

АКАДЕМИЯ НАУК РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН

Институт геологии, сейсмостойкого
строительства и сейсмологии

На правах рукописи

УДК 624.04 (575.3)

ХОДЖИБОЕВ Орифджон Абдуазизович

**ИССЛЕДОВАНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ
НАПРЯЖЕНИЙ ПЛОСКОЙ ЗАДАЧИ ТЕОРИИ УПРУГОСТИ
МЕТОДОМ ГРАНИЧНЫХ УРАВНЕНИЙ**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук по специальности
05.23.17 – Строительная механика

Душанбе – 2018

Работа выполнена в лаборатории «Сейсмостойкость зданий и сооружений» Института геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии Академии наук Республики Таджикистан.

Научный руководитель:

Низомов Джахонгир, доктор технических наук, профессор, член-корр. АН РТ, заведующий лабораторией «Сейсмостойкость зданий и сооружений» Института геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии Академии наук Республики Таджикистан

Официальные оппоненты:

Филатов Владимир Владимирович, доктор технических наук, доцент кафедры «Строительной и теоретической механики» Московского государственного строительного университета

Муниев Джуракул Дехканович, кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Инженерной геодезии и картографии» Таджикского технического университета им. акад. М.С.Осими

Ведущая организация:

Государственное унитарное предприятие «Научно-исследовательский институт строительства и архитектуры» Комитета по строительству и архитектуры при Правительстве Республики Таджикистан

Защита состоится _____ г. в ____ часов на заседании диссертационного совета 6D.KOA-016 при Таджикском техническом университете имени академика М.С. Осими по адресу: 734042, г. Душанбе, пр. академиков Раджабовых, 10А. E-mail: dis.sia@mail.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Таджикского технического Университета имени академика М.С.Осими, www.ttu.tj

Автореферат разослан «__» _____ 2018г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат технических наук, и.о.доцента

Рахмонзода А.Д.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы определяется необходимостью дальнейшего развития метода граничных интегральных уравнений применительно к двумерным задачам теории упругости с учетом особенности в угловых зонах, а также к задачам взаимодействия сооружения с упругим основанием. Основное преимущество метода граничных интегральных уравнений является понижение размерности задачи, что способствовало опубликованию большого количества работ теоретического и практического характера. Публикаций, связанных с исследованиями концентраций напряжений, значительно меньше.

При возникновении концентрации напряжений напряжения могут принимать значения в несколько раз превышающие номинальное значение и расчётное сопротивление материала конструкции, что приводит к разрушению. Поэтому уточнения картины напряжённо- деформированного состояния в плоской задаче теории упругости с учётом концентрации напряжений является актуальной задачей.

Целью диссертационной работы является развитие метода граничных уравнений применительно к решению статических и динамических двумерных задач теории упругости. Для реализации этой цели поставлены следующие задачи:

- построение граничных уравнений внешних и внутренних задач и численная их реализация на примере классических задач, исследование сходимости и точности методики расчета;
- построение граничных уравнений и численное решение внутренней и внешней задачи с угловыми точками;
- численное преобразование дифференциальных уравнений и построение граничных уравнений динамической задачи;
- разработать алгоритмы численного моделирования при различных способах аппроксимации граничных параметров, сопоставление результатов;
- разработать алгоритм численного моделирования с целью анализа напряженно-деформированного состояния угловых зон пластины, исследование сходимости нормальных напряжений;
- создание алгоритма расчета односвязных и многосвязных пластин различной геометрической формы, сравнение полученных результатов с данными других авторов;
- построение граничных уравнений и численное решение задачи взаимодействия пластины с упругим основанием;
- разработать алгоритм расчета двухсвязной пластины от действия динамической нагрузки.

Научную новизну диссертации состоит в следующем:

- разработаны математическая модель, алгоритм и компьютерная программа расчёта концентрации напряжений односвязных и многосвязных пластин на статические и динамические воздействия;
- предложен способ численного преобразования дифференциальных уравнений и получены граничные уравнения динамической задачи;
- получены новые результаты о колебаниях пластины в условиях плоской деформации с учетом податливости упругого основания;
- получена система граничных уравнений и разработана методика расчета бесконечной плоскости с криволинейным отверстием при действии нагрузки на бесконечности;

Достоверность результатов определяется строгостью применяемого математического аппарата, доказательствами устойчивости и сходимости используемых методов аппроксимаций, а также сопоставлениями полученных результатов с известными решениями.

Практическая ценность работы заключается в том, что:

- разработанные алгоритмы и компьютерные программы могут быть использованы для расчета различных двумерных задач;
- предлагаемые алгоритмы и методы решения плоской задачи теории упругости позволяют исследовать статические и динамические взаимодействия конструкций с упругим полупространством;
- приведенные практические задачи, позволяют решать задачи связанные с расчетом пластин со сплайн аппроксимацией граничных параметров с учетом особенности угловых точек;
- предлагаемые программы на ЭВМ могут быть использованы при расчете статических и динамических двумерных задач теории упругости.

Внедрение. Теоретические и прикладные результаты диссертации внедрены в учебный процесс магистратуры АН РТ и Таджикского технического университета имени академика М.С.Осими, а также в практику исследования и реального проектирования ГУП НИИСА Комитета по строительству и архитектуре при Правительстве РТ.

На защиту выносятся следующие результаты исследований:

1. Математические модели статических и динамических состояний односвязных и многосвязных пластин, разработанные на основе метода граничных уравнений с применением сплайновой аппроксимации граничных параметров;
2. Численные результаты решения внешних и внутренних задач по определению тангенциальных напряжений на контуре исследуемого объекта;
3. Математические модели и алгоритмы расчёта концентрации напряжений в плоско-деформированной системе с учётом податливости основания на статические и динамические воздействия;
4. Математические модели и алгоритмы численного решения по исследованию концентрации напряжений в угловых зонах для плоской задачи теории упругости с помощью квадратичной и кубической аппроксимаций;
5. Алгоритм и результаты численного решения динамической задачи пластины с отверстием.

Апробация работы была проведена на: - республиканской научной конференции. «100-лет со дня Каратагского землетрясения и современные проблемы сейсмостойкого строительства и сейсмологии», г. Душанбе, 2007 г.; - международной конференции по снижению сейсмического риска, посвященной шестидесятилетию со дня Хаитского землетрясения 1949 года в Таджикистане, г. Душанбе, 2009 г.; - республиканской научно-практической конференции, посвященной «Году образования и технической культуры» и 50-летию кафедры «Водоснабжение и водоотведение», г. Душанбе, 2010 г.; - IV международной научно-практической конференции «Перспективы развития науки и образования», г. Душанбе, 2010г.; - XVII Московской международной межвузовской научно-технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых учёных. ФГБОУ ВПО Московский государственный строительный университет. Москва, 2013.; - международной научно-практической конференции «Современные тенденции в архитектуре, строительстве и образовании в Республике Таджикистан», г. Душанбе, 2014г.; -

республиканской научно-практической конференции г.Худжанд, 25 апреля 2015г.; - VIII международной научно-практической конференции Перспективы развития науки и образования г.Душанбе, 3-4 ноября 2016г.; - международной научно-практической конференции «Сейсмическая безопасность Центральной Азии», Душанбе, 25-27 августа 2016 г.; - международной научно-практической конференции «Опыт, проблемы и перспективы повышения качества строительных работ на основе лучших отечественных и зарубежных практик» (часть 1), Душанбе, 11-12 мая 2018г.; - международной научно-практической конференции «Вода-важный фактор для устойчивого развития» посвящённой международному десятилетию действия «Вода для устойчивого развития, 2018-2028» 21 апреля 2018г., Душанбе, 2018г.

Публикации Основное содержание диссертации опубликовано в 45 научных работах, в том числе 22 опубликованы в рецензируемых научных журналах, включенных в перечень ВАК при Президенте Республики Таджикистан.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, основных выводов, списка литературы и приложений, а также содержит 153 страниц машинописного набора, включая 37 таблиц и 66 рисунков.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы диссертации, даётся её общая характеристика, формулируются основные цели и задачи исследования, обсуждается достоверность и научная новизна результатов работы, их практическая ценность.

В первой главе «КРАТКИЙ ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ» автором приводится обзор литературы связанной с методами исследования напряжённо-деформированного состояния двумерных задач, концентрации напряжений, исследование концентрации напряжений в угловых зонах и исследование взаимодействия сооружения с основанием.

Возможности современной компьютерной техники позволяет использовать численные методы расчета задач строительной механики и поэтому в практику проектирования всё шире внедряется метод граничных интегральных уравнений (метод граничных элементов), который является развитием классического метода потенциала.

При исследовании краевых задач в теории уравнений с частными производными, одним из основных методов является сведение краевой задачи к решению линейного интегрального уравнения с помощью потенциалов, построенных на основе фундаментальных решений. Метод потенциала, начало которого заложено в работах И.Фредгольма и К.Неймана, несмотря на широкое применения новых методов в современных исследованиях решения уравнений с частными производными, сохранил свое значение.

Н.П.Векуа, К.Ф.Гаусс, Д.Гильберт, Д.Грин, Н.М.Гюнтер, П.Г.Л.Дирихле, В.Д.Купразде, Ж.Лагранж, Г.Лауричелл, А.М.Ляпунов, С.Г.Михлин, Н.И.Мухелишвили, К.Г.Нейман, Ж.Пуанкаре, В.И. Смирнов, В.А.Стеклов, Ф.Трикоми, Ф.Е.Фредгольм, Д.И.Шерман и др. внесли огромный вклад в развитии теории потенциала.

Работы Низомова Д. Н. посвящены вопросу развития метода граничных уравнений и теории сплайн-аппроксимации применительно к двумерным статическим и динамическим задачам строительной механики.

