

30.12
0-369

АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНСКОЙ ССР
ЛЬВОВСКИЙ ФИЛИАЛ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ ИНСТИТУТА МАТЕМАТИКИ

На правах рукописи

ОГИРКО ИГОРЬ ВАСИЛЬЕВИЧ

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕРМОНАПРЯЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИИ В ГИБКИХ ОБОЛОЧКАХ
С УЧЕТОМ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛА
НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ ИТЕРАЦИОННЫХ МЕТОДОВ

Специальность 01.02.04 - механика деформируемого твердого тела

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

ЛЬВОВ - 1978

по м.ш.макс
улуч
в.г.
а.г.
у.г.
Работа выполнена во Львовском филиале математической
физики института математики АН УССР.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук,
профессор Бурак Я.И.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор Григоренко Я.М.,
кандидат физико-математических наук,
доцент Хлебников Д.Г.

Ведущее предприятие – Харьковский ордена Ленина политехни-
ческий институт им.В.И.Ленина.

Защита состоится "22" мая 1978 г. в "15" час.
на заседании специализированного совета К.016.50.01 по присуж-
дению ученой степени кандидата физико-математических наук и кан-
дидата технических наук во Львовском филиале математической физи-
ки Института математики АН УССР /г.Львов, ул.Матейко, 4/.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Львовского
филиала математической физики Института математики АН УССР
/г.Львов, ул.Научная, 3 "б"/.

Отзывы на автореферат /в 2-х экземплярах/ просим направлять
по адресу: 290047, ГСП, г.Львов, ул.Научная, 3 "б",
ученому секретарю специализированного совета.

Автореферат разослан "14" апреля 1978 г.

Ученый секретарь
специализированного совета

Шевчук П.Р.



ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

5749
Актуальность проблемы. Тонкостенные оболочки находят широкое применение в инженерной практике в качестве составных элементов конструкций, машин и приборов. В процессе изготовления, обработки и эксплуатации они подвергаются температурным воздействиям. Возникающие температурные напряжения могут достигать значительной величины, особенно при локальном нагреве, что приводит к появлению значительных термопластических деформаций или трещин. Поэтому, одной из важных научно-технических проблем является развитие эффективных математических методов рационального определения температурных полей и других внешних воздействий, а также геометрической конфигурации оболочки в соответствии с конкретной целью оптимизации, например, с целью оптимизации напряженного состояния.

В последние годы значительно усилился интерес к оптимизации термонапряженного состояния оболочек в связи с практической необходимостью. Теоретические основы построения оптимальных температурных полей для локальной высокотемпературной обработки с целью снятия остаточных напряжений в оболочках сформулированы в работах Э.И. Григолика, Я.С. Подстригача, Я.И. Бурака. Дальнейшие результаты исследований в этом направлении получены в работах Л.П. Бесединой, С.Ф. Будза, Ю.Д. Зозуляка и др.

В отмеченных исследованиях оптимальные температурные поля и напряжения определялись исходя из уравнений термоупругости для оболочек малого прогиба, а также в предположении, что характеристики материала не зависят от температуры.

В то же время с целью расширения области эффективного применения высокотемпературной локальной термообработки, а также

—4—

для более полного и рационального использования запасов прочности оболочки, необходимо учитывать конечность прогиба и температурную зависимость характеристик материала. Соответствующие нелинейные уравнения гибких оболочек приведены в монографиях А.С.Вольмира, Х.М.Мухтари и К.З.Галимова, П.М.Огибалова и М.А.Колтунова, В.В.Новожилова и других работах. Для их решения успешно применяются численные итерационные методы, например, в работах А.С.Вольмира, Я.М.Григоренко, М.С.Корнишина и других авторов.

Ц е л ь ю р а б о т ы является развитие математической методики оптимизации термонапряжений и деформаций в гибких оболочках с учетом температурной зависимости характеристик материала на основе применения численных методов; определение и исследование оптимальных температурных полей и напряжений в зависимости от условий нагрева и пределов допустимого изменения напряжений; исследование влияния температурной зависимости характеристик материала на оптимальные температурные поля и напряжения.

