

АКАДЕМИЯ НАУК РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН
ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ И ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

На правах рукописи
УДК 539.3: 681.06

КАРИМОВА ВЕНЕРА АРКИНОВНА

**МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И
АЛГОРИТМЫ ДЕФОРМАЦИИ КОНСТРУКЦИЙ
С УЧЕТОМ ФИЗИЧЕСКОЙ И
ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ НЕЛИНЕЙНОСТЕЙ**

05.13.18 – Теоретические основы математического моделирования

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Ташкент-2010

Работа выполнена в Ташкентском университете информационных технологий

Научный руководитель доктор технических наук, профессор
Касимов Садыкжон Сабиржанович

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук,
профессор **Курманбаев Болтабай**

доктор технических наук,
старший научный сотрудник
Равшанов Нормаммад

Ведущая организация .. Национальный университет Узбекистана

Защита состоится « 1 » декабрь 2010 г. в 14 часов на заседании специализированного совета Д 015. 17. 02 при Институте математики и информационных технологий Академии наук Республики Узбекистан по адресу: 100125, г.Ташкент, ул.Дурмон йули, 29.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института математики и информационных технологий АН РУз

Автореферат разослан « _____ » _____ 2010 г.

Ученый секретарь
специализированного совета



ИСМАИЛОВ М.А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИССЕРТАЦИИ

Актуальность работы. В настоящее время элементы конструкций типа пластин широко используются при построении различных сооружений. Повышение точности расчетов, сокращение сроков при решении таких сложных и многофакторных задач, какими являются нелинейные задачи тонкостенных конструкций невозможно без использования современных средств компьютерной техники. В этом смысле актуальность и практическая ценность построенной математической модели и разработанных на ее основе алгоритмов и программного обеспечения, несомненно возрастают, а его использование сулит довольно существенный экономический эффект за счет сокращения сроков и трудоемкости проектно-конструкторских работ.

Широкое применение математических методов и компьютеров открыло новые возможности увеличения производительности труда, дальнейшего развития производства, совершенствования управления. Процесс математизации науки, техники, экономики потребовал подготовки высококвалифицированных специалистов, способных реализовать те огромные возможности, которые дает применение компьютеров. Их использование связано с построением математических моделей изучаемых объектов и созданием вычислительных алгоритмов.

Применение численных методов на базе компьютеров сразу существенно расширило класс задач, допускающих исчерпывающий анализ и, позволило исследователю при построении математической модели получить ответ в явном виде. К такому классу задач можно отнести и задачи тонкостенных конструкций, основными деталями которых являются тонкие стержни, пластинки и оболочки.

Степень изученности проблемы. В Узбекистане за последние 50 лет проведен ряд исследований в области алгоритмизации теории расчета тонкостенных конструкций. У истоков алгоритмизации стоял академик АН РУз Кабулов В.К. Его идеи для решения упругопластических и вязкоупругих нелинейных задач продолжили и реализовали: Рашидов Т.Р., Абуталиев Ф.Б., Буриев Т., Толоч А., Бобомуродов К.Ш., Султанов К., Курманбаев Б., Эшматов Х., Бадалов Ф., Мирсаидов М., Саъдуллаев Р., Абдусаттаров А., Ахмедов А., Юлдашев Т., Мардонов Б, Маматкулов Ш, Холжигитов А. Назиров Ш.А., Усманов Р и их последователи. Ими достигнута автоматизация некоторых процессов расчета – начиная с вывода уравнения движения и кончая получением числовых значений расчетных величин – при минимальной исходной информации [6]. Проблемам создания методов расчета тонкостенных конструкций малых и больших прогибов посвящены работы Н.А.Алумяз, В.В.Болотина, В.З. Власова, А.С.Вольмира, Б.Г.Галеркина, К.З.Галимова, А.Л.Гольденвейзера, Э.И.Григолюк, Я.М.Григоренко, А.Д.Коваленко, А.И.Лурье, Х.М.Муштари, У.К.Нигул, В.В.Новожилова, П.М.Огйбалова, А.В.Погорелова, В.И.Феодосьева и др.

Анализ работ показал, что ряд вопросов требует дополнительных исследований. Влияние геометрических и физических нелинейностей на напряженно-деформированное состояние тонкостенных конструкций изучено не достаточно. Трудность постановки и решения задач подобной типа заключается в том, что заранее неизвестны не только степень нелинейности рассматриваемых систем уравнений, но также границы между областями упругих и упругопластических деформаций.

Связь диссертационной работы с тематическими планами НИР. В основе разработанных алгоритмических и программных средств и их практического применения лежат научно-исследовательские работы, выполненные при непосредственном участии автора в соответствии с научно-техническими программами НИР № БФ-Ф1-007 по теме "Теоретико-методологические основы построения интеллектуальных программно – технических систем представления и обработки данных для поддержки принятия решений в слабоформализуемых информационных структурах", ГНТП 17-005 "Ўқитишни интеллектуал автоматлаштириш тизимларида компьютер тренинглини таъкил қилиш", ГНТП-17: "Разработка современных информационных систем, интеллектуальных средств управления и обучения, научно-технических баз и программных продуктов, обеспечивающих повсеместное развитие и внедрение информационных и телекоммуникационных технологий".

Цель работы заключается в разработке математической модели и алгоритмов для решения статической задачи изгиба пластин с одновременным учетом физической и геометрической нелинейности, позволяющих автоматизировать процесс решения задачи и дающей возможность проводить многовариантные экспериментальные исследования.