Работы Тимошенко С.П. и Гудьера Дж., Савина Г.Н., Мухелишвили Н.И. , Вайнберга В.Д., Габбасова Р.Ф., Длугача М.И. посвящены вопросам определения

напряжённно-деформированного состояния и концентрации напряжений в двумерных задачах теории упругости различными аналитическими и численными методами.

Метод граничных элементов (МГЭ) имеет следующие важные свойства: уменьшенный порядок системы уравнений; простота подготовки данных для решения задач; достоверное моделирование задач на бесконечных и полубесконечных областях; точное, выборочное вычисление внутренних напряжений и перемещений; эффективное решение задач о концентрации напряжений. МГЭ имеет явные преимущества по сравнению с МКЭ, что касается также и рода задач, сводящихся к решению уравнений Гельмгольца, Пуассона и Лапласа.

Исследованию по взаимодействию сооружения с основанием посвящены работы М.М.Гришина, Н.П.Розанова, С.Б. Ухова, Л.А. Розина, А.А. Храпкина, И.А.Константинова, И.И.Гудушаури, К.Т. Хуньбы и др.

Вопросы, связанные с концентрацией напряжений занимает очень важное место при оценке напряжённно-деформированного состояния элементов, конструкций, зданий и сооружений. Кирш, Г.В.Колосов, Н.И.Мухелишвили, С.П.Тимошенко, Г.Н.Савин, Р. Петерсон, А. Надаи, А. Фёпль, Фойхт, В.В.Панасюка, М.М. Стадник, В.П.Силованюк, Д.В.Вайнберг, в своих исследованиях на это обратили внимание.

Приведены обзор научно-исследовательских работ выполненные в рамках кандидатских и докторских диссертаций учёных стран содружества независимых государств (СНГ) за последние десять-двадцать лет по вопросу определения напряжённно-деформированного состояния и концентрации напряжений в двумерных задачах строительной механики.

Во второй главе «ГРАНИЧНЫЕ УРАВНЕНИЯ ДВУМЕРНЫХ СТАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ ЗАДАЧ ТЕОРИИ УПРУГОСТИ»

излагается граничные интегральные уравнения, соответствующие внутренним и внешним задачам. Эти граничные уравнения реализованы на примерах классических задач Ламе и Кирша. Рассматриваются двумерные задачи, связанные с учетом особенности угловых точек на примерах растянутой прямоугольной пластины и прямоугольного отверстия, находящегося в растянутой бесконечной плоскости в условиях плоской деформации.

Система дифференциальных уравнений в перемещениях (уравнения Ламе), для двумерных задач теории упругости представлена в виде:

$$\begin{aligned} G_1 \frac{\partial^2 u_x}{\partial x^2} + G \frac{\partial^2 u_x}{\partial y^2} + G_2 \frac{\partial^2 u_y}{\partial x \partial y} + \gamma_x &= 0, \\ G_1 \frac{\partial^2 u_y}{\partial y^2} + G \frac{\partial^2 u_y}{\partial x^2} + G_2 \frac{\partial^2 u_x}{\partial x \partial y} + \gamma_y &= 0, \end{aligned} \quad (1)$$

где $G_1 = 2G(1-\nu)/(1-2\nu)$, $G_2 = G/(1-2\nu)$,

в условиях плоской деформации,

$$G_1 = 2G/(1-\nu), \quad G_2 = G(1+\nu)/(1-\nu),$$

соответствует плоскому напряженному состоянию,

G – модуль упругости при сдвиге, ν – коэффициент Пуассона, γ_x, γ_y – составляющие объёмной нагрузки, $u_x(x, y)$ и $u_y(x, y)$ функции перемещения.

Граничные интегральные уравнения внутренней задачи, полученные на основе (1) представляется в матричной форме

$$\mathbf{C} \mathbf{U}_p = \int_{\Gamma} \mathbf{U}^* \mathbf{P}_k d\Gamma - \int_{\Gamma} \mathbf{P}^* \mathbf{U}_k d\Gamma + \int_{\Omega} \bar{\mathbf{U}}^* \mathbf{F} d\Omega, \quad (2)$$

где $\mathbf{U}, \mathbf{P}, \mathbf{F}$ – векторы перемещений, поверхностных напряжений и объемных сил представляются в виде

$$\mathbf{U} = \begin{Bmatrix} u_x \\ u_y \end{Bmatrix}, \quad \mathbf{P} = \begin{Bmatrix} p_x \\ p_y \end{Bmatrix}, \quad \mathbf{F} = \begin{Bmatrix} \gamma_x \\ \gamma_y \end{Bmatrix}, \quad (3)$$

симметричные матрицы коэффициентов, фундаментальных перемещений и напряжений записываются так

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} 1-c_{xx} & -c_{yx} \\ -c_{xy} & 1-c_{yy} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{U}^* = \begin{bmatrix} u_{xx}^* & u_{yx}^* \\ u_{xy}^* & u_{yy}^* \end{bmatrix}, \quad \mathbf{P}^* = \begin{bmatrix} p_{xx}^* & p_{yx}^* \\ p_{xy}^* & p_{yy}^* \end{bmatrix}, \quad (4)$$

$\bar{\mathbf{U}}^*$ – матрица фундаментальных решений, компоненты которых соответствуют точкам внутри области Ω , в отличие от матрицы \mathbf{U}^* , где компоненты перемещений принадлежат границе Γ .

Граничные интегральные уравнения (2) для внешней задачи приобретает вид

$$c_{ij} \bar{u}_j(\xi) + \int_{\Gamma} p_{ij}^*(\xi, x) \bar{u}_j(x) d\Gamma(x) = \int_{\Gamma} u_{ij}^*(\xi, x) \bar{p}_j(x) d\Gamma(x), \quad \xi, x \in \Gamma, \quad i, j = 1, 2, \quad (5)$$

где черточками обозначены компоненты искомого перемещений и заданных напряжений дополнительного состояния.

Для оценки достоверности разработанных математических моделей, алгоритмов расчёта и программ решены тестовые внутренние и внешние задачи, в частности решены задачи Ламе и Кирша. Результаты расчётов показывают хорошую сходимость и достоверность. Для решения внутренних задач используется разрешающая система уравнений, составленная на основе (2), а для внешних соответственно – (5).

Граничное интегральное уравнение динамической задачи получим в следующем виде

$$\mathbf{C} \mathbf{U}_p + \int_{\Gamma} \mathbf{P}^* \mathbf{U}_k d\Gamma - \int_{\Gamma} \mathbf{P}_k \mathbf{U}^* d\Gamma = \int_{\Omega} \mathbf{F} \mathbf{U}^* d\Omega + \int_{\Omega} \mathbf{Q} \mathbf{U}^* d\Omega, \quad (6)$$

где матрица \mathbf{C} выражается также как в (4). Особенность этого граничного уравнения состоит в том, что оно решается на каждом шаге по времени с новыми значениями вектора \mathbf{Q} , который формируется из следующих компонентов:

$$Q_y = \rho (\bar{s}^2 u_y(k, t_{i-1}) + \alpha_2 \dot{u}_y(k, t_{i-1}) / \tau + \alpha_3 \ddot{u}_y(k, t_{i-1})),$$

$$Q_x = \rho (\bar{s}^2 u_x(k, t_{i-1}) + \alpha_2 \dot{u}_x(k, t_{i-1}) / \tau + \alpha_3 \ddot{u}_x(k, t_{i-1})),$$

где $\bar{s}^2 = \alpha_1 / \tau^2$, ρ – плотность, $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ – коэффициенты, $u_x, \dot{u}_x, \ddot{u}_x$ – перемещения, скорость и ускорения, t – время. Структура \mathbf{U}, \mathbf{P} и \mathbf{F} в (6) аналогичная, как в (3).

Внутренняя и внешняя задачи с угловыми точками. Рассматриваются двумерные задачи, связанные с учетом особенности угловых точек на примерах растянутой прямоугольной пластины и прямоугольного отверстия, находящегося в растянутой бесконечной плоскости в условиях плоской деформации (рисунок 1). Полученные результаты представлены на рисунках 2 и 3.

Из сравнения результатов следует, что во внешней задаче (рисунок 1,а), в отличие от внутренней задачи (рисунок 1,б), перемещения на гранях отверстия имеют, в общем, нелинейный характер изменения.

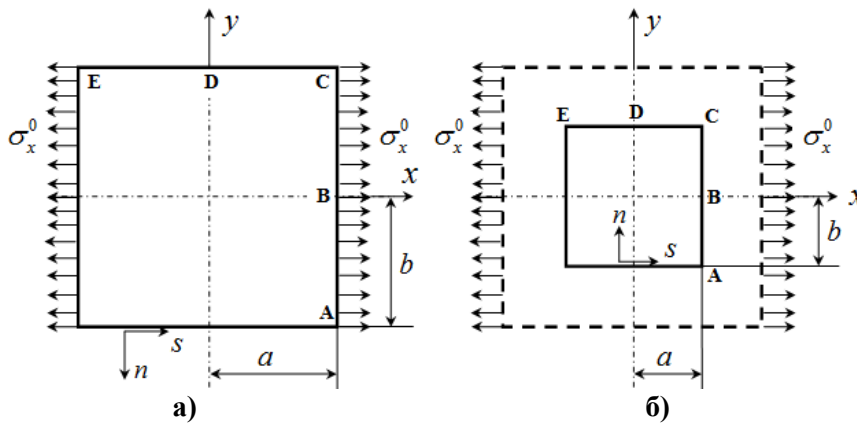


Рисунок 1. – Внутренняя а) и внешняя б) задачи при одноосном растяжении

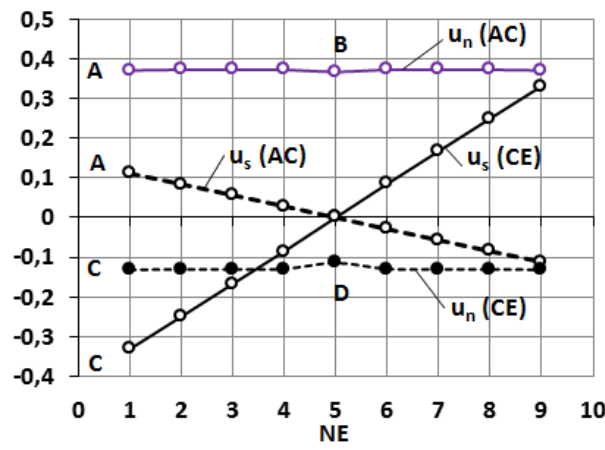


Рисунок 2. – Графики распределения нормальных и тангенциальных перемещений вдоль граней внутренней задачи (рисунок 1,а)