В р а б о т е з а щ и щ а е т с я предложенная автором методика оптимизации термонапряжений и деформаций при заданных ограничениях на функцию управления /температурное поле/ и уровень напряжений в тонких оболочках конечного прогиба с учетом температурной зависимости характеристик материала; результаты выполненных исследований для оболочек вращения и пологих оболочек в зависимости от конкретных ограничений и цели оптимизации.

Н а у ч н а я н о в и з н а. В работе дана математическая постановка и методика оптимизации напряженно-деформированного состояния гибких оболочек с температурной зависимостью характеристик материала при заданных ограничениях на температурное поле и функции напряженно-деформированного состояния.

Разработанная методика базируется на непосредственном применении численных итерационных методов и приемов для построения ис-

комого решения, или первостепенном использовании методов вариационного исчисления для получения в дифференциальной форме необходимых условий экстремума с дальнейшим применением численных методов при построении решения полной системы уравнений экстремальной задачи. На основе минимизации функционала энергии упругой деформации определены и исследованы оптимальные температурные поля и напряжения в тонких оболочках вращения для линейной и квадратичной аппроксимации температурной зависимости характеристик материала при заданных ограничениях на распределение температуры и уровень термонапряжений. Выполнены исследования оптимального распределения термонапряжений и деформаций в гибких пологих оболочках для различных критериев оптимальности.

П р а к т и ч е с к а я ц е н н о с т ь . Предложенная в работе методика может быть использована для рационального выбора режимов и схем нагрева, силового нагружения, условий оптимального закрепления элементов тонкостенных конструкций, а также оптимизации их геометрической конфигурации. Полученные в работе результаты исследований могут применяться при построении оптимальных режимов локальной высокотемпературной обработки сварных конструкций с целью снятия или максимального понижения остаточных напряжений.

Прикладные результаты работы переданы заинтересованным предприятиям и используются при конструировании элементов электровакуумных приборов, а также для оптимизации температурных режимов их обработки с целью повышения их качества и надежности, применимы для оптимальных режимов сварки.

А п п р о б а ц и я р а б о т ы . Основные результаты диссертации докладывались на УП научной конференции по применению ЭМ в механике деформируемого твердого тела /Ташкент, 1975 г./; на XIV научном совещании по тепловым напряжениям в элементах конструкций /Канев, 1977 г./; на научно-технической конференции "Ка-

чество электроннолучевых приборов" /Львов, 1976 г./; на II-й научной конференции молодых ученых Западного научного центра АН УССР /Ужгород, 1975 г./; на III-й научных конференциях молодых ученых Львовского филиала математической физики Института математики АН УССР /Львов, 1975, 1976, 1977 гг./; на научном семинаре "Оптимизация вычислений" при Институте кибернетики АН УССР /Киев, 1975 г./; на научно-техническом семинаре "Качество электроннолучевых приборов" при Западном научном центре АН УССР /Львов, 1975 г./; на научном семинаре отдела вычислительных методов Института механики АН УССР /1977 г./; на семинарах кафедры прикладной математики Львовского ордена Ленина государственного университета /1975, 1977 гг./; на научных семинарах по математическим основам теории физико-механических полей Львовского филиала математической физики Института математики АН УССР/1975-1977 гг./.

П у б л и к а ц и и. По результатам выполненных исследований опубликовано девять научных статей. В Украинском республиканском фонде алгоритмов и программ СКБ ММСИ ИК АН УССР адаптировано 4 алгоритмические программы по соответствующим исследованиям работы.

О б ъ е м р а б о т ы. Диссертационная работа изложена на 120 страницах машинописного текста, содержит 16 иллюстраций. Список цитируемой литературы включает 106 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения и приложения.

В о в в е д е н и и дано обоснование актуальности и важности вопросов, решению которых посвящена диссертация, приведен обзор близких по направлению работ, а также краткое изложение содержания работы по главам.

В п е р в о й г л а в е формулируется математическая

постановка задачи об оптимизации напряженно-деформированного состояния тонкой гибкой оболочки, находящейся под воздействием силовой нагрузки и высокотемпературного нагрева постоянной по толщине температурой t . Предлагается методика численной реализации задачи.

В качестве исходных соотношений принимаются уравнения термоупругости с учетом конечности прогиба и температурной зависимости характеристик материала: модуля упругости $E(t)$ и коэффициента линейного расширения $\alpha(t)$.