Задачами исследования являются:

1. Построение математической модели нелинейных задач изгиба пластин;
2. Разработка эффективного алгоритма расчета тонкостенных конструкций, типа пластин при учете физической и геометрической нелинейностей;
3. Разработка и реализация комплекса программных средств, позволяющих автоматизировать процесс решения задачи и проводить многовариантные численные экспериментальные исследования, обосновывающие достоверность разработанной математической модели.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования являются процессы напряженно-деформированного состояния тонкостенных конструкций, типа пластин с нелинейными характеристиками, а предметом исследования – математическая модель, вычислительные алгоритмы и программное обеспечение процессов деформирования тонкостенных конструкций с учетом нелинейностей.

Методы исследования. В работе для решения задачи используются следующие приближенные методы: вариационный метод Ритца; метод упругих решений А.А.Ильюшина; метод последовательных приближений.

Гипотеза исследования. Построенные математические модели и алгоритмы позволяют адекватно описать физическое состояние объекта исследования с учетом физической и геометрической нелинейностей.

Основные научные положения диссертационной работы:

- математическая модель решения задачи изгиба пластин с учетом физической и геометрической нелинейности;
- алгоритм расчета напряженно-деформированного состояния пластин с использованием метода Ритца, упругих решений Ильюшина и метода последовательных приближений;
- процессы исследования напряженно-деформированного состояния пластин на основе разработанного программного обеспечения.

Научной новизной диссертационной работы является: построение математической модели и решение геометрически и физически нелинейной задачи на основе метода Ритца; разработка алгоритма расчета напряженно-деформированного состояния тонкостенных конструкций, типа пластин с учетом физической и геометрической нелинейностей.

Научная и практическая значимость работы состоит в следующем:

1. методика построения математической модели, разработки алгоритма и программного обеспечения и получения необходимых численных результатов может быть использована в проектных организациях и в качестве спецкурса в специализированных факультетах Университетов Республики Узбекистан;

2. разработанная математическая модель, алгоритм и программное обеспечение могут быть рекомендованы для использования в научно-исследовательских и проектных институтах (свидетельство об официальной регистрации программы в ГКНТ № DGU 01250 и № DGU 01863);

Реализация результатов. Результаты работы были использованы в качестве приложения к реконструкции производственных мощностей, а именно опорных конструкций под емкости с целью увеличения выпуска продукции в предприятиях: ООО «УЗТЕЛМАШ» и ОАО «СамаркандКиме».

Результаты работы внедряются в учебный процесс Ташкентского института инженеров железнодорожного транспорта.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на: Восьмом Всероссийском съезде по теоретической и прикладной механике (Пермь, 2001); на шестой международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых специалистов государств участников РСС «Техника и технологии связи» (Ташкент, 2008); на международной конференции по распространению упругих и упругопластических волн, посвященной 100-летию со дня рождения академика Х.А.Рахматулина (Бишкек, 2009); на III международной научной конференции «Актуальные

проблемы механики и машиностроения» (Алматы, 2009); на Республиканской научно-технической конференции «Современное состояние и перспективы преподавания строительных дисциплин», проводимой 16-17 сентября 2009 года в Ташкентском институте инженеров железнодорожного транспорта;

Опубликованность результатов. По теме диссертации опубликовано 5 тезисов и 5 научные статьи (из них 5 журнальные), получено два авторских свидетельства об официальной регистрации программы. Во всех совместных публикациях соискателем внесен определяющий творческий вклад. Все наиболее существенные научные результаты получены автором лично.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, трех глав с выводами, заключения и списка использованной литературы, включающего 77 наименований. Основная часть диссертации изложена на 127 страницах машинописного текста, включает 86 рисунка, 22 таблиц.

Диссертант с глубокой благодарностью чтит память академику Г.Буриеву за постановку задачи и ценные советы и консультации по поводу порядка и программы выполнения данной диссертационной работы. Также выражает свою искреннюю благодарность академику Т.Рашидову и д.т.н. Т.Юлдашеву за ценные консультации, поддержку, адекватное оценивание и за оказанное внимание в течение всего времени работы над диссертацией.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении приводится краткий обзор существующих работ, обоснована актуальность работы, сформулирована цель работы, определены научная новизна и практическая ценность работы, дана краткая аннотация работы по главам.

В первой главе приведено описание современного состояния проблемной области. Приведены основные соотношения, используемые при исследовании нелинейных процессов деформирования тонкостенных конструкций, приведена постановка задачи на основе метода Ритца.

Математическая модель напряженно-деформированного состояния пластин с учетом геометрической и физической нелинейностей в работе формируется на основе вариационного принципа Лагранжа

$$\delta U = -\delta \Pi + \delta A = 0, \quad (1)$$

Подставляя соответствующие соотношения для вариаций работы внешних сил и потенциальной энергии в случае общей моментной теории оболочек и пластин на основе геометрических гипотез и вариаций перемещений получим:

$$\delta U = - \iint \left[\sum N_n \delta \varepsilon_n - \sum M_n \delta \chi_n \right] ds + \iint \sum P_n \delta u_n dv + \iint \sum q_n \delta u_n ds = 0 \quad (2)$$

Здесь $\delta \varepsilon_i$ - вариации деформаций, $\delta \chi_i$ - вариации кривизны, δu_i - вариации перемещения, N_{ij} - внутренние усилия, M_{ij} - внутренние изгибающие и крутящие моменты. Вариационное уравнение (2) содержит в себе уравнения равновесия и статические граничные условия.

