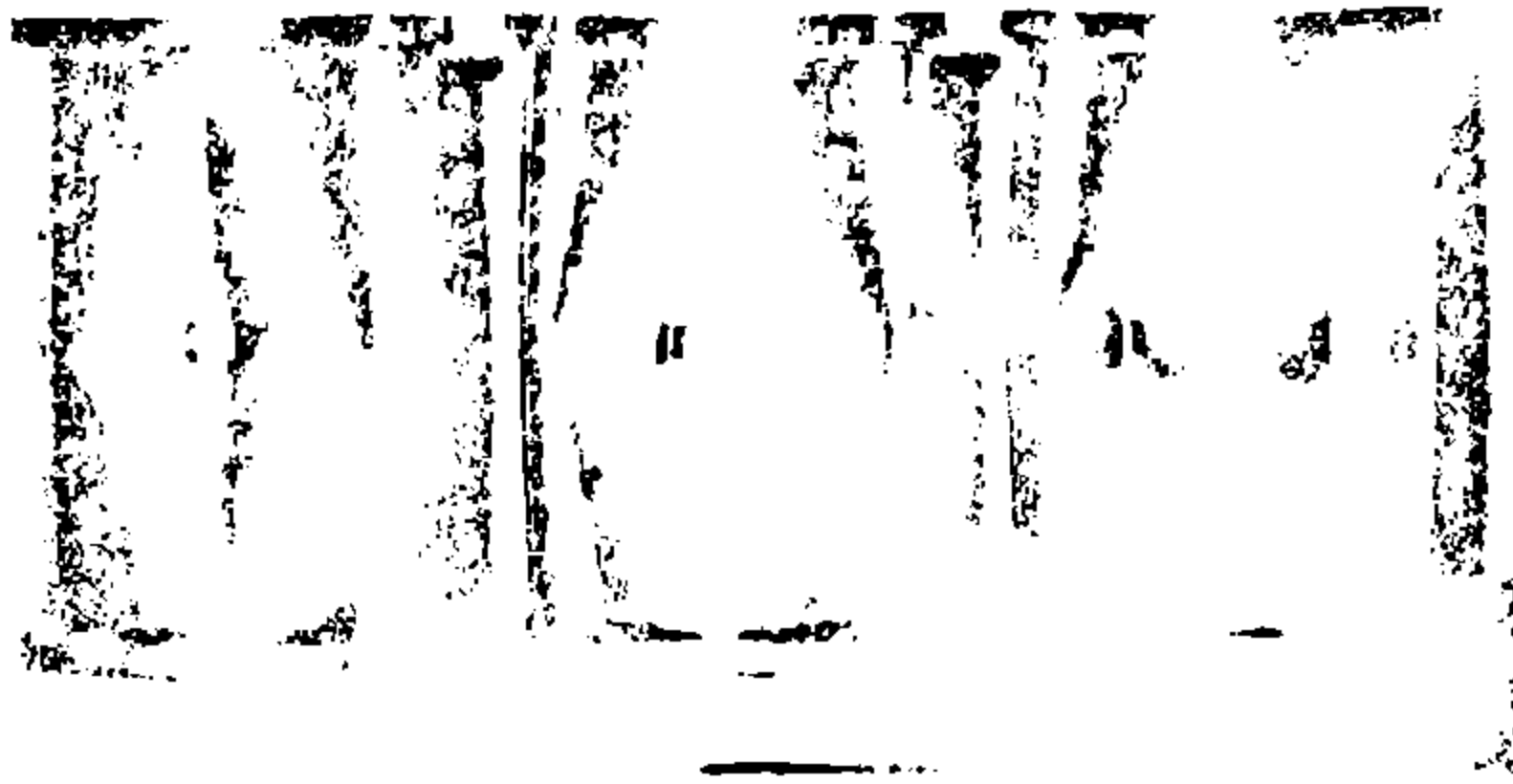


Рис. 2

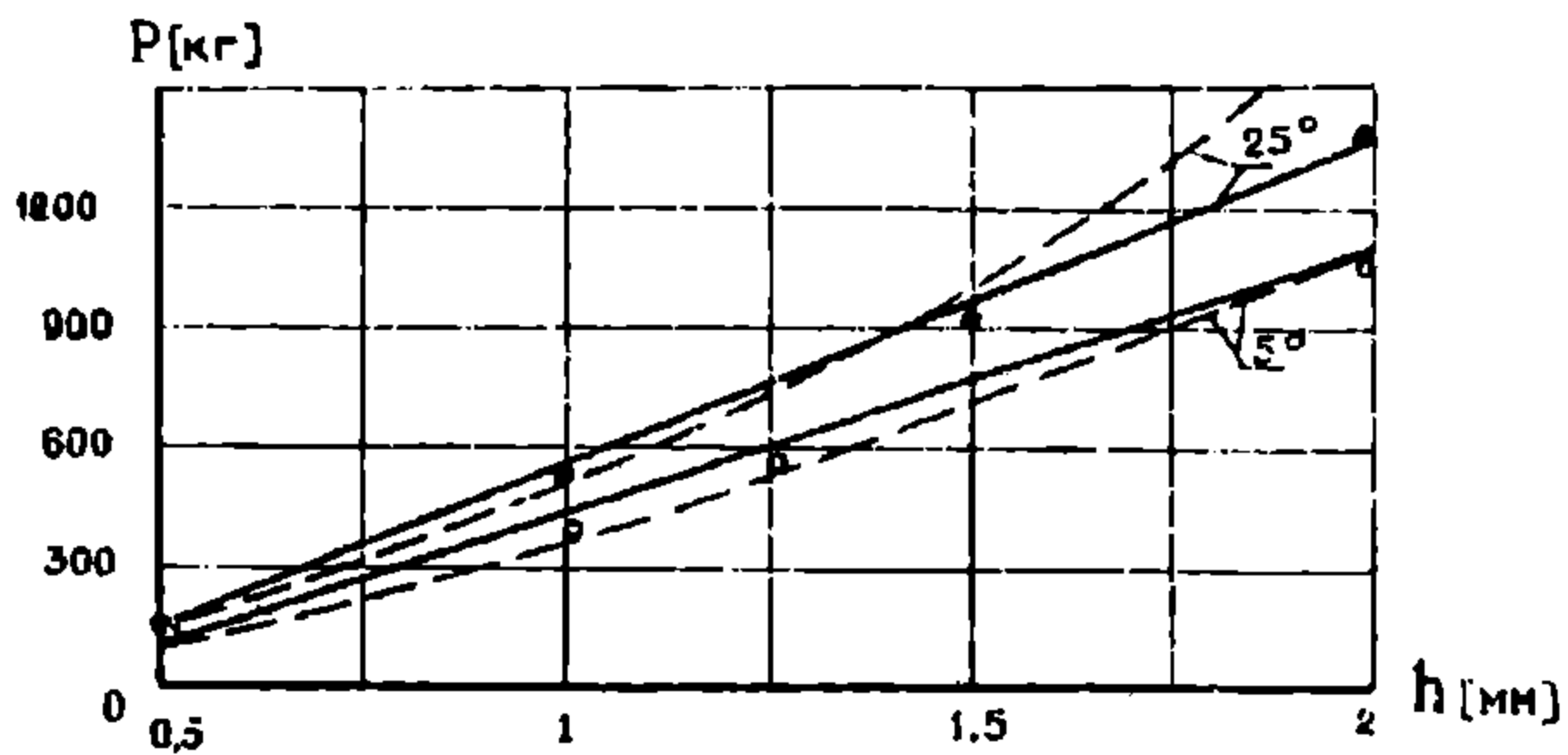


Рис. 3 ● ○ экспериментальные точки,  
 — прямая, построенная методом наименьших квадратов,  
 - - - теоретическая зависимость.