Постановка задачи об оптимизации напряженно-деформированного состояния формулируется с применением символических обозначений.

Необходимо найти функцию управления F , удовлетворяющую ограничениям

$$F_1^- \leq A[F] \leq F_1^+, \quad /1/$$

для которой напряженно-деформированное состояние, определяемое решением Φ прямой краевой задачи

$$L[F, \Phi] = 0, \quad \Gamma[F, \Phi] = 0, \quad /2/$$

обеспечивает минимальное значение критерия оптимальности

$$Q = Q[F, \Phi] \quad /3/$$

в рамках заданных ограничений на напряженно-деформированное состояние

$$\Phi_1^- \leq B[\Phi] \leq \Phi_1^+, \quad /4/$$

Предполагается, что в качестве функции управления F может быть функция распределения температуры, силовой нагрузки, параметры геометрической конфигурации оболочки или другие характеристики решения задачи. Через Φ обозначены функции, характеризующие напряженно-деформированное состояние оболочки. В прямой задаче /2/

оператор разрешающих уравнений обозначен через L , а оператор граничных условий соответственно - через Γ . В ограничениях /1/, /4/ операторы A и B на функции и параметры задачи задаются в точках срединной поверхности оболочки. $F_i^-, F_i^+, \Phi_i^-, \Phi_i^+$ - известные функции.

Для решения поставленной задачи /1/-/4/ предлагается методика, включающая два возможных пути реализации.

Согласно первому подходу, задаче /1/-/4/ ставится в соответствие дискретный аналог путем разбиения области срединной поверхности оболочки сеткой на прямоугольные ячейки и применения метода конечных разностей повышенной точности, согласно которому, например, первая производная $\frac{\partial t}{\partial \alpha}$ в точке $(\alpha_j, 0)$ аппроксимируется выражением

$$\frac{\partial t(\alpha_j, 0)}{\partial \alpha} = \frac{1}{2h_\alpha} (t_{j-2,0} - 8t_{j-1,0} + 8t_{j+1,0} - t_{j+2,0}),$$

где h_α - шаг разбиения по координате α .

Для решения конечномерного аналога задачи /1/-/4/ применяется итерационный метод локальных вариаций в сочетании с методом нелинейной релаксации для решения конечномерной краевой задачи /2/. С этой целью задается начальное приближение $\{F_i^{(0)}\}$ функции управления, удовлетворяющее ограничениям /1/, /4/, а последовательная локальная вариация с шагом $\delta^{(n)}$ в узлах сетки с номерами осуществляется по формуле

$$F_i^{(n+1)} = \begin{cases} F_i^{(n)}, & \text{если } J^{(n)} = J_0^{(n)}, \\ F_i^{(n)} + \delta^{(n)}, & \text{если } J^{(n)} = J_+^{(n)}, \\ F_i^{(n)} - \delta^{(n)}, & \text{если } J^{(n)} = J_-^{(n)}, \end{cases} \quad /5/$$

$$n = 0, 1, 2, \dots$$

где

$$J^{(n)} = \min \{ J_0^{(n)}, J_+^{(n)}, J_-^{(n)} \},$$

$$J_0^{(n)} = Q[F_1^{(n+1)}, F_2^{(n+1)}, \dots, F_{i-1}^{(n+1)}, F_i^{(n)}, F_{i+1}^{(n)}, \dots, F_N^{(n)}, \{\Phi_i\}],$$

$$J_+^{(n)} = Q_N[F_1^{(n+1)}, F_2^{(n+1)}, \dots, F_{i-1}^{(n+1)}, F_i^{(n)} + \delta^{(n)}, F_{i+1}^{(n)}, \dots, F_N^{(n)}, \{\Phi_i\}],$$

$$J_-^{(n)} = Q_N[F_1^{(n+1)}, F_2^{(n+1)}, \dots, F_{i-1}^{(n+1)}, F_i^{(n)} - \delta^{(n)}, F_{i+1}^{(n)}, \dots, F_N^{(n)}, \{\Phi_i\}].$$

После полной сходимости процесса /5/ шаг варьирования дробится по алгоритму $\delta^{(k+1)} = \delta^{(k)}/2$, ($k=0, 1, 2, \dots$), и весь процесс продолжается аналогично, пока не достигнута требуемая точность решения задачи /1/-/4/.