Применяя метод Ритца к решению задачи, подбираем для области, занятой телом, полную систему функций $\varphi_n(x, y)$ и представляя перемещения u, v, w рядами

$$u = \sum_n a_n \varphi_{1,n}, \quad v = \sum_n b_n \varphi_{2,n}, \quad w = \sum_n c_n \varphi_{3,n} \quad (3)$$

найдем вариации перемещений в виде:

$$\delta u = \sum_n \varphi_{1,n} \delta a_n, \quad \delta v = \sum_n \varphi_{2,n} \delta b_n, \quad \delta w = \sum_n \varphi_{3,n} \delta c_n \quad (4)$$

Здесь $\varphi_{i,n}$ - линейно независимая последовательность координатных функций, удовлетворяющая краевым условиям вариационного уравнения (2). Вариационное уравнение (2) с учетом формул (3)-(4) получает вид:

$$\delta U = \sum_n \left(\frac{\partial U}{\partial a_n} \delta a_n + \frac{\partial U}{\partial b_n} \delta b_n + \frac{\partial U}{\partial c_n} \delta c_n \right) \quad (5)$$

Подбираем коэффициенты a_n, b_n, c_n так, чтобы полная энергия системы была минимальна. Для этого составляются необходимые условия в виде частных производных от полной энергии по коэффициентам a_n, b_n, c_n , приравненным к нулю: $\frac{\partial U}{\partial a_n} = 0, \frac{\partial U}{\partial b_n} = 0, \frac{\partial U}{\partial c_n} = 0$ (6)

Тогда получим следующую систему уравнений для решения нелинейной задачи:

$$\begin{aligned} & \iint_V \left\{ \left[\frac{1}{9} E h^2 (d_1 - h) \times \left[\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right] \times \frac{\partial^2 \varphi_{3,m}}{\partial x^2} + \frac{1}{9} E h^2 \left((d_1 - h) \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right) \times \frac{\partial^2 \varphi_{3,m}}{\partial x \partial y} + \right. \right. \\ & \left. \left. + \frac{1}{9} E h^2 \left((d_1 - h) \times \left[\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right] \times \frac{\partial^2 \varphi_{3,m}}{\partial y^2} \right) \right\} dy dx = \quad (7) \\ & = \iint_V \left\{ - (Q(p_1) + q_1) \times \varphi_{3,m} + (M(p_1) + M(q_1)) \times \frac{\partial \varphi_{3,m}}{\partial x} + (M(p_2) + M(q_2)) \times \frac{\partial \varphi_{3,m}}{\partial y} + \right. \\ & \left. + \left[N_{11} \times \left(\frac{\partial \varphi_{3,m}}{\partial x} \right)^2 + N_{22} \times \left(\frac{\partial \varphi_{3,m}}{\partial y} \right)^2 + N_{33} \times \left(\frac{\partial \varphi_{3,m}}{\partial x} \frac{\partial \varphi_{3,m}}{\partial y} \right)^2 \right] \times c_m + \right. \\ & \left. + \frac{1}{9} E h^2 d_1 \left[\left[\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{1}{2} \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial x} \right)^2 + \frac{1}{4} \left(\frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 \right] \times \frac{\partial^2 \varphi_{3,m}}{\partial x^2} + \frac{1}{4} \left[\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial x} \frac{\partial w}{\partial y} \right] \times \frac{\partial^2 \varphi_{3,m}}{\partial x \partial y} + \right. \right. \\ & \left. \left. + \left[\frac{\partial v}{\partial y} + \frac{1}{2} \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 + \frac{1}{4} \left(\frac{\partial w}{\partial x} \right)^2 \right] \times \frac{\partial^2 \varphi_{3,m}}{\partial y^2} \right] \right\} dy dx: \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\Pi_1(\varphi_{3,n}, \varphi_{1,m}) &= \frac{h}{b^2} \iint \left\{ d_2 c_{n^{(k-1)}} \times \left(\gamma^2 \frac{\partial^2 \varphi_{3,n}}{\partial x^2} \frac{\partial \varphi_{1,m}}{\partial x} + \frac{1}{2} \times \gamma \times \frac{\partial^2 \varphi_{3,n}}{\partial y^2} \frac{\partial \varphi_{1,m}}{\partial x} + \right. \right. \\
&+ \left. \left. \frac{1}{12} \times \frac{h}{a} c_{n^{(k-1)}} \times \gamma \times \frac{\partial^2 \varphi_{3,n}}{\partial x \partial y} \frac{\partial \varphi_{1,m}}{\partial y} \right) \right\} dx dy; \\
P_{21}(\varphi_{1,n}, \varphi_{2,m}) &= \iint \left\{ \frac{1}{4} \gamma \frac{\partial \varphi_{1,n}}{\partial y} \frac{\partial \varphi_{2,m}}{\partial x} + 2\gamma \frac{\partial \varphi_{1,n}}{\partial x} \frac{\partial \varphi_{2,m}}{\partial y} \right\} dx dy; \\
P_{22}(\varphi_{2,n}, \varphi_{2,m}) &= \iint \left\{ \gamma^2 \frac{1}{4} \frac{\partial \varphi_{2,n}}{\partial x} \frac{\partial \varphi_{2,m}}{\partial x} + 4 \frac{\partial \varphi_{2,n}}{\partial y} \frac{\partial \varphi_{2,m}}{\partial y} \right\} dx dy; \\
N(\varphi_{2,m}) &= \iint \frac{3b^2}{4Eh} (N(P_2) + q_2) \times \varphi_{2,m} dx dy; \\
T_2(\varphi_{2,n}, \varphi_{2,m}) &= \iint d_1 \left[a_{n^{(k-1)}} \times \left(\frac{1}{16} \gamma \frac{\partial \varphi_{1,n}}{\partial y} \frac{\partial \varphi_{2,m}}{\partial x} + \frac{\gamma}{2} \frac{\partial \varphi_{2,n}}{\partial x} \frac{\partial \varphi_{2,m}}{\partial y} \right) + \right. \\
&+ \left. b_{n^{(k-1)}} \times \left(\frac{1}{16} \gamma^2 \frac{\partial \varphi_{2,n}}{\partial x} \frac{\partial \varphi_{2,m}}{\partial x} + \frac{\partial \varphi_{2,n}}{\partial y} \frac{\partial \varphi_{2,m}}{\partial y} \right) \right] dx dy; \\
N_2(\varphi_{3,n}, \varphi_{2,m}) &= \iint \left\{ (1 - d_1) \left(c_{n^{(k-1)}} \right)^2 \times \left(\frac{h}{16a} \gamma^2 \frac{\partial \varphi_{3,n}}{\partial x} \frac{\partial \varphi_{3,n}}{\partial y} \frac{\partial \varphi_{2,m}}{\partial x} + \right. \right. \\
&+ \left. \left. \frac{1}{4\beta} \left(\gamma \frac{\partial \varphi_{3,n}}{\partial x} \right)^2 \frac{\partial \varphi_{2,m}}{\partial y} + \frac{1}{2\beta} \left(\frac{\partial \varphi_{3,n}}{\partial y} \right)^2 \frac{\partial \varphi_{2,m}}{\partial y} \right) \right\} dx dy; \\
\Pi_2(\varphi_{3,n}, \varphi_{1,m}) &= \iint \left\{ \frac{d_2}{h} c_{n^{(k-1)}} \times \left(\frac{h}{4a} \times \gamma^2 \times \frac{\partial^2 \varphi_{3,n}}{\partial x \partial y} \frac{\partial \varphi_{2,m}}{\partial x} + \gamma \frac{\partial^2 \varphi_{3,n}}{\partial y^2} \frac{\partial \varphi_{2,m}}{\partial y} + \right. \right. \\
&+ \left. \left. \frac{1}{2} \times \gamma^2 \times \frac{\partial^2 \varphi_{3,n}}{\partial x^2} \frac{\partial \varphi_{2,m}}{\partial y} \right) \right\} dx dy.
\end{aligned}$$