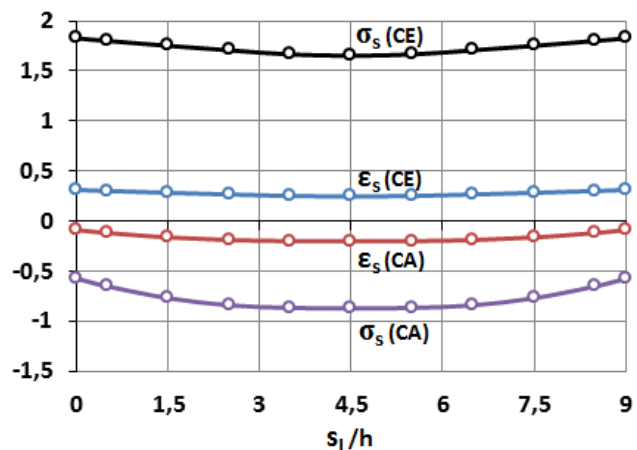


Рисунок 3. – Графики распределения тангенциальных деформаций и напряжений вдоль граней CE и CA внешней задачи (рисунок 1,б)

В третьей главе «МЕТОДЫ АППРОКСИМАЦИЙ ГРАНИЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ И ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВУМЕРНЫХ ЗАДАЧ МЕТОДОМ ГРАНИЧНЫХ УРАВНЕНИЙ» рассматриваются вопросы численного моделирования граничных интегральных уравнений с применением В-сплайна нулевого порядка. Для определения напряженно-деформированного состояния в угловых зонах используются квадратная и кубическая аппроксимация.

На примере уравнения задачи прямоугольной мембраны реализованы различные способы аппроксимации граничных параметров.

Реализация алгоритма по определению напряжений рассматривается на примере прямоугольной пластины (рисунок 4,а). Исследуется вопросы сходимости, и устойчивости численного решения при регулярном разбиении каждой грани пластины на NS элементов нулевого порядка (рисунок 4,в). В таблице 1 приводятся безразмерные результаты расчета плосконапряженной квадратной пластины, полученные при различных значениях NS. Ясно, что с увеличением NS узлы $k, k+1$ и $m, m+1$ приближаются к угловой точке. Из таблицы 1 видно, что напряжения σ_n, τ_{xy} и σ_s в центре грани BC, интегральная сумма напряжений $\sigma_n(F)$ и $\sigma_s(F)$ по грани BC имеют хорошую сходимость.

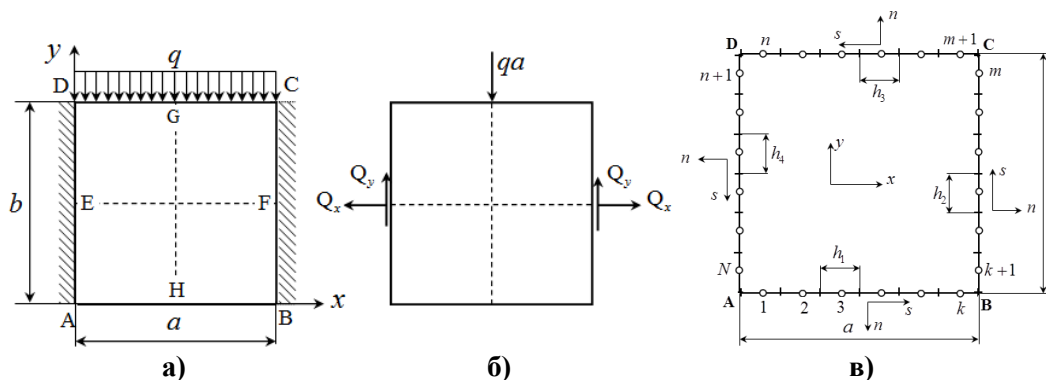


Рисунок 4. – Тестовый пример

Таблица 1

Напряжения и перемещения в центрах граней

Граничные параметры	Регулярное разбиение каждой грани на NS элементов					
	NS=7	NS=15	NS=23	NS=31	NS=39	NS=47
$\sigma_s(k+1)$	0,1475	0,1122	0,09376	0,0827	0,07539	0,07024
$\sigma_s(m)$	-0,9344	-0,9991	-1,023	-1,038	-1,048	-1,056
$\tau_{xy}(F)$	0,4267	0,4348	0,4372	0,4384	0,4391	0,4396
$\sigma_n(F)$	-0,2001	-0,2011	-0,2015	-0,2016	-0,2018	-0,2018
$\sigma_s(F)$	-0,06004	-0,06033	-0,06044	-0,06049	-0,06053	-0,06057
$Q_x(BC)$	-0,1221	-0,1153	-0,1135	-0,1128	-0,1123	-0,112
$Q_y(BC)$	0,5118	0,5047	0,5027	0,5019	0,5014	0,5011
$u_y(G)$	-0,2588	-0,2637	-0,2653	-0,2661	-0,2666	-0,2669

Далее рассматриваются прямоугольные пластины с различными граничными условиями, где искомые функции аппроксимируются сплайнами нулевого порядка с различными носителями по граням, значения деформаций (в угловых зонах, для принятой нумерации, показанной на рисунке 4,в) записываются так:

$$\varepsilon_{s,1} = (u_{s,2,1} - u_{s,N,1}) / \Delta s_1 = 2(u_{x,2} + u_{x,N}) / 3h_1, \quad (7)$$

После того как определены значения ε_{sj} во всех узлах, включая угловых зон, по (7), можно приступить к вычислению деформаций непосредственно в угловых точках. При кубической аппроксимации

$$\varepsilon(\xi) = a_0 + a_1\xi + a_2\xi^2 + a_3\xi^3,$$

получим следующую формулу

$$\varepsilon_{s,L} = (105\varepsilon_{s,j} - 105\varepsilon_{s,j+1} + 63\varepsilon_{s,j+2} - 15\varepsilon_{s,j+3}) / 48.$$

Численное интегрирование коэффициентов разрешающей системы уравнений (2) и (5) методом Гаусса в пределах носителя сплайна нулевого порядка сводится к следующему

$$\begin{aligned} a_{ij} &= \int_{\Gamma_j} p_{xx}^*(x, \xi) d\Gamma_j = \int_{-1}^1 p_{xx}^*(s) ds = \frac{\Delta s_j}{2} \sum_{k=1}^n A_k p_{xx}^*(s_k), \\ e_{ij} &= \int_{\Gamma_j} u_{xx}^*(x, \xi) d\Gamma_j = \int_{-1}^1 u_{xx}^*(s) ds = \frac{\Delta s_j}{2} \sum_{k=1}^n A_k u_{xx}^*(s_k), \end{aligned} \quad (8)$$

где n – число ординат, s_k, A_k – координаты точек интегрирования и их весовые коэффициенты, Δs_j – длина элемента. Остальные коэффициенты в (2) и (5) вычисляются аналогично (8). Фундаментальные решения Кельвина, входящие в (8), представляются в виде

$$\begin{aligned} p_{xx}^*(i, j) &= -b(c + 2m_{1,i}^2) \cos \gamma_j / r_{ij}, \\ u_{xx}^*(i, j) &= -a[(3 - 4\nu) \ln r_{ij} - \cos^2 \beta_{1,i}], \end{aligned}$$

где $m_{1,i} = \cos \beta_{1,i}$, $m_{2,i} = \cos \beta_{2,i}$, $n_{1,j} = \cos \alpha_{1,j}$, $n_{2,j} = \cos \alpha_{2,j}$, $a = 1/8\pi G(1 - \nu)$, $b = 1/4\pi(1 - \nu)$, $c = 1 - 2\nu$, $r_{ij} = \sqrt{(u_j - x_i)^2 + (v_j - y_i)^2}$; γ_j – угол наклона между радиус-вектором r_{ij} и нормалью n ; $m_{1,i}, m_{2,i}$ – направляющие косинусы углов радиус-вектора r_{ij} к осям x и y в точке i , $n_{1,j}, n_{2,j}$ – направляющие косинусы нормали к осям x, y в точке j .

В четвертой главе «ИССЛЕДОВАНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ НАПРЯЖЕНИЙ ДВУМЕРНЫХ СТАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ ЗАДАЧ ТЕОРИИ УПРУГОСТИ» исследуется концентрация напряжений от статических и динамических воздействий в односвязных и многосвязных пластинок с различными очертаниями контура и граничными условиями методом граничных уравнений, а также учет особенности угловых точек.

В таблице 2 приведены результаты при различных разбиениях контура. Концентрации напряжений в угловых зонах балки-стенки (рисунок 4,а).

Таблица 2

Напряжения в угловых зонах

Граничные параметры	Регулярное разбиение каждой грани на NS элементов					
	NS=7	NS=15	NS=23	NS=31	NS=39	NS=47
$\sigma_s(k)$	-0,2838	-0,542	-0,6751	-0,7644	-0,8319	-0,8863
$\sigma_n(k+1)$	-0,3685	-0,5802	-0,7058	-0,7946	-0,8639	-0,9208
$\tau_{xy}(m)$	1,132	1,343	1,477	1,580	1,665	1,738

В таблице 3 результаты, полученные по МГУ при разбишке каждой грани на 12 элементов (рисунок 4,а), сравниваются с данными полученными вариационно-разностным методом (ВРМ), где h – длина носителя В-сплайна нулевого порядка. В графах 3 и 4 сравниваются касательные напряжения, где координаты узлов по обоим методам совпадают. В графах 6 и 7 сравниваются нормальные напряжения на

вертикальной грани, где координаты узлов не совпадают. Поэтому в МГУ проведена линейная интерполяция результатов, приведенных в графе 9. Что касается значениям напряжений, в точках 0 и 12 графа 7, то они получены с использованием квадратичной аппроксимации. Сравнение (таблица 3) показывает хорошее совпадение результатов.