Для определения соответствующего напряженно-деформируемого состояния оболочки при каждом локальном варьировании по алгоритму /5/ функции управления строится решение дискретного аналога краевой задачи /2/ методом нелинейной релаксации по итерационному процессу

$$\Phi_i^{(m+1)} = \Phi_i^{(m)} - L_N^{(m)} / L_{N\tau}^{(m)}, \quad m=0, 1, 2, \dots \quad /6/$$

где $L_{N\tau}^{(m)}$ - значение конечноразностного выражения $L_N[\{F_i\}, \{\Phi_i\}]$ в узле с номером i ; $L_{N\tau}^{(m)}$ - соответствующее значение оператора релаксации, который получается путем дифференцирования конечноразностного выражения $L_N[\{F_i\}, \{\Phi_i\}]$ по Φ_i .

Второй подход предложенной методики решения задач оптимизации состоит в первоначальном применении методов вариационного исчисления, в частности, метода множителей Лагранжа, что позволяет свести экстремальную задачу /1/-/4/ к краевой, вида:

$$L_N[F, \Phi_N] = 0, \quad \Gamma_N[F, \Phi_N] = 0. \quad /7/$$

Здесь через L_* обозначен оператор системы уравнений, которая, кроме разрешающих уравнений /2/, содержит и дополнительные уравнения Эйлера на экстремальное решение задачи. Вспомогательные функции /множители Лагранжа/ в задаче /7/, совместно с Φ обозначенных через Φ_* . Оператор граничных условий обозначен через Γ_* .

Решение полученной нелинейной краевой задачи /7/ строится так, как это осуществлялось в первом подходе при каждом локальном варьировании, а именно: задача аппроксимируется конечномерной с повышенной точностью и для ее решения применяется метод нелинейной релаксации.

Предложенная методика позволяет эффективно использовать ЭВМ и провести широкий комплекс исследований.

Вторая глава посвящена оптимизации напряженного состояния оболочек вращения с учетом температурной зависимости характеристик материала. Функцией управления является осесимметричное температурное поле $t(s)$. Ограничения типа /1/, /4/ накладываются на распределение температуры и уровень напряжений. Разрешающие уравнения краевой задачи /2/ записываются относительно разрешающих функций Мейснера и образуют два дифференциальных уравнения второго порядка. В качестве критерия оптимальности /3/ здесь принимается функционал энергии упругой деформации оболочки

$$Q = \pi \int_{s_1}^{s_2} z (N_1 \varepsilon_1^{(0)} + N_2 \varepsilon_2^{(0)} + M_1 \chi_1^{(0)} + M_2 \chi_2^{(0)}) ds, \quad /8/$$

где $\varepsilon_1^{(0)} = \varepsilon_1 - \alpha t$, $\varepsilon_2^{(0)} = \varepsilon_2 - \alpha t$, $\chi_1^{(0)}$, $\chi_2^{(0)}$ - компоненты упругой деформации срединной поверхности оболочки; N_i , M_i - усилия и моменты; $z = z(s)$ - радиус меридионального сечения оболочки; s - длина дуги меридиана; $s = s_1$, $s = s_2$ - краевые сечения оболочки.

Требуется определить оптимальное распределение температуры в оболочках вращения, обеспечивающее минимум функционала /8/.

Методика решения с применением двух подходов реализации иллюстрируется для цилиндрической и сферической оболочек в зависимости от ограничений на температурное поле в осевых сечениях и на уровень напряжений. При этом модуль упругости и коэффициент линейного расширения представляются в виде

$$\begin{aligned} E(t) &= E_0 - a_1 t - a_2 t(t - a_2), \\ \alpha(t) &= \alpha_0 + b_1 t + b_2 t(t - b_2), \end{aligned} \quad /9/$$

т.е. квадратичной или линейной /при $a_2 = b_2 = 0$ / зависимости от температуры. Здесь E_0, α_0 - постоянные значения характеристик материала при $t=0$; a_i, b_i ($i=1,2$) - коэффициенты интерполяции.