С учетом введенных обозначений (8) из системы уравнений (7) получим следующую систему нелинейных алгебраических уравнений:

$$\begin{aligned}
C_n Q(\varphi_{3,n}, \varphi_{3,m}) &= P(\varphi_{3,m}) + N(\varphi_{3,m}) + \Pi(\varphi_{1,n}, \varphi_{2,n}, \varphi_{3,m}) + T(\varphi_{3,n}, \varphi_{3,m}); \\
[a_n P_{11}(\varphi_{1,n}, \varphi_{1,m}) + b_n P_{12}(\varphi_{2,n}, \varphi_{1,m})] &= N(\varphi_{1,m}) + N_1(\varphi_{3,n}, \varphi_{1,m}) + \Pi_1(\varphi_{3,m}, \varphi_{1,m}) + T_1(\varphi_{1,n}, \varphi_{1,m}); \\
[a_n P_{21}(\varphi_{1,n}, \varphi_{2,m}) - b_n P_{22}(\varphi_{2,n}, \varphi_{2,m})] &= N(\varphi_{2,m}) + N_2(\varphi_{3,n}, \varphi_{1,m}) + \Pi_2(\varphi_{3,m}, \varphi_{1,m}) + T_2(\varphi_{2,n}, \varphi_{2,m})
\end{aligned} \tag{9}$$

Из первого уравнения (9) определяем искомый параметр c_n :

$$c_n = [Q(\varphi_{3,n}, \varphi_{3,m})]^{-1} \times [P(\varphi_{3,m}) + N(\varphi_{3,m}) + \Pi(\varphi_{1,n}, \varphi_{2,n}, \varphi_{3,m}) + T(\varphi_{3,n}, \varphi_{3,m})]. \tag{10}$$

где $P(\varphi_{3,m})$ - линейное слагаемое уравнения;

$N(\varphi_{3,m}), \Pi(\varphi_{1,n}, \varphi_{2,n}, \varphi_{3,m}), T(\varphi_{3,n}, \varphi_{3,m})$ - нелинейные слагаемые уравнения

Введем следующие обозначения:

$$R_1 = [N(\varphi_{1,m}) + N_1(\varphi_{3,n}, \varphi_{1,m}) + P_1(\varphi_{3,m}, \varphi_{1,m}) + T_1(\varphi_{1,n}, \varphi_{1,m})] \quad (11)$$

$$R_2 = [N(\varphi_{2,m}) + N_2(\varphi_{3,n}, \varphi_{1,m}) + P_2(\varphi_{3,m}, \varphi_{1,m}) + T_2(\varphi_{2,n}, \varphi_{2,m})]$$

Тогда с учетом введенных обозначений (11), из (9) имеем следующую систему алгебраических уравнений:

$$P_{11}a_n + P_{12}b_n = R_1 \quad (12)$$

$$P_{21}a_n + P_{22}b_n = R_2$$

В результате получим векторное уравнение:

$$P_n \bar{Y}_n = \bar{\Phi}_n, \quad (13)$$

$$\text{где } P_n = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} \\ P_{21} & P_{22} \end{bmatrix}, \quad \bar{\Phi}_n = \begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \end{bmatrix}, \quad \bar{Y}_n = \begin{bmatrix} a_n \\ b_n \end{bmatrix} \quad (14)$$

Из уравнения определяем искомый вектор \bar{Y}_n

$$\bar{Y}_n = P_n^{-1} \bar{\Phi}_n \quad (15)$$

Решение задачи начинается с линейного уравнения изгиба пластин. В дальнейшем учитываются нелинейные слагаемые. При этом должно обеспечиваться следующее условие $|w_{\max}^k - w_{\max}^{k-1}| \leq \varepsilon_1$, $|M_{n\max}^k - M_{n\max}^{k-1}| \leq \varepsilon_2$ (16)

Таким образом, определяется количество итераций. После выполнения условий $\frac{e_i}{e_i} > 1$ и (или) $w > h/4$ при каждом значении k решаются уравнения (10) и (15). Задача решается до выполнения условия (16). В диссертационной работе приведена подробная схема решения нелинейной задачи.