Таблица 3

Сравнение результатов касательных и нормальных напряжений на вертикальной грани ВС балки-стенки

№ точек	y/h	τ_{xy}/q		y/h	σ_x/q		y/h	σ_x/q
		ВРМ	МГУ		ВРМ	МГУ		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,5	0,188	0,2406	0	-0,655	-0,7806	0,5	-0,4995
2	1,5	0,232	0,2386	1	-0,247	-0,3304	1,5	-0,1613
3	2,5	0,278	0,2853	2	-0,138	-0,1416	2,5	-0,1218
4	3,5	0,317	0,3235	3	-0,113	-0,1209	3,5	-0,1201
5	4,5	0,358	0,3624	4	-0,119	-0,1303	4,5	-0,1405
6	5,5	0,401	0,4051	5	-0,140	-0,1556	5,5	-0,1708
7	6,5	0,453	0,4539	6	-0,166	-0,1877	6,5	-0,2046
8	7,5	0,514	0,5104	7	-0,193	-0,2198	7,5	-0,2350
9	8,5	0,587	0,5759	8	-0,210	-0,2428	8,5	-0,2506
10	9,5	0,671	0,6558	9	-0,198	-0,2357	9,5	-0,2208
11	10,5	0,745	0,7235	10	-0,104	-0,1694	10,5	-0,1181
12	11,5	1,257	1,3000	11	0,279	0,4793	11,5	1,0770
13				12	1,935	2,0840		

Рассмотрим решение треугольной консольной балки-стенки по МГУ (рисунок 5). На рисунке 6 показаны кривые горизонтальных и вертикальных перемещений узлов контура треугольной пластины (рисунок 5) при $b=1,25a$. Перемещения в угловой точке D определены с использованием кубической аппроксимации. При этом безразмерное горизонтальное перемещение угловой точки D, равное 1,146 в 3,4 раза больше, чем ее вертикальное перемещение.

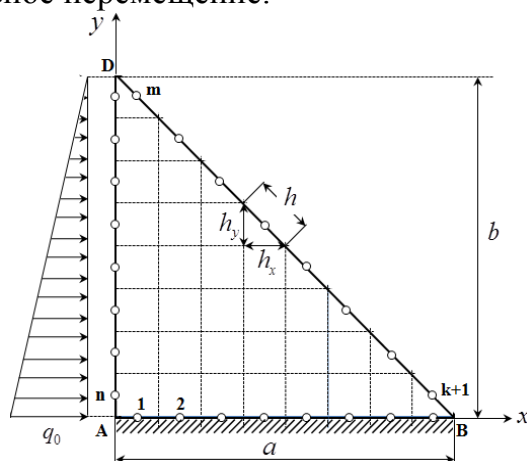


Рисунок 5. – Треугольная консольная балка-стенка

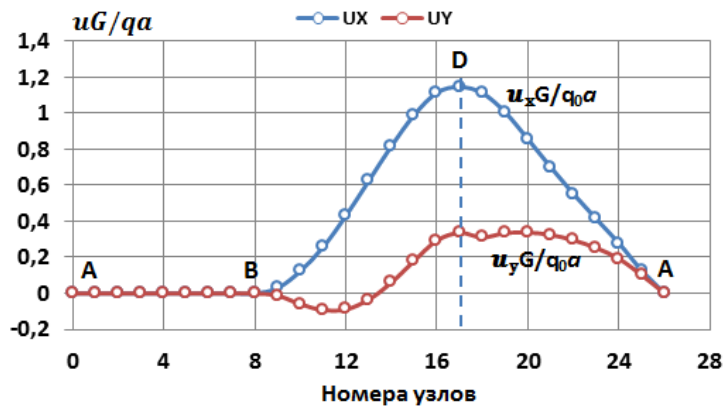


Рисунок 6. – Перемещения пластины

В таблице 4 напряжения на гранях треугольной пластины, полученные методом граничных уравнений, сравниваются с результатами, полученными Вайнбергом В.Д. вариационно-разностным методом. Горизонтальная реакция на опорной части, из условия статического равновесия, должна равняться

$$\tau_{xy} h_x / q_0 = -b/2 = -1,25a/2 = -1,25 \cdot 8h_x / 2 = -5h_x, \tau_{xy} / q_0 = -5,0. \quad (9)$$

Как видно из графы 2 и 3 таблицы 4 условие (9) выполняется.

Таблица 4

Напряжений на гранях треугольной балки-стенки (рисунок 5).

x_i / h	τ_{xy} / q_0 (AB)		№№ узлов	σ_n / q_0 (AB)		σ_s / q_0 (AD)		σ_s / q_0 (BD)
	МГУ	ВРМ		МГУ	ВРМ	МГУ	ВРМ	МГУ
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,5	-1,433	-1,340	0	3,555	3,096	3,555	3,096	-1,067
1,5	-0,665	-0,619	1	1,370	1,230	1,405	1,564	-1,233
2,5	-0,579	-0,587	2	0,349	0,421	0,829	1,058	-1,312
3,5	-0,516	-0,546	3	-0,049	-0,076	0,551	0,834	-1,243
4,5	-0,488	-0,526	4	-0,373	-0,449	0,337	0,663	-0,965
5,5	-0,473	-0,524	5	-0,615	-0,721	0,119	0,475	-0,581
6,5	-0,455	-0,534	6	-0,770	-0,862	-0,130	0,264	-0,199
7,5	-0,508	-0,323	7	-0,723	-0,791	-0,476	0,065	0,124
Σ	-5,118	-4,999	8	-0,357	-0,601	0	0	0

Далее рассматриваются решение задачи определения НДС по МГУ растянутой с двух сторон пластины с жестко закрепленным косым краем (рисунок 7). На рисунке 8 приведены кривые вертикальных и горизонтальных перемещений граней пластины, полученные при разбивке каждой грани на 8 элементов. При этом перемещения угловой точки D, где угол между осью x и нормалью n к грани AC (рисунок 7) $\alpha = -\pi/4$, получаются равными:

$$u_y = -u_x = 0,1467qa / G = 0,3814qa / E,$$

$$u_{n,D} = u_x \cos \alpha + u_y \sin \alpha = -0,2074qa / G = -0,5394qa / E.$$

Профессором Р.Ф.Габбасовым, на основе обобщенных уравнений МКР, получено напряженно-деформированное состояние пластины (рисунок 7) на квадратной сетке 3×3 , в частности $u_{n,D} = -0,433qa/E$. Разница объясняется в использовании редкой сетки 3×3 .

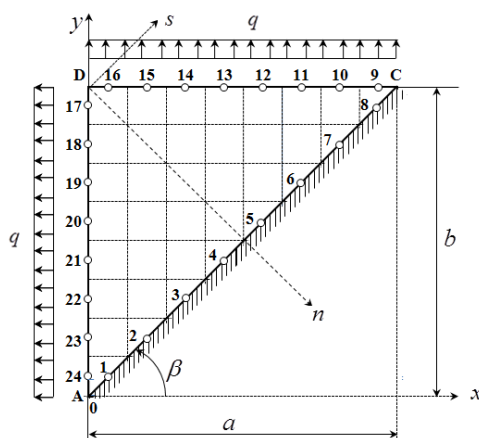


Рисунок 7. – Треугольная пластина с жестко закрепленным косым краем

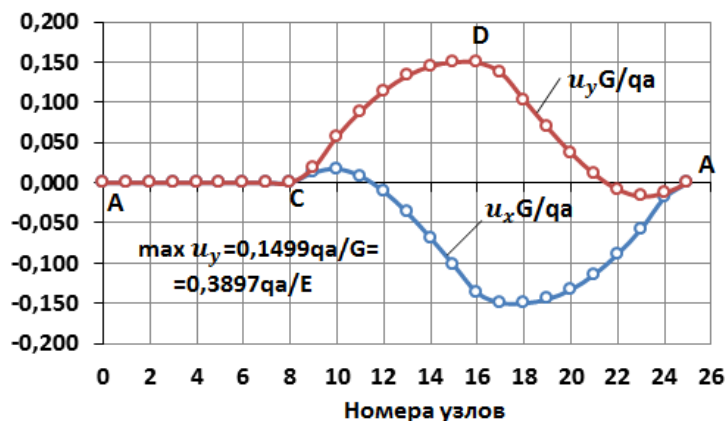


Рисунок 8. – Горизонтальные и вертикальные перемещения пластины (рисунок 7)

Исследуется НДС двусвязной области по МГУ (рисунок 9). Рассматривается балка-стенка (рисунок 9,а) с отверстием. На рисунке 9,б показана схема обхода внешнего и внутреннего контуров балки-стенки.