Найдено оптимальное температурное поле в свободной цилиндрической оболочке при фиксированных значениях температуры в краевых сечениях. В связи с учетом температурной зависимости характеристик материала температурное поле отлично от линейного. Соответствующие профили температурных полей показаны на рис.1 для оболочки из стали IX18H9T /кривая 1/ и технического железа /кривая 2/.

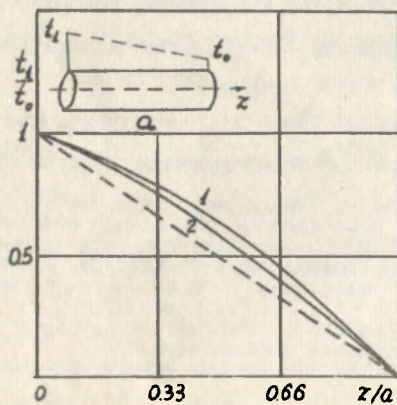


Рис.1.

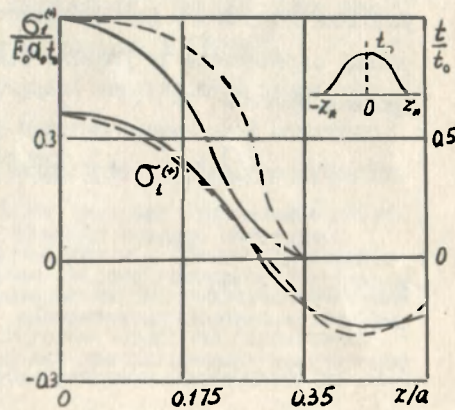


Рис.2.

Определены оптимальное температурное поле и соответствующие напряжения при локальном нагреве фиксированной кольцевой области $|z| < z_*$ цилиндрической оболочки. На рис.2 приведены соответствующие результаты для квадратичной зависимости $t(t), \alpha(t)$ /сплошная линия/ и для постоянных характеристик материала E_0, α_0 /штриховая линия/ стали IX18Н9Т.

При этом максимальные растягивающие напряжения достигаются осевыми $\sigma_z^{(*)}$ на внешней поверхности в сечении $z = 0$ с максимальной температурой нагрева t_0 .

Выполнены аналогичные исследования оптимального распределения температуры с ограничением на уровень максимальных напряжений применительно к условиям локального нагрева экваториальной зоны сферической оболочки.

В третьей главе на основе применения первого подхода предложенной методики для трех конкретных критериев оптимальности осуществляется оптимизация термонапряжений и деформаций в гибких пологих оболочках с учетом температурной зависимости характеристик материала.

Определяется оптимальное температурное поле применительно к условиям локального нагрева пологой оболочки вращения, которое, в рамках ограничений на уровень напряжений, обеспечивает минимальный уровень прогиба $w(z)$, $(0 < z < R)$, т.е.

$$Q = \min \{ \max w(z) \}. \quad /10/$$

В качестве примера проведены исследования для гибкой пологой конической оболочки /рис.3/, жестко заземленной по контуру. Зависимость характеристик материала $E(t), \alpha(t)$ стали IX18Н9Т от температуры представлялась квадратичными выражениями /9/.

Как видно из графиков, максимальные температурные напряжения, так же, как и прогиб, достигаются вне зоны высоких температур и смещены к вершине пологой конической оболочки.

Методика оптимизации успешно применялась и для прямоугольных в плане гибких пологих оболочек.

Определено оптимальное температурное поле в окрестности прямоугольного контура

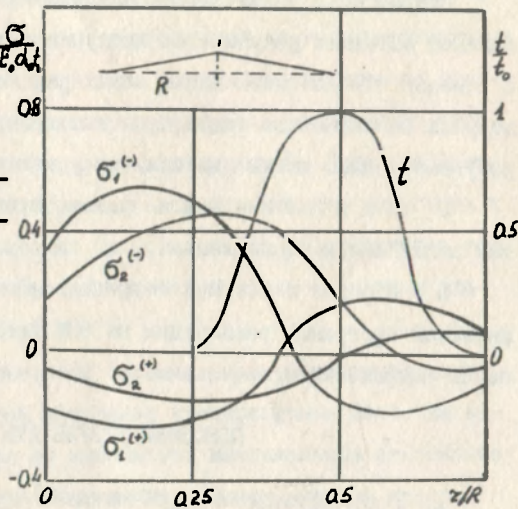


Рис.3.