В этой же главе приведено описание вычислительного комплекса для решения нелинейных задач, который включает управляющий блок и расчетный блок. Управляющий блок включает модули для решения класса задач тонкостенных конструкций, типа пластин. Расчетный блок включает модули, оформленные в виде процедур и функций, а также модули: типов и констант и оформления результатов расчета. Сюда относятся модули для: вычисления интегралов, генерации узлов и весов Гаусса; вычисления значений систем координатных функций для определенных граничных условий; ортонормирования системы координатных функций; для формирования элементов разрешающих уравнений; алгебры матриц (операции с матрицами, вычисление определителей, нахождение обратной матрицы); решения разрешающих уравнений; формирования неизвестных c и нахождение перемещений w и их производных соответствующего порядка; формирования неизвестных a и b ; вычисления перемещений u, v, w^* и их производных соответствующего порядка; предназначенный для вычисления интенсивности напряжений и деформаций; модуль вычисления значения функции Ильюшина ω , значения функций d_1, d_2, d_3, d_4 .

Вычислительный комплекс реализован на языке Borland Delphi Enterprise version 7.0. в среде Windows для персональных компьютеров.

В третьей главе приведено обоснование достоверности решения задачи в случае линейного и нелинейного состояния тонкостенных конструкций, типа пластин на основе сравнения с результатами.

полученными другими авторами или на основании обоснования достоверности полученных результатов на основе сходимости результатов относительно выбранных координатных функций и узлов Гаусса.

Для проверки адекватности разработанной математической модели и вычислительного алгоритма численные результаты первой и второй задачи были сопоставлены с имеющимися в литературе результатами. В обоих тестовых задачах установлено совпадение полученных результатов с результатами других авторов, что свидетельствует о правильности выбранной методики и алгоритма. Исследована стабилизация численных результатов в зависимости от числа координатных функций и узлов интегрирования.

В третьей задаче приводятся результаты исследований: статической линейной и нелинейной упругопластической задачи изгиба прямоугольной пластинки, жестко защемленной по контуру и нагруженной равномерной нагрузкой. Приводится сравнение полученных результатов с результатами, полученными Буриевым Т. Полученные результаты относительно прогибов совпадают до третьего знака после запятой при $NK=15$. Исследуя сходимость результатов относительно количества координатных функций и количества узлов Гаусса, можно сказать результаты расчета w , e_{11} , e_{22} в работе сходятся до третьего-четвертого знака, что подтверждает правильность полученных результатов. При сравнении, полученных в диссертационной работе зон пластических деформаций в области $[0;0.5;0;0.5]$ с приведенными результатами в работе Т.Буриева можно сказать, что упругие и упруго-пластические зоны совпадают.

В четвертой и пятой задачах приведено обоснование достоверности решения геометрически нелинейной задачи изгиба прямоугольной пластинки шарнирно опертой и жестко защемленной по контуру при действии равномерной нагрузкой по всей области пластинки. В результате анализа результатов выявлено: сравнение найденных результатов с результатами, полученными другими авторами показывает хорошее качественное и количественное совпадение результатов. Исследуя сходимость результатов относительно количества узлов Гаусса, можно сказать результаты расчета сходятся до 4-5 знаков после запятой. Как показывает вычислительный эксперимент, относительно координатных функций стабилизация результатов достигается при 6 координатных функциях. С увеличением отношения сторон значения прогибов и цепных напряжений растут.

В шестой и седьмой задачах приведено исследование напряженно-деформированного состояния тонкостенных конструкций с учетом физической и геометрической нелинейностей. Рассматриваются шарнирно опертая по контуру и со смешанными граничными условиями пластина, нагруженная равномерной нагрузкой. Проведя анализ построенных зон пластичности и численных результатов δ видим, что с увеличением нагрузок зоны пластичности распространяются по всей поверхности пластины.

.Причем с увеличением нагрузки значение постоянной характерной нагрузки k к значению предельно упругой постоянной характерной нагрузки δ будет максимальным не в центре пластины.

Таблица

Результаты расчета для шарнирно опертой по контуру пластины в случае решения нелинейной геометрической задачи и в случае решения задачи с учетом физической и геометрической нелинейности

Величина	Метод расчета	$q_0 \left(\frac{\text{кг}}{\text{см}^2} \right)$		
		26,4	58,7	132,15
		$k1=8$ $k2=5$	$k1=10$ $k2=6$	$k1=13$ $k2=8$
$w_0(0,0)$	случай геометрической нелинейности	0,1343	0,2908	0,6183
	случай геометрической и физической нелинейности	0,1373	0,3052	0,6867
$\sigma_1''(0,0)$	случай геометрической нелинейности	140,1116	311,5360	701,3540
	случай геометрической и физической нелинейности	139,6404	150,1324	173,8264
$\sigma_1''(0,0)$	случай геометрической нелинейности	497,0267	1076,4617	2288,4141
	случай геометрической и физической нелинейности	17,7916	39,5431	88,9742

В таблице приведены результаты расчета для шарнирно опертой по контуру пластины в случае решения нелинейной геометрической задачи и в случае решения задачи с учетом физической и геометрической нелинейности. Обозначим через $k1$ -количество итераций учета

геометрической нелинейности, $k2$ - количество итераций учета физической нелинейности. а через $w_0(0,0)$, $\sigma_1''(0,0)$, $\sigma_1''(0,0)$ соответственно прогиб, центные и изгибающие напряжения.