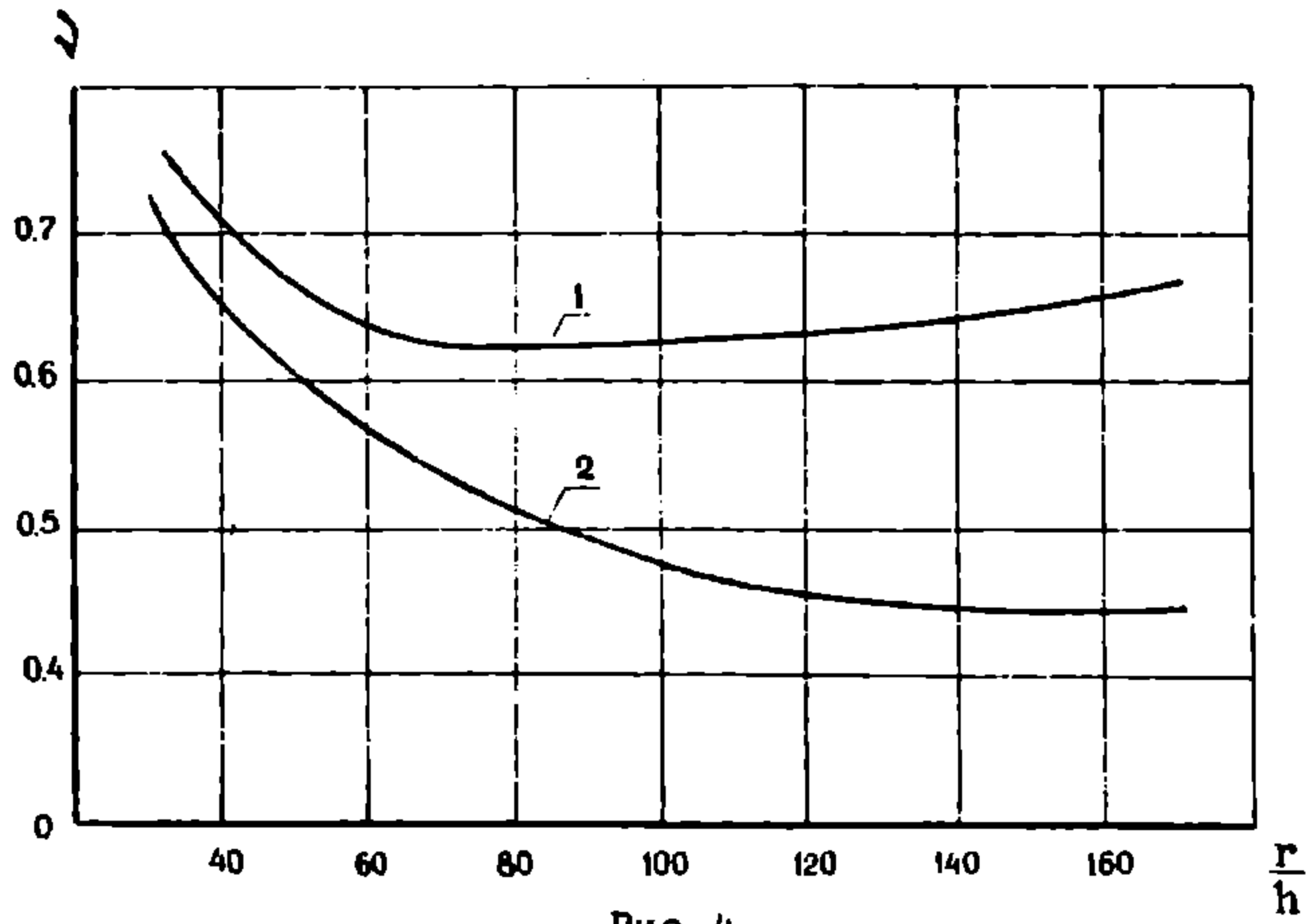


Рис. 4

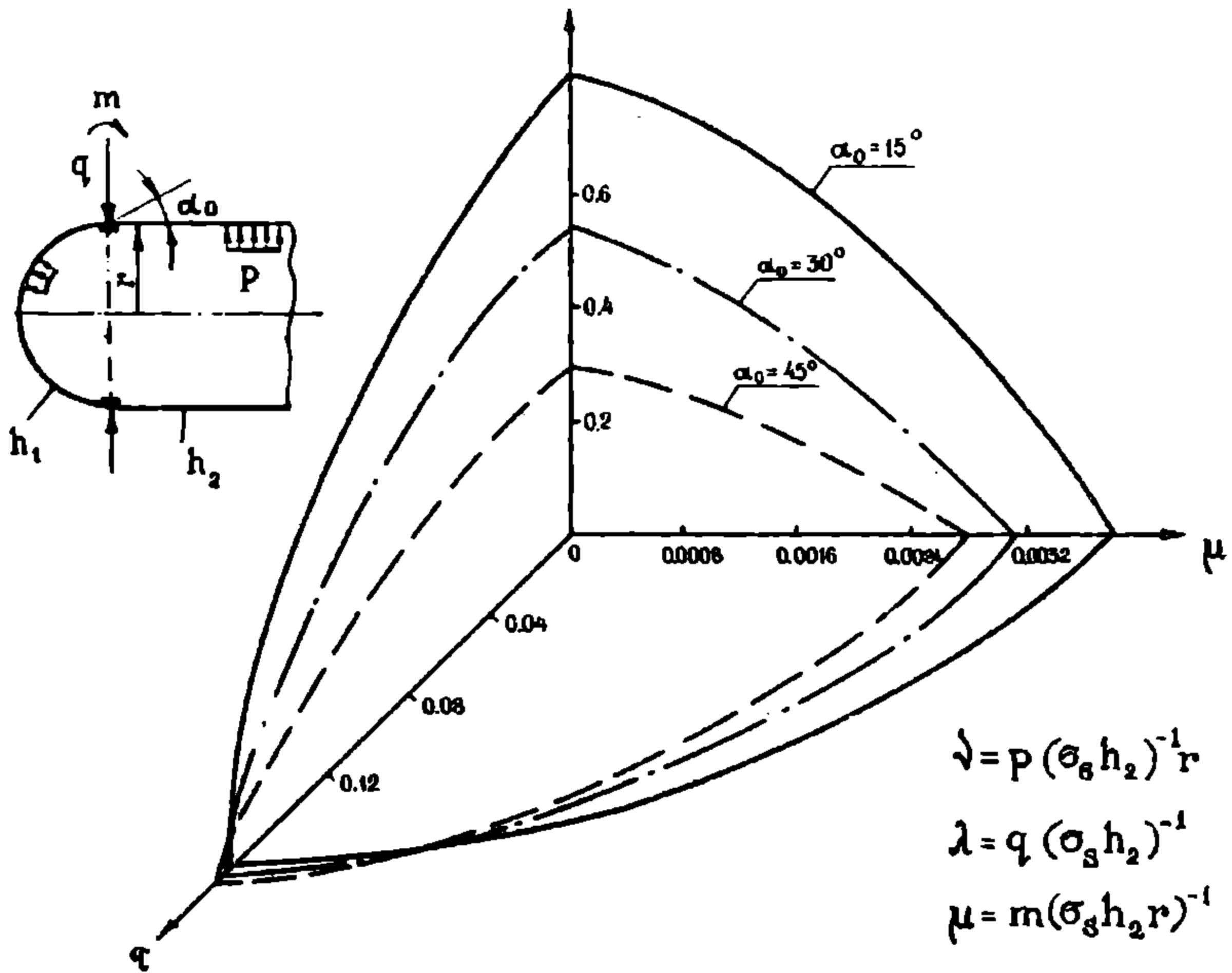


Рис. 5

НТБ  
ДНУЖТ

ГЕРАСИМОВ Виталий Петрович

НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ЖЕСТКОПЛАСТИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК  
И КОЛЬЦЕВЫХ РАМ ПРИ НЕОДНОРОДНОМ НАПРЯЖЕННОМ СОСТОЯНИИ

01.02.03. – Строительная механика

Подписано к печати 23.02.81. БТ 20071.

Формат бумаги 60x84/16. Бумага для множительных аппаратов. Ротапринт.  
Уол. печ. л. 1,16. Уч.-изд. л. 1,25. Тираж 100 экз. Заказ № 778.  
Бесплатно.

Участок оперативной полиграфии  
редакционно-издательского отдела ДИИТа.

320629, ГСП, Днепропетровск, 10, ул. акад. В.А.Лазаряна, 2.

НТБ  
ДНУЖТ