/шов прямоугольной формы/ для гибкой прямоугольной в плане пологой оболочки, при котором уровень напряжений $\sigma_x^{(\pm)}$, $\sigma_y^{(\pm)}$ на наружной поверхности минимальный /критерий оптимальности/, а уровень напряжений $\sigma_x^{(\pm)}$, $\sigma_y^{(\pm)}$ на нижней поверхности ограничен. Численные исследования проведены для квадратных в плане гибких сферической и цилиндрической оболочек из материала IX18H9T.

В той же главе определяется условие оптимального крепления краев прямоугольной в плане гибкой пологой сферической оболочки, при котором деформирование ее срединной поверхности, вызванное заданным температурным полем, в пределах заданных ограничений на изменение кривизны является оптимально близким к требуемому /критерий оптимальности/. В результате решения задачи получены компоненты перемещений на краях оболочки, которые позволяют осуществить соответствующие условия оптимального крепления маски цветного ки-нескопа.

Сходимость, устойчивость и точность полученных в работе численными методами результатов контролировались построением решения с помощью ЭВМ для нескольких сеток разбиения области оболочек, базируясь на известном видоизмененном принципе Рунге, согласно которому необходимо иметь два или три решения с различным шагом сетки.

В заключении работы приведены выводы по результатам выполненных исследований.

В приложении приведены основные элементы алгоритмической программы реализации на ЭВМ предложенной методики оптимизации напряженного состояния.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

I. В диссертационной работе дана математическая постановка и предложена методика оптимизации термонапряжений и деформаций в тонких оболочках конечного прогиба с учетом температурной зависимости характеристик материала при заданных ограничениях на функцию управления и напряженно-деформированное состояние.

Методика включает два подхода решения задачи. Первый подход строится на непосредственном применении численных методов и приемов - аппроксимации с повышенной точностью, и метода локальных вариаций в сочетании с методом нелинейной релаксации. Согласно второму подходу, первоначально используются методы вариационного исчисления для получения в дифференциальной форме необходимых условий экстремума, а затем строится решение полученной системы уравнений, базируясь, как и в первом подходе, на аппроксимации задачи с повышенной точностью конечномерной и применении метода нелинейной релаксации.

Разработанная методика проста по реализации, позволяет эффективно использовать ЭВМ для выполнения широкого комплекса исследований.

2. Исследованы оптимальные температурные поля и напряжения в оболочках вращения с учетом температурной зависимости характеристик материала. Исследования проводились на основании минимизации функционала энергии упругой деформации в зависимости от заданных ограничений на температурное поле и уровень напряжений. Дана количественная оценка влияния температурной зависимости модуля упругости и коэффициента линейного расширения на оптимальное распределение температуры и термонапряжений. Проведение исследования позволяют сделать следующие выводы:

а/ в свободной цилиндрической оболочке при учете температурной зависимости характеристик материала температурное поле, не вызывающее напряжений, отлично от линейного; максимальное отклонение от линейного, при фиксированных значениях температуры на краях, составляет от 5% до 14%;

б/ оптимальные температурные поля локального нагрева цилиндрической и сферической оболочек вызывают максимальные растягивающие напряжения $\sigma_1^{(a)}$ на внешней поверхности в сечении с максимальной температурой; уровень кольцевых напряжений σ_2 ниже уровня осевых σ_1 ;

в/ оптимальные температурные поля с учетом температурной зависимости характеристик материала имеют меньшую ширину зоны высоких температур при локальном нагреве цилиндрической оболочки с ограничением на уровень осевых растягивающих напряжений.

3. Для гибких пологих оболочек вращения и прямоугольных в плане, оптимизация напряжений и деформаций осуществлена для трех критериев оптимальности.

Исследовано оптимальное температурное поле при кольцевом нагреве оболочек вращения, обеспечивающее минимальный уровень прогиба. При этом наблюдается несимметричность распределения тем-

пературы относительно сечения с максимальной температурой. Максимальные значения напряжений и прогиба смещены ближе к вершине оболочки. Учет конечности прогиба и температурной зависимости характеристик материала при ограниченном уровне напряжений привел к уменьшению зоны высоких температур.