Исследуя сходимость результатов относительно количества узлов Гаусса, можно сказать результаты расчета сходятся до 4-5 знаков после запятой.

В случае решения задачи с учетом физической и геометрической нелинейности относительно результатов расчета линейной задачи и в случае геометрической нелинейности результаты расчета функции Ильюшина, интенсивности деформаций и значений моментов в центре пластины значительно уменьшаются.

Рассмотрено изменение перемещений u и v при заданном значении нагрузки. Приведена зависимость перемещений u и v в зависимости от заданной нагрузки q_0 . Приведено изменение усилий $N11$ и $N22$ при заданном значении нагрузки для геометрически нелинейного случая и для случая физической и геометрической нелинейности. Исследование зависимостей усилий $N11$ и $N22$ от заданной нагрузки q_0 в геометрически нелинейном случае и в случае физической и геометрической нелинейности показывает, что с увеличением нагрузки численные значения усилий $N11$ и $N22$ растут.

Приведены графики расчетных величин моментов $M_x(x,0)$ и $M_y(0,y)$ в случае физической и геометрической нелинейности. Анализ графиков показал, что значения моментов $M_x(x,0)$ и $M_y(0,y)$ при заданном значении нагрузки и условии закрепления совпадают. Аналогично совпадают значения моментов $M_x(0,y)$ и $M_y(x,0)$. Проведенный анализ результатов показал, что статические граничные условия для моментов в линейной и геометрически нелинейной постановке тождественно выполняются, а при учете геометрической и физической нелинейностей в соотношения для моментов и усилий включаются дополнительные слагаемые. Эти слагаемые влияют на значения моментов и усилий при расчете гибких пластин при совместном учете геометрической и физической нелинейностей.

Также исследовано напряженно-деформационное состояние пластины со смешанными граничными условиями при равномерном поперечном нагружении. При данных условиях закрепления в отличие от случая, когда все края пластины шарнирно оперты зоны пластичности наблюдаются не только в центре пластины, а также в точках $(0,1)$ и $(0,-1)$. Приведены результаты расчета прогибов, интенсивности деформаций и функции Ильюшина в центре пластины. Приведено изменение перемещений $u(x;0)$ и $v(0;y)$ при заданном значении нагрузки. Приведено изменение усилий $N11$ и $N22$ при заданном значении нагрузки для геометрически нелинейного случая и для случая физической и геометрической нелинейности. Проведен анализ результатов расчета усилий $N11$ и $N22$ в случае геометрической нелинейности и в случае геометрической и физической нелинейности.

Приведены графики расчетных величин моментов $M_x(x,0)$ и $M_y(0,y)$ в случае физической и геометрической нелинейности. Анализ графиков

показал, что значения моментов $M_x(x, 0)$ и $M_y(0, y)$ при заданном значении нагрузки и условии закрепления не совпадают. Аналогично отмечается не совпадение графиков моментов $M_x(0, y)$ и $M_y(x, 0)$. На рисунках 1 и 2 приведены значения моментов $M_x(x, 0)$ и $M_y(0, y)$ в линейном случае, в случае решения геометрической нелинейности и в случае геометрической и физической нелинейности при заданном значении нагрузки.

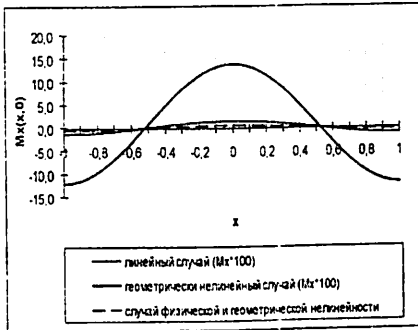


Рис. 1. Графики значений $M_x(x; 0)$ при $q_0 = 12,3$ в случае решения линейной, геометрически нелинейной задачи и в случае геометрической и физической нелинейностей

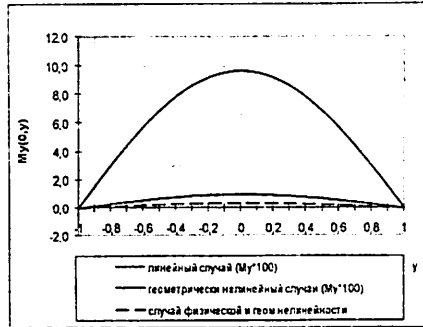


Рис. 2. Графики значений $M_y(0; y)$ при $q_0 = 12,3$ в случае решения линейной, геометрически нелинейной задачи и в случае геометрической и физической нелинейностей

Как видно, в случае решения линейной и геометрически нелинейной задачи на защемленном контуре значения моментов отличны от нуля, а на шарнирно опертом контуре равны нулю. В случае геометрической и физической нелинейности значения моментов значительно уменьшаются.