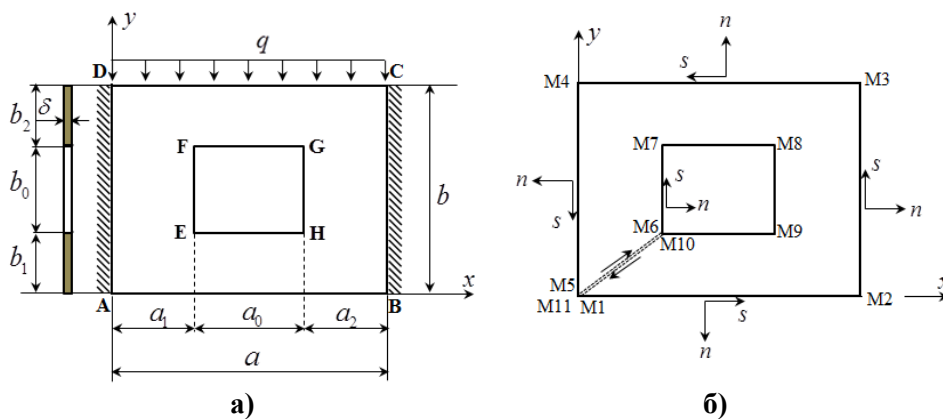


Рисунок 9. – Балка-стенка с отверстием

В таблице 5 сравниваются напряжения, соответствующие закрепленной грани BC (рисунок 9,а) и полученные при разбивке $4 \times 7 + 4 \times 5 = 48$, где значения напряжений

в угловых точках определены с использованием квадратичной аппроксимации. Из сопоставления результатов следует, что в пластинке с отверстием абсолютные значения напряжений в нижней угловой точке уменьшаются, а в верхней, напротив, увеличиваются, по сравнению с пластинкой без отверстия.

Таблица 5

Сравнение напряжений на грани ВС балки-стенки

y_i/h_1	С отверстием			Без отверстия		
	σ_x	τ_{xy}	σ_s	σ_x	τ_{xy}	σ_s
0	-0,2878	0,1654	0,1869	-0,5867	0,2562	0,2993
0,5	-0,1737	0,1631	0,0946	-0,3567	0,2535	0,1487
1,5	-0,0795	0,2042	-0,0199	-0,1059	0,2799	-0,0265
2,5	-0,1642	0,3060	-0,0411	-0,1338	0,3485	-0,0334
3,5	-0,3255	0,4549	-0,0814	-0,1868	0,4217	-0,0467
4,5	-0,5134	0,5934	-0,1283	-0,2378	0,5168	-0,0594
5,5	-0,4389	0,6448	-0,1097	-0,2653	0,6078	-0,0663
6,5	0,9126	1,2240	-1,0000	0,5668	1,1560	-0,9348
7,0	2,0670	1,7120	-1,7860	1,3050	1,6020	-1,6920

Исследуется концентрация напряжений в угловых зонах контактной границы системы, в которой сооружение взаимодействует с упругим основанием, по МГУ (рисунок 10).

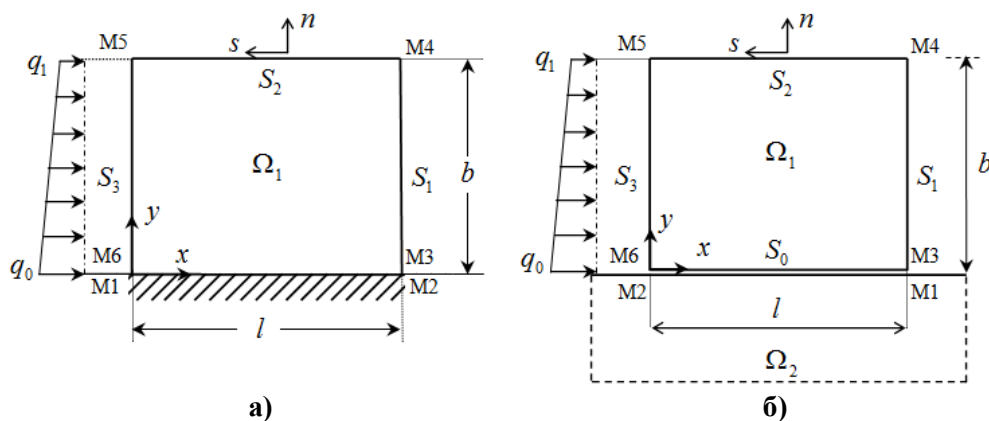


Рисунок 10. – Расчетные модели: а- абсолютно жесткое основание; б- упругое основание

В таблице 6 приведены значения напряжений в угловой точке, откуда следует, что с ростом $1/h$ наблюдается экспоненциальный рост напряжений в точках М1 и М6, а напряжения τ_{yx} и σ_x стремятся к конечным своим значениям.

Таблица 6

Перемещения и напряжения в угловых точках (рисунок 10)

n	$u_{x,M5}$	$u_{y,M3}$	$\sigma_{y,M2}$	$\sigma_{y,M6}$	$\tau_{yx,M2}$
4	2,367	-0,426	2,628	1,820	2,633
12	2,743	-0,494	5,623	3,621	4,483
20	2,823	-0,505	7,394	4,654	5,632

Из таблицы 6 следует, что по перемещениям во всех точках, в том числе в угловых, сходимость существует, также имеет место сходимость по напряжениям.

Рассматривается решение динамической задачи по разработанному алгоритму на основе МГУ. Прямоугольная область с отверстием (рисунок 11) испытывает динамическое воздействие по вертикальной грани М3-М4.

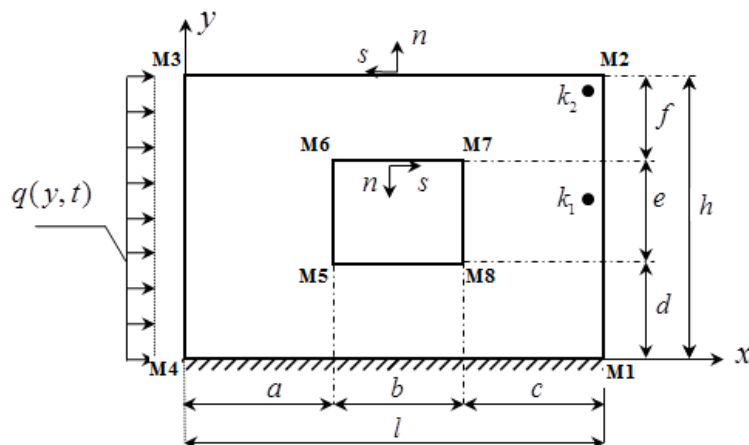


Рисунок 11. – Двухсвязная область

Результаты динамического расчета приведены на рисунках 12 и 13. Из приведенных результатов, показанных на рисунке 12, следует, что колебательный процесс, как для сплошной пластины (кривая 2), так и для пластины с отверстием (кривая 1), состоит из суммы двух гармоник. Абсолютные значения максимума и минимума горизонтального перемещения и периода колебаний на рассматриваемом отрезке времени в пластине с отверстием получаются несколько больше, чем в сплошной пластине.

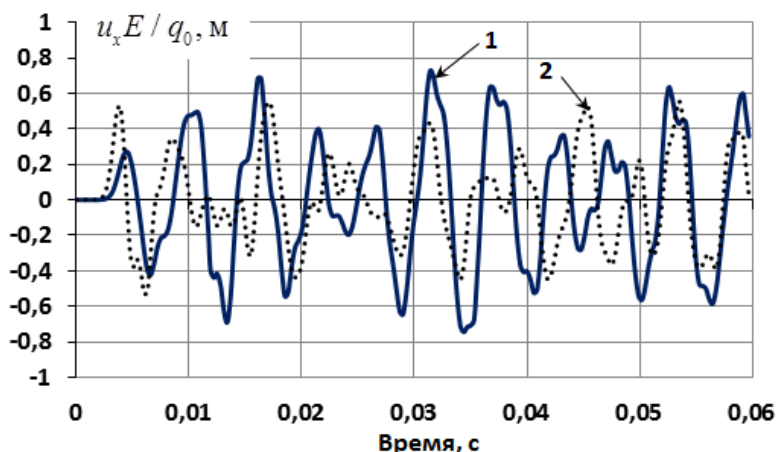


Рисунок 12. – Сравнение результатов горизонтальных колебаний точки k_1 пластины от действия кратковременной нагрузки: 1- с отверстием; 2- без отверстия (рисунок 11)

На рисунке 13 представлены графики изменения ускорений точки k_2 в горизонтальном направлении. Видно, что пиковые ускорения в сплошной пластине примерно на 20% больше, чем в пластине с отверстием.

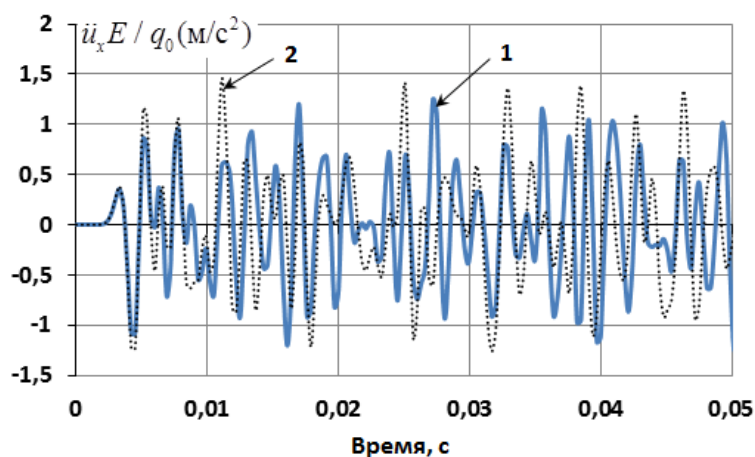


Рисунок 13. – Изменение ускорения в точке k_2 области вблизи угловой точки M2 пластины: 1- с отверстием; 2- без отверстия (рисунок 11)

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. На основе метода граничных интегральных уравнений с использованием сплайн аппроксимации граничных параметров получена математическая модель для исследования напряженно-деформированного состояния двумерных задач теории упругости.

2. Исследованы вопросы сходимости и точности численного моделирования концентрации напряжений на примерах внешних и внутренних задач.

3. Разработаны математическая модель, алгоритм численного решения и программ на ЭВМ на языке ФОРТРАН и получены результаты по определению напряженно-деформированного состояния односвязных и многосвязных областей плоской задачи теории упругости от статических и динамических воздействий.

4. Предложен алгоритм решения задачи для многосвязных конечных и бесконечных областей, исследовано НДС контура подземных сооружений в условиях плоской деформации при различных способах аппроксимации граничных параметров.