Исследовано оптимальное распределение температуры в окрестности прямоугольного контура для гибкой прямоугольной в плане полой оболочки, при котором обеспечивается минимальный уровень напряжений на наружной поверхности. Учет температурной зависимости и конечности прогиба приводит к уменьшению зоны высокого нагрева, при ограниченном уровне напряжений на нижней поверхности оболочки.

Полученные результаты исследований напряженно-деформированного состояния полой гибкой сферической оболочки позволяют сформулировать условия оптимального крепления краев.

4. Предложенная методика и результаты выполненных исследований могут быть использованы при построении режимов оптимальной термообработки тонкостенных конструкций, при проектировании элементов электровакуумных приборов. Полученные прикладные результаты переданы заинтересованным предприятиям с целью использования.

В основу диссертационной работы положены публикации:

1. Огірко І.В. Уточнений розрахунок гнучких пластин узагальненням методом Ньютона. - Вісник Львівського ун-ту, серія механіко-математична. - Теоретична та прикладна математика. "Вища школа", 1975, вип.10, с.56-60 /укр./.

2. Огірко І.В. Расчет круглых пластин с большими прогибами. - Украинский республиканский фонд алгоритмов и программ СХБ ММС ИК АН УССР, К., № III.

3. Бурак Я.И., Огирко И.В. Применение метода нелинейной релаксации к оптимизации нагрева оболочек вращения. - Краткие тезисы докладов к УП научной конференции по применению ЭВМ в механике деформируемого твердого тела. Ташкент, 1975, часть III, с.5.

4. Огирко И.В. Оптимизация нагрева цилиндрической оболочки с произвольной температурной зависимостью характеристик материала. - Украинский республиканский фонд алгоритмов и программ СЖБ ММС ИК АН УССР. К., 1975, № 112.

5. Огирко И.В., Огирко О.В. Расчет оболочек вращения. - Украинский республиканский фонд алгоритмов и программ СЖБ ММС ИК АН УССР. К., 1975, № 160.

6. Огирко И.В. Расчет прямоугольной пластинки. - Украинский республиканский фонд алгоритмов и программ СЖБ ММС ИК АН УССР. К., 1975, № 159.

7. Бурак Я.И., Огирко И.В. Об определении термоупругого состояния оболочки экрана кинескопа с учетом температурной зависимости характеристик материала. - В сб.: Качество, прочность, надежность и технологичность электровакуумных приборов. К., "Наукова думка", 1976, с.56-59.

8. Огірко І.В. Вплив температурної залежності характеристик матеріалу на умови оптимального нагріву циліндричної оболонки. - В сб.: Матеріали другої конференції молодих науковців Західного наукового центру АН УРСР. Секція механіки. Ужгород, 1975, с.54-56. /Деп. в ВИНТИ № 4529-76/.

9. Бурак Я.И., Огирко И.В. Оптимальный нагрев цилиндрической оболочки с зависящими от температуры характеристиками материала. - В сб.: Математические методы и физико-механические поля. К., "Наукова думка", 1977, вып.5, с.26-30.

БІБЛІОТЕКА
Львівського державного
інституту фізичної
культури

10. Флейшман Н.П., Огирко И.В. К расчету оболочек типа кинескопа. - В сб.: Математические методы и физико-механические поля. К., "Наукова думка", 1977, вып.5, с.69-72.

11. Огирко И.В. Оптимизация термонапряженного состояния оболочек с физической и геометрической нелинейностью итерационными методами. - В сб.: XIV научное совещание по тепловым напряжениям в элементах конструкций. К., "Наукова думка", 1977, с.92.

12. Огирко И.В. Исследование оболочек с учетом изменения свойств материала от температуры. - Строительная механика и расчет сооружений. Реферативная информация. К., "Вища школа", 1977, вып.9, с.11-12.

13. Огирко И.В. Способ определения оптимального состояния элементов оболочки ЭВП в процессе изготовления и эксплуатации. - В кн.: Качество электронно-лучевых приборов. К., "Наукова думка", 1977, с.110-113.

БГ 01368 Підписано к печати 5.1У.1978г.

Зак.285 Тир.150 Формат 60x84 1/16 Об'єм 1п.л. Бесплатно

СРМП ВЦ Облстатуправления пл.700-летия Львова,4