Таким образом, учет геометрической нелинейности приводит к деформированию срединной поверхности пластины в результате возникновения усилий N_x . Это приводит к изменению изгибающих и крутящих моментов на пластине. Учет одновременно геометрической и физической нелинейности приводит к перераспределению внутренних усилий N_y и моментов M_y в теле пластины.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе проделанной работы можно сделать следующие практические и теоретические выводы:

1. В диссертационной работе проведено исследование напряженно-деформированного состояния тонкостенных конструкций, типа пластин:
 - построена математическая модель исследуемой проблемы;
 - разработан алгоритм исследования и получения приемлемых численных результатов с использованием приближенных методов: Рунге, упругих решений А.А.Ильюшина и последовательных приближений;
 - создано программное обеспечение, автоматизирующее процесс решения задачи.
2. Разработан вычислительный комплекс решения нелинейных задач тонкостенных конструкций, который представляет собой открытую вычислительную систему, позволяющую:
 - автоматизировать процесс решения задачи;
 - добавлять модули для решения новых задач тонкостенных конструкций;
 - проводить многовариантные вычислительные экспериментальные исследования линейных и нелинейных задач изгиба пластин.
3. Решены конкретные задачи по исследованию линейных и нелинейных напряженных состояний для различных гибких пластинчатых конструкций с различными краевыми условиями;
4. Для доказательства достоверности численных результатов отдельно проведено исследование линейных, геометрически нелинейных и упруго пластических задач. Полученные результаты для отдельных характерных точек хорошо согласуются с известными результатами ряда авторов, в частности результатами Тимошенко С.П., Самуля В.И. и Буриева Т.;
5. Разработанные механизмы исследования нелинейных процессов деформирования позволили решить ряд новых нелинейных задач, учитывающих совместно геометрическую и физическую нелинейности в пластинчатых конструкциях. Рассмотрены пластинки с шарнирно закрепленными, жестко защемленными и комбинированными закреплениями. Получен ряд новых численных результатов, раскрывающих влияние учета нелинейностей (геометрической и физической) параметров деформирования.

Таким образом, результаты проведенных исследований по математическому моделированию деформаций тонкостенных конструкций, типа пластин открывают новые возможности исследования напряженного деформированного состояния при статических и динамических нагружениях ряда практических задач.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. Каримова В.А. Автоматизация исследования устойчивости упругопластических пластин сложных конфигураций // Узб. журнал "Проблемы информатики и энергетики". – Ташкент: «ФАН» АН РУз, 1998. – №6 – С. 14-18.
2. Каримова В.А. Устойчивость пластин сложных конфигураций в пределах и за пределом упругости // Восьмой всероссийский съезд по теоретической и прикладной механике. – Пермь, 2001. – С. 310.
3. Косимов С.С., Каримова В.А. Вычислительный алгоритм для расчета устойчивости пластин при однородном напряженном состоянии // ДАН РУз. – Ташкент, 2007. – № 6. – С. 37-40.
4. Косимов С.С., Каримова В.А. Мураккаб конфигурацияли пластиналар тургунлигини бир жинсли кучланиш холатида тадқиқ этиш учун дастурий воситалар // "ЭҶМ учун дастурлар. Расмий ахборотнома". – Ташкент, 2007. – № 4. – С. 193.
5. Каримова В.А. Современный подход к решению проблемы автоматизации полного расчета пластин и оболочек // Труды шестой международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых специалистов государств участников РСС «Техника и технологии связи». – Ташкент, 2008. – С. 247-248.
6. Каримова В.А. Решение нелинейных задач тонкостенных конструкций // Узб. журнал "Проблемы механики". – Ташкент, 2009. – №5-6 – С. 90-95.
7. Каримова В.А. Расчет пластин с учетом физической и геометрической нелинейности // Материалы республиканской научно-технической конференции. – Ташкент, 2009. – С. 73-74.
8. Рашидов Т.Р., Каримова В.А. Разработка алгоритма и программного обеспечения для решения задачи изгиба пластин // Труды международной конференции по распространению упругих и упругопластических волн. – Бишкек, 2009. – С. 347-350.
9. Рашидов Т.Р., Юлдашев Т., Каримова В.А. Алгоритм расчета напряженно-деформированного состояния пластин с учетом физической и геометрической нелинейности // Материалы III международной научной конференции «Актуальные проблемы механики и машиностроения». – Алматы, 2009. – том 1. – С. 138-142.
10. Юлдашев Т., Каримова В.А. Пластиналар кучланишлик-деформацион холатини физик ва геометрик нозикликни ҳисобга олган ҳолда ечиш учун мўлжалланган дастурий восита // "ЭҶМ учун дастурлар. Расмий ахборотнома". – Ташкент, 2009. – № 12. – С. 140.
11. Рашидов Т.Р., Юлдашев Т., Каримова В.А. К решению нелинейных задач изгиба пластин // ДАН РУз. – Ташкент, 2010. – № 1. – С.50-53.
12. Каримова В.А. Автоматизация расчета тонкостенных конструкций // Вестник ТУИТ. – Ташкент, 2010. – №2 – С. 80-84.

Техника фанлари номзоди илмий даражасига талабгор Каримова Венера Аркиновнанинг 05.13.18 – Математик моделлаштиришнинг назарий асослари ихтисослиги бўйича “Физик ва геометрик ночизикликларни ҳисобга олган ҳолда конструкциялар деформациясининг математик моделлари ва алгоритмлари” мавзусидаги диссертациясининг

РЕЗЮМЕСИ

Таянч сўзлар: ички кучлар, ички эгувчи ва буровчи моментлар, нормал ва уринма кучланишлар ва деформациялар, пластиналарнинг кучланишлик-деформацион ҳолати, деформациялар нинтенсивлиги.

Тадқиқот объектлари: пластиналар кучланишлик-деформацион ҳолатининг шаклланиш жараёнлари.

Ишнинг мақсади: биргаликда физик ва геометрик ночизикликни ҳисобга олган ҳолда пластиналар эгиклигининг статик масаласини ечиш учун математик модель ва алгоритмларни ишлаб чиқишдан иборат бўлиб, улар масалани ечиш жараёнини автоматлаштириш ва кўп вариантли экспериментал тадқиқотлар ўтказиш имконини беради.