5. Разработана численная методика расчета пластины с различными граничными условиями от действия динамических нагрузок.

6. Разработан алгоритм расчета пластин с различными геометрическими формами и полученные результаты сопоставлены с известными решениями.

7. Предложена численная методика исследования концентрации напряжений в угловых зонах односвязных и многосвязных областях с использованием кубической аппроксимации граничных параметров.

8. Разработан алгоритм численного моделирования задачи взаимодействия сооружения с упругим полупространством в условиях плоской деформации и получены результаты распределения напряжений на контактной границе в зависимости от соотношения модулей сдвига.

9. Разработанные алгоритмы, программы и результаты в виде графиков и таблиц могут быть использованы в инженерных расчетах и научно-исследовательских работах.

**Основные результаты диссертации изложены в следующих публикациях:
Статьи в изданиях, рекомендуемые ВАК при Президенте РФ**

1. Ходжибоев О.А. Численное моделирование плоской задачи нестационарной динамики и дифракции волн [Текст] / Низомов Д. Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев

О.А. // Доклады Академии наук Республики Таджикистан. – Душанбе, 2010. – Том 53. – №4. – С. 279–284.

2. Ходжибоев О.А. Алгоритм расчета взаимодействия сооружения с полупространством в условиях плоской деформации [Текст] / Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. // Доклады Академии наук Республики Таджикистан. – Душанбе, 2010. – Том 53. – №5. – С. 364–371.

3. Ходжибоев О.А. Трансверсально-изотропная модель массива пород подземных сооружений Рогунской ГЭС [Текст] / Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. // Доклады Академии наук Республики Таджикистан. – Душанбе, 2011. – Том 54. – №5. – С. 420–426.

4. Ходжибоев О.А. Концентрации напряжений на контурах обделок смотровой галереи плотины Нурекской ГЭС [Текст] / Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. // Доклады Академии наук Республики Таджикистан. – Душанбе, 2011. – Том 54. – №6. – С. 497–503.

5. Ходжибоев О.А. Концентрация напряжений вокруг отверстия в анизотропной пластине [Текст] / Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. // Научно-технический журнал Вестник МГСУ. – Москва, 2011. – №6. – С. 307–311.

6. Ходжибоев О.А. Численное решение плоской задачи теории упругости с учетом анизотропии материала [Текст] / Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. // Обзорно-аналитический и научно-технический журнал «Строительная механика инженерных конструкций и сооружений». – Москва, 2012. – №1. – С. 3–7.

7. Ходжибоев О.А. Перемещения и напряжения на контурах подземных сооружений в трещиноватых горных массивах [Текст] / Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. // Обзорно-аналитический и научно-технический журнал «Строительная механика инженерных конструкций и сооружений». – Москва, 2012. – №1. – С. 8–16.

8. Ходжибоев О.А. Система разрешающих уравнений метода граничных уравнений для полупространства с подкрепленным отверстием [Текст] / Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А., Саломов Н.Г. // Обзорно-аналитический и научно-технический журнал «Строительная механика инженерных конструкций и сооружений». – Москва, 2012. – №2. – С. 20 – 24.

9. Ходжибоев О.А. Концентрация напряжений вокруг отверстия в полуплоскости, растягиваемой на бесконечность [Текст] / Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. // Научно-технический журнал Вестник МГСУ. – Москва, 2011. – №7. – С. 596–601.

10. Ходжибоев О.А. Поля напряжений и перемещений вблизи вершины трещины в линейной теории упругости [Текст] / Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. // Доклады Академии наук Республики Таджикистан. – Душанбе, 2010. – Том 53. – №11. – С. 856–864.

11. Ходжибоев О.А. Моделирование напряженно-деформированного состояния контура выработки в трещиноватых горных массивах [Текст] / Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. // Научно-технический журнал Вестник МГСУ. – Москва, 2012. – №4. – С. 108–115.

12. Ходжибоев О.А. Алгоритм расчёта взаимодействия сооружения с полупространством, ослабленном выработкой в условиях плоской деформации [Текст] / Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. // Научный журнал Вестник Российского университета дружбы народов. Серия инженерные исследования. – Москва, 2012. – №1. – С. 24–32.

13. Ходжибоев О.А. Решение задачи взаимодействия конечного тела с полуплоскостью [Текст] / Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – Москва, 2013. – №1. – С. 19–24.

14. Ходжибоев О.А. Напряжённо- деформированное состояние анизотропной пластины, ослабленной отверстием [Текст] / Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – Москва, 2013. – №4. – С. 22–28.

15. Ходжибоев О.А. Численное решение пространственной внешней задачи теории упругости методом граничных уравнений [Текст] / Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. // Доклады Академии Наук Республики Таджикистан. – Душанбе, 2014. – Том 57. – №7. – С. 573–579.

16. Ходжибоев О.А. Численное решение напряжённо- деформированного состояния пластин методом граничных уравнений [Текст] / Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. // Доклады Академии наук Республики Таджикистан. – Душанбе, 2014. – Том 57. – №9-10. – С. 764–770.

17. Ходжибоев О.А. Граничные уравнения динамической задачи теории упругости [Текст] / Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. // Доклады Академии наук Республики Таджикистан. – Душанбе, 2014. – Том 57. – №11-12. – С. 850–855.

18. Ходжибоев О.А. Метод граничных уравнений в решении задач строительной механики, сводящихся к уравнению Лапласа [Текст] / Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. и др. // Вестник Таджикского технического университета. – Душанбе, 2015. – №2(30). – С. 68–73.

19. Ходжибоев О.А. Граничные уравнения взаимодействия сооружения с упругим полупространством [Текст] / Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. // Доклады Академии наук Республики Таджикистан. – Душанбе, 2016. – Том 59. – №5-6. – С. 229–235.

20. Ходжибоев О.А. Моделирование динамического поведения земляной плотины от действия бегущей волны [Текст] / Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. // Вестник Таджикского технического университета. Серия инженерные исследования. – Душанбе, 2016. – №1(33). – С. 69–73.

21. Ходжибоев О.А. Численное решение граничного уравнения при сплайн – аппроксимации граничных параметров [Текст] / Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А., Саидов Р.Р. // Вестник Таджикского технического университета. Серия инженерные исследования. – Душанбе, 2016. – №2(34). – С. 110–117.

22. Ходжибоев О.А. Численное решение плоской задачи теории упругости методом граничных уравнений [Текст] / Ходжибоев О.А. // Вестник ТГАСУ. – Томск, 2018. – Том 20. – №4. – С. 94–102.

Статьи в материалах конференции

23. Ходжибоев О.А. Учет трещиноватости в массивах горных пород [Текст] / Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. // Актуальные проблемы научных исследований сейсмоактивных территорий. Материалы республиканской научной конференции. «100-лет со дня Каратагского землетрясения (21 октября 1907 года) и современные проблемы сейсмостойкого строительства и сейсмологии». – Душанбе, 2007. – С. 159–165.

24. Ходжибоев О.А. Численное решение задач концентрации напряжений с учетом анизотропии [Текст] / Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. //

Актуальные проблемы научных исследований сейсмоактивных территорий. Материалы республиканской научной конференции. «100-лет со дня Каратагского землетрясения (21 октября 1907 года) и современные проблемы сейсмостойкого строительства и сейсмологии». – Душанбе, 2007. – С. 165–171.

25. Ходжибоев О.А. Влияние параметров анизотропии на деформированное состояние массива горных пород [Текст] / Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. // Актуальные проблемы научных исследований сейсмоактивных территорий. Материалы республиканской научной конференции. «100-лет со дня Каратагского землетрясения (21 октября 1907 года) и современные проблемы сейсмостойкого строительства и сейсмологии». – Душанбе, 2007. – С. 171–175.

26. Ходжибоев О.А. Концентрация напряжений в полуплоскости, ослабленной отверстием [Текст] / Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. // Актуальные проблемы научных исследований сейсмоактивных территорий. Материалы республиканской научной конференции. «100-лет со дня Каратагского землетрясения (21 октября 1907 года) и современные проблемы сейсмостойкого строительства и сейсмологии». – Душанбе, 2007. – С. 175–179.

27. Ходжибоев О.А. Анализ поля напряжений в анизотропной среде, ослабленной отверстием [Текст] / Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. // Труды международной конференции по снижению сейсмического риска, посвященной шестидесятилетию со дня Хаитского землетрясения 1949 года в Таджикистане. – Душанбе, 2009. – С. 133–137.

28. Ходжибоев О.А. Моделирование смещений и напряжений вокруг подземных сооружений в трещиноватых породных массивах [Текст] / Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. // Труды международной конференции по снижению сейсмического риска, посвященной шестидесятилетию со дня Хаитского землетрясения 1949 года в Таджикистане. – Душанбе, 2009. – С. 147–156.

29. Ходжибоев О.А. Напряженное и деформированное состояние угловых зон в плоской задаче теории упругости [Текст] / Низомов Д.Н., Каландарбеков И., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. // Труды международной конференции по снижению сейсмического риска, посвященной шестидесятилетию со дня Хаитского землетрясения 1949 года в Таджикистане. – Душанбе, 2009. – С. 157–163.

30. Ходжибоев О.А. Учет особенностей угловых точек в расчетах плит [Текст] / Низомов Д.Н., Каландарбеков И., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. // Труды международной конференции по снижению сейсмического риска, посвященной шестидесятилетию со дня Хаитского землетрясения 1949 года в Таджикистане. – Душанбе, 2009. – С. 163–171.

31. Ходжибоев О.А. Численная реализация алгоритмов для решения плоской задачи теории упругости с учетом анизотропии материала [Текст] / Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. // Труды международной конференции по снижению сейсмического риска, посвященной шестидесятилетию со дня Хаитского землетрясения 1949 года в Таджикистане. – Душанбе, 2009. – С. 171–175.

32. Ходжибоев О.А. Влияние параметров анизотропии на нормальные перемещения вокруг незакрепленной выработки [Текст] / Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. // Материалы республиканской научно-практической конференции, посвященной «Году образования и технической культуры» и 50-летию кафедры «Водоснабжение и водоотведение». – Душанбе, 2010. – С. 97–102.

33. Ходжибоев О.А. Концентрация напряжений вокруг незакрепленного отверстия в полуплоскости [Текст] / Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев

О.А. // Материалы республиканской научно-практической конференции, посвященной «Году образования и технической культуры» и 50-летию кафедры «Водоснабжение и водоотведение». – Душанбе, 2010. – С. 103–109.

34. Ходжибоев О.А. Концентрация напряжений вокруг открытых выработок с учетом анизотропии [Текст] / Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. // Материалы республиканской научно-практической конференции, посвященной «Году образования и технической культуры» и 50-летию кафедры «Водоснабжение и водоотведение». – Душанбе, 2010. – С. 109–117.

35. Ходжибоев О.А. Учет трещиноватости горных пород при определении напряжённо-деформированного состояния вокруг выработки [Текст] / Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. // Материалы республиканской научно-практической конференции, посвященной «Году образования и технической культуры» и 50-летию кафедры «Водоснабжение и водоотведение». – Душанбе, 2010. С. 117–127.

36. Ходжибоев О.А. Система разрешающих уравнений метода граничных уравнений для задачи взаимодействия конечного тела с полуплоскостью [Текст] / Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. // Материалы IV международной научно-практической конференции «Перспективы развития науки и образования». – Душанбе, 2010. – С. 82–86.

37. Ходжибоев О.А. Определение напряжённо-деформированного состояния контура отверстия в анизотропной пластине методом граничных уравнений [Текст] / Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. // Материалы XVII Московской международной межвузовской научно-технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых учёных. – Москва, 2013. – С. 135–137.

38. Ходжибоев О.А. Алгоритм численного решения пространственной внешней задачи теории упругости методом граничных элементов [Текст] / Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. // Материалы международной научно-практической конференции «Современные тенденции в архитектуре, строительстве и образовании в Республике Таджикистан». – Душанбе, 2014. – С. 345–349.

39. Ходжибоев О.А. Исследование напряжённо-деформированного состояния пластин методом граничных уравнений [Текст] / Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. // Материалы республиканской научно-практической конференции. – Худжанд, 2015. – С. 117–120.

40. Ходжибоев О.А. Моделирование динамического поведения земляной плотины от действия бегущей волны [Текст] / Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. // Материалы VIII Международной научно-практической конференции “Перспективы развития науки и образования в XXI веке”. – Душанбе, 2016. – С. 238–241.

41. Ходжибоев О.А. Метод граничных уравнений в решении динамических задач строительной механики [Текст] / Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. // Материалы VIII Международной научно-практической конференции “Перспективы развития науки и образования в XXI веке”. – Душанбе, 2016. – С. 304–307.

42. Ходжибоев О.А. Использование кубической аппроксимации граничных параметров в исследовании концентрации напряжений плоской задачи теории упругости [Текст] / Ходжибоев О.А., Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А. // Материалы Международной научно-практической конференции “Вода-важный фактор для

устойчивого развития” посвящённой международному десятилетию действия «Вода для устойчивого развития, 2018-2028». – Душанбе, 2018. – С. 326–330.

43. Ходжибоев О.А. Численное моделирование напряжённо-деформированного состояния балок-стенок методом граничных уравнений [Текст] / Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. // Материалы Международной научно-практической конференции «Опыт, проблемы и перспективы повышения качества строительных работ на основе лучших отечественных и зарубежных практик». – Душанбе, 2018. – С. 129–133.

44. Ходжибоев О.А. Численное моделирование напряжённо-деформированного состояния двумерных задач методом граничных уравнений [Текст] / Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. // Материалы Международной научно-практической конференции «Опыт, проблемы и перспективы повышения качества строительных работ на основе лучших отечественных и зарубежных практик». – Душанбе, 2018. – С. 133–137.

45. Ходжибоев О.А. Численное моделирование концентрации напряжений в многосвязной системе методом граничных уравнений [Текст] / Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. // Материалы Международной научно-практической конференции «Опыт, проблемы и перспективы повышения качества строительных работ на основе лучших отечественных и зарубежных практик». – Душанбе, 2018. – С. 253–157.

Патенты и другие

46. Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. Программа численного решения на ЭВМ задачи концентрации напряжений в подземных сооружениях с подкреплениями // Министерство экономического развития и торговли Республики Таджикистан. Государственное учреждение Национальный патентно-информационный центр. Свидетельство о государственной регистрации информационного ресурса. № государственной регистрации №1671200240.

47. Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. Программа численного решения на ЭВМ статической задачи плотины на основе неоднородной модели с учётом податливости основания // Министерство экономического развития и торговли Республики Таджикистан. Государственное учреждение Национальный патентно-информационный центр. Свидетельство о государственной регистрации информационного ресурса. № государственной регистрации №1671200241.

48. Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. Программа численного решения на ЭВМ задачи концентрации напряжений в подземных сооружениях с учётом анизотропии массива горных пород // Министерство экономического развития и торговли Республики Таджикистан. Государственное учреждение Национальный патентно-информационный центр. Свидетельство о государственной регистрации информационного ресурса. № государственной регистрации №1671200242.

49. Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. Программа численного моделирования на ЭВМ двумерных динамических задач теории упругости // Министерство экономического развития и торговли Республики Таджикистан. Государственное учреждение Национальный патентно-информационный центр. Свидетельство о государственной регистрации информационного ресурса. № государственной регистрации №1671200243.

АКАДЕМИЯИ ИЛМҲОИ Ҷ УМҲУРИИ ТОҶ ИКИСТОН

Институти геология, сохтмони ба заминч унбӣ
тобовар ва сейсмология

Бо ҳуқуқи дастхат

УДК 624.04 (575.3)

ҲОҶ ИБОЕВ Орифҷ он Абдуазизович

**ТАҲҚИҚОТИ КОНСЕНТРАТСИЯИ ШИДДАТҲО
ДАР МАСЪАЛАҲОИ ҲАМВОРИ НАЗАРИЯИ ЧАНДИРӢ
БО МЕТОДИ МУОДИЛАҲОИ КАНОРӢ**

АВТОРЕФЕРАТИ

диссертатсия барои дарёфти дараҷ аи илмии
номзади илмҳои техникаӣ аз рӯи ихтисоси
05.23.17 – Механикаи сохтмон

Душанбе – 2018

Рисола дар лабораторияи «Ба заминч унбӣ тобоварии бино ва иншоот» Институти геология, сохтмони ба заминч унбӣ тобовар ва сейсмологияи Академияи илмҳои Ҷ умҳурии Тоҷикистон иҷро шудааст.

Роҳбари илмӣ :

Низомов Ҷаҳонгир, доктори илмҳои техникаӣ, профессор, узви вобастаи АИ ҶТ, мудири лабораторияи «Ба заминч унбӣ тобоварии бино ва иншоот» Институти геология, сохтмони ба заминч унбӣ тобовар ва сейсмологияи Академияи илмҳои Ҷ умҳурии Тоҷикистон

Муқарризи расмӣ :

Филатов Владимир Владимирович, доктори илмҳои техникаӣ, дотсенти кафедраи «Механикаи сохтмонӣ ва назариявӣ»-и Донишгоҳи давлатии сохтмони Москва

Муниев Ҷуракул Дехқонович, номзади илмҳои техникаӣ, мудири кафедраи «Геодезияи муҳандисӣ ва харитасозӣ»-и Донишгоҳи техникаӣ Тоҷикистон ба номи акад. М.С.Осимӣ

Ташкилоти тақриздиханда:

Корхонаи воҳиди давлатии «Институти илмӣ-тадқиқотии сохтмон ва меъморӣ»-и Кумитаи меъморӣ ва сохтмони назди Ҳукумати Ҷ умҳурии Тоҷикистон

Ҳимояи диссертатсия рӯзи _____ с. соати ___ дар ҷаласаи Шӯрои диссертатсионии 6D.KOA-016 назди Донишгоҳи техникаӣ Тоҷикистон ба номи академик М.С.Осимӣ бо суроғи 734042, ш.Душанбе, хиёбони академикҳо Раҷабовҳо, 10А, баргузор мегардад. E-mail: dis.sia@mail.ru

Бо диссертатсия дар китобхона ва сомонаи Донишгоҳи техникаӣ Тоҷикистон ба номи академик М.С.Осимӣ www.ttu.tj шинос шудан мумкин аст.

Автореферат «___»_____2018с. фириристода шуд.

Котиби илмӣ
Шӯрои диссертатсионӣ,
Номзади илмҳои техникаӣ, и.в. дотсент,

Раҳмонзода А.Ҷ.

ТАВСИФИ УМУМИИ РИСОЛА

Мубрамияти мавзӯ ь. Зарурияти рушди минбаъдаи методи муодилаҳои канорӣ барои истифодабарӣ дар масъалаҳои ҳамвори назарияи чандирӣ бо назардошти хусусиятҳо дар мавзӯҳои кунҷӣ ва инчунин дар масъалаҳои ҳамкориҳои иншоот бо асоси чандирӣ ба миён меояд. Бартариҳои асосии методи муодилаҳои канорӣ ин камшавии андозаи масъала мебошад, ки барои ба нашр расонидани миқдори зиёди мақолаҳои назариявӣ ва амалӣ мусоидат кардааст. Нашрияҳо вобаста ба тадқиқотҳои консентратсияи шиддатҳо хеле каманд.

Ҳангоми рух додани консентратсияи шиддатҳо, шиддатҳо метавонанд қимматҳои якҷанд маротиба калон аз қиммати номиналӣ ва қиммати муқовимати моддии масолехро гирад, ки ба вайроншавӣ оварда мерасонад. Бинобарин, дақиқии тасвири ҳолати шиддатнокӣ -деформатсионии масъалаҳои ҳамвори назарияи чандирӣ бо назардошти консентратсияи шиддатҳо масъалаи аҳамиятдор мебошад.

Мақсади рисола рушди методи муодилаҳои канорӣ (ММК) барои истифодабарӣ дар ҳалли масъалаҳои дученакаи статикӣ ва динамикии назарияи чандирӣ. Барои татбиқи ин ҳадаф масъалаҳои зерин гузошта шудаанд:

- сохтани муодилаҳои канорӣ барои масъалаҳои дохила ва беруна, татбиқи ададии муодилаҳо дар намунаи масъалаҳои классикӣ, тадқиқоти наздиқӣ ва дақиқии усули ҳисобкунӣ;

- сохтани муодилаҳои канорӣ ва ҳалли ададии масъалаҳои дохила ва беруна бо нуқтаҳои кунҷӣ;

- табилии ададии муодилаҳои дифференциалӣ ва сохтани муодилаҳои канорӣ барои масъалаҳои динамикӣ;

- коркарди алгоритми моделкунонии ададӣ бо роҳҳои гуногуни апроксиматсияи параметрҳои канорӣ, муқоисаи натиҷаҳо;

- коркарди алгоритми моделкунонии ададӣ бо мақсади таҳлили ҳолати шиддатнокӣ -деформатсионии мавзӯҳои кунҷӣ дар пластинаҳо, тадқиқоти наздиқии шиддатҳои нормалӣ;

- сохтани алгоритми ҳалли пластинаҳои якбанд ва бисёрбанди шакли ҳархелаи геометрӣ дошта, муқоисаи натиҷаҳои бадастоварда бо натиҷаҳои дигар муаллифон;

- сохтани муодилаҳои канорӣ ва ҳалли ададии масъалаи ҳамкориҳои иншоот бо асоси чандирӣ;

- коркарди алгоритми ҳалли пластинаи дубанда ба таъсири динамикӣ.

Навгониҳои илмӣ диссертатсияро натиҷаҳои зерин ташкил медиҳанд:

- коркарди модели математикӣ, алгоритм ва барномаи компютери ҳалли консентратсияи шиддатҳо дар пластинаҳои якбанд ва бисёрбанд ба таъсири статикӣ ва динамикӣ;

- роҳи табдилоти ададии муодилаҳои дифференциалӣ пешниҳод шудааст ва муодилаҳои канорӣ масъалаҳои динамикӣ ба даст оварда шудааст;

- натиҷаҳои нави лаппиши пластинаҳо дар ҳолати деформатсияи ҳамвор бо назардошти нармии асоси чандирӣ бадаст оварда шудааст;

- системаи муодилаҳои канорӣ бадаст оварда шудааст ва усул барои ҳалли масъалаҳои ҳамвори беохир бо сӯроҳии қачхатта, ҳангоми таъсири бор дар масофаи беохир дур, коркард карда шудааст;

Эътиоднокии натиҷаҳо бо ҷиддияти аппарати математикӣ, исботҳои устуворӣ ва наздиқии методҳои апроксиматсияҳои истифодашуда, ва инчунин муқоисаи натиҷаҳои бадастоварда бо ҳалҳои маълум муайян мешавад.

Аҳамияти амалии тадқиқот дар он аст, ки:

- алгоритм ва барномаҳои компютери коркардшуда метавонад барои ҳисоби ҳамагуна масъалаҳои дученакаи истифода шавад.
- алгоритм ва усулҳои барои ҳалли масъалаҳои дученакаи назарияи чандирии пешниҳодшуда, тадқиқоти ҳамкориҳои статикӣ ва динамикии конструкия бо нимфазои чандириро имкон медиҳад;
- масъалаҳои амалӣ вобаста ба ҳалли пластинаҳо бо сплайн апроксиматсияи параметрҳои канорӣ бо назардошти хусусиятҳо дар нуқтаҳои кунҷӣ ҳалл шудаанд;
- барномаи ҳалл дар МЭХ, ба таъсири статикӣ ва динамикӣ, барои ҳисоби масъалаҳои дученакаи назарияи чандирӣ коркард карда шудааст.

Татбиқкунӣ. Натиҷаҳои назариявӣ ва татбиқшавандаи рисола ба рафти хониши магистрони Академияи илмҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон ва Донишгоҳи техникаи Тоҷикистон ба номи академик М.С.Осимӣ, инчунин ба таҷрибаи тадқиқотӣ ва лоиҳакашии воқеии Корхонаи воҳидӣ давлатии Институти илмӣ-тадқиқотии сохтмон ва меъмории Кумитаи сохтмон ва меъмории назди Ҳукумати Ҷумҳурии Тоҷикистон ҷорӣ карда шуд.

Ба ҳимоя натиҷаҳои зерини тадқиқот пешниҳод мешаванд:

1. Моделҳои математикии ҳолатҳои статикӣ ва динамикии пластинаҳои якбанд ва бисёрбанд, ки дар асоси методи муодилаҳои канорӣ бо истифода аз сплайн апроксиматсияи параметрҳои канорӣ коркард шудаанд;
2. Натиҷаҳои адабии ҳалли масъалаҳои дохила ва беруна оид ба муайян намудани шиддатҳои тангенциалӣ дар контури объекти таҳқиқот;
3. Моделҳои математикӣ ва алгоритмҳои ҳисоби концентратсияи шиддатҳо дар системаи ҳамвор деформатсияшуда, бо назардошти нармии асос ба таъсири статикӣ ва динамикӣ;
4. Моделҳои математикӣ ва алгоритмҳои ҳалли адабӣ барои тадқиқоти концентратсияи шиддатҳо дар мавзӯҳои кунҷӣ барои масъалаҳои ҳамвори назарияи чандирӣ бо ёрии апроксиматсияи квадратӣ ва кубӣ;
5. Алгоритм ва натиҷаҳои ҳалли адабии масъалаҳои динамикии пластина бо сӯроҳӣ.

Тасвибияти натиҷаҳои диссертатсия.

Ҳолатҳои асосии дар рисолаи мазкур коркардшуда дар конференсияҳои зерин маъруф карда шудаанд: – конференсияи илмӣ Ҷумҳуриявӣ “100 солагии заминҷунбии Қаротӯғ ва масъалаҳои муосири сохтмони заминҷунбитобовар ва сейсмология”, ш. Душанбе, с. 2007; – конференсияи байналхалқӣ оиди паст намудани хавфи сеймикӣ бахшида ба шаст солагии заминҷунбии Ҳоит соли 1949 дар Тоҷикистон, ш. Душанбе, с.2009; – конференсияи илмӣ-амалии Ҷумҳуриявӣ бахшида ба “Соли маориф ва маданияти техникӣ” ва 50-солагии кафедраи “Обтаъминкунӣ ва обпартоӣ”, ш. Душанбе, с.2010; – конференсияи IV-ми байналхалқии илмӣ-амалии “Дурнамои рушди илм ва маориф”, ш. Душанбе, с.2010; – конференсияи Москвагии XVII-ми байналхалқии байнимактабҳои олии илмӣ-амалии донишҷӯён, магистрантон, аспирантон ва олимони ҷавон. Донишгоҳи давлатии сохтмони Москва. Москва, 2013; – конференсияи байналхалқии илмӣ-амалии «Современные тенденции в архитектуре, строительстве и образовании в Республике Таджикистан», ш. Душанбе, с.2014; – конференсияи илмӣ-амалии Ҷумҳуриявӣ, ш.Хучанд, 25 апрели с. 2015; – конференсияи VIII-ми байналхалқии илмӣ-амалии “Дурнамои рушди илм ва маориф”, ш. Душанбе, 3-4 ноябри с.2016; – конференсияи байналхалқии илмӣ-амалии “Бехатарии сейсмикии Осиёи Марказӣ”,

Душанбе, 25-27 август, с. 2016; – конференсияи байналхалқии илмӣ-амалии “Таҷриба, масъалаҳо ва дурнамои баландбардории сифати корҳои сохтмонӣ дар асоси таҷрибаҳои хуби ватанӣ ва хориҷӣ” (қисми 1), Душанбе, 11-12 майи с. 2018; – конференсияи байналхалқии илмӣ-амалии “Об-омили муҳим барои рушди устувор” бахшида ба дахсолагии амал “Об барои рушди устувор, 2018-2028” 21 апрел с. 2018, Душанбе, 2018.

Наشريёт. Натиҷаҳои асосии таҳқиқот дар 45 мақолаи илмӣ ба чоп расидаанд, ки аз онҳо 22 мақола дар нашрияҳои аз ҷониби ҚОА назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон тавсияшуда нашр гардидаанд.

Ҳаҷм ва таркиби рисола. Рисолаи илмӣ аз муқаддима, чор боб, хулосаҳои асосӣ, номгӯи адабиёт ва замимаҳо иборат аст, инчунин 153 саҳифа дорад, ки 37 ҷадвал ва 66 расмҳои дар бар мегирад.

МАЗМУНИ АСОСИИ ҚОР

Дар муқаддима муқаблаҳои мавзӯии рисола асоснок карда шуда, тавсифномаи умумии он дода мешавад, мақсадҳои асосӣ ва вазифаи тадқиқот баён намуда шудааст, тасвибият, навгониҳои илмӣ ва аҳамияти амалии натиҷаҳои қор муҳокима мешавад.

Дар боби якум «ШАРҲИ ҚҶҲҲИ ТАҲҚИҚОТҲО» муаллиф таҳлили адабиётро бахшида ба методҳои тадқиқоти ҳолатҳои шиддатнокӣ-деформатсионии масъалаҳои дученака, консентратсияи шиддатҳо, тадқиқоти консентратсияи шиддатҳо дар мавзӯҳои кунҷӣ ва тадқиқоти таъсири байниҳамдигарии иншоотро бо асос овардааст.

Имкониятҳои техникаи компютери муосир истифодабарии методҳои адабии ҳисоби масъалаҳои механикаи сохтмонро фароҳам овардааст. Бинобарин дар таҷрибаи лоиҳакашӣ методи муодилаҳои интегралӣ қанорӣ (