Тадқиқот методлари: ишда масалани ечиш учун куйидаги тақрибий методлардан фойдаланилди: Ритцнинг вариацион методи; А.А.Ильошиннинг эластик ечимлар методи; кетма-кет яқинлашишлар методи.

Олинган натижалар ва уларнинг янгилиги: пластиналар эгилишининг физик ва геометрик ночизиклик масаласини ечишнинг математик модели яратилди, унинг асосида Ритц методи, А.А.Ильошиннинг эластик ечимлар методи ва кетма-кет яқинлашишлар методидан фойдаланиб, пластиналар кучланишлик-деформацион ҳолатини ҳисоблаш алгоритми ишлаб чиқилди. Таклиф этилаётган тадқиқотнинг янгилиги куйидагиларда намоён бўлади: Ритц методи асосида ночизик масалани ечишнинг математик модели яратилди; юқорида келтирилганлар асосида масалани ечиш алгоритми ишлаб чиқилди ҳамда масалани ечиш жараёнини автоматлаштириш имконини берадиган дастурий воситалар комплекси яратилди

Амалий аҳамияти: ишлаб чиқилган математик модель, алгоритм ва дастурий таъминот илмий-тадқиқот ва лойиҳа институтларида фойдаланиш учун тавсия этилиши мумкин.

Татбиқ этиш даражаси ва иқтисодий самарадорлиги: тадқиқот натижалари саноатнинг пластина кўринишидаги конструкциялар қўлланадиган турли соҳаларида қўлланиши мумкин. Яратилган алгоритм ва дастурий таъминотнинг қўлланиши лойиҳа-конструкторлик ишланмалар муддатларининг ва меҳнат сарфининг қисқариши ҳисобига катта иқтисодий самара келтириши мумкин.

Қўлланиш соҳаси: машинасозлик, кemasозлик, учиш аппаратлари, энергетика, қурилиш.

РЕЗЮМЕ

диссертации Каримовой Венеры Аркиновны на тему: «Математические модели и алгоритмы деформации конструкций с учетом физической и геометрической нелинейностей» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 – Теоретические основы математического моделирования.

Ключевые слова: внутренние усилия, внутренние изгибающие и крутящие моменты, нормальные и касательные напряжения и деформации, напряженно-деформационное состояние пластин, интенсивность деформаций.

Объекты исследования: процессы формирования напряженно-деформированного состояния тонкостенных конструкций.

Цель работы: разработка математической модели и алгоритмов для решения статической задачи изгиба пластин с одновременным учетом физической и геометрической нелинейности, позволяющих автоматизировать процесс решения задачи и дающей возможность проводить многовариантные экспериментальные исследования.

Методы исследования: в работе для решения задачи используются следующие приближенные методы: вариационный метод Ритца; метод упругих решений А.А.Ильюшина; метод последовательных приближений.

Полученные результаты и их новизна: получена математическая модель решения физически и геометрически нелинейной задачи изгиба пластин, на основе которой разработан алгоритм расчета напряженно-деформированного состояния пластин с использованием метода Ритца, упругих решений А.А.Ильюшина и метода последовательных приближений. Новизна предлагаемой работы заключается в следующем: выведена математическая модель решения нелинейной задачи на основе метода Ритца; разработан алгоритм решения задачи и создан комплекс программных средств, позволяющий автоматизировать процесс решения задачи.

Практическая значимость: разработанная математическая модель, алгоритм и программное обеспечение могут быть рекомендованы для использования в научно-исследовательских и проектных институтах

Степень внедрения и экономическая эффективность: результаты исследований могут быть использованы в различных отраслях промышленности, где используются конструкции, типа пластины. Использование алгоритма и созданного программного обеспечения сулит довольно существенный экономический эффект за счет сокращения сроков и трудоёмкости проектно-конструкторских разработок.

Область применения: машиностроение, кораблестроение, летательные аппараты, энергетика, строительство

RESUME

Thesis of Venera Karimova on the scientific degree competition of the doctor of philosophy in technical sciences on specialty 05.13.18 -- The theoretical basis of mathematical modeling subject: "Mathematical models and algorithms for deformation of structures with a glance of physical and geometrical nonlinearities".

Key words: internal efforts, the internal bending and twisting moments, normal and tangential stresses and strains, stress-strain state of plates, the intensity of deformation.

Subjects of research: the formation of stress-strain state of thin-walled structures.

Purpose of work: development of mathematical model and algorithms for the solution the static problem of plates bending with physical and geometrical nonlinearity, which would allow automating process of the problem solution, and giving a chance to spend multiple experimental researches.

Methods of research: In this paper for solving the problem was used the following approximate methods: the variation Ritz's method, the method of elastic solutions by A. Ilyushin, the method of consecutive approximations.

The result obtained and their novelty: the mathematical model solutions for physically and geometrically nonlinear bending problem of plates based on which was made the algorithm of calculating the stress-strain state of plates using the Ritz's method, the elastic solution by Ilyushin and the method of successive approximations were found. The novelty of the proposed work is as follows: was derived a mathematical model for solving the nonlinear problem on the basis of the Ritz's method, an algorithm for solving the problem, and a set of software tools to automate the process of solving the problem have been created.

Practical value: the developed mathematical model, algorithm and software can be recommended for research and design institutes.

Degree of embed and economic affectivity: the results of research can be used in various industries that use different type of the metal plates for design. The significant economic can be achieved by reducing the time and complexity of design-development using the algorithm and software tools have been created.

Field of applications: mechanical engineering, shipbuilding, aircraft, power engineering, construction.

Подписано в печать 26.10.2010 г
Тираж 100 . Заказ 16.
Отпечатано в типографии Института
математики и информационных технологий
Ташкент, улица Дурмон йули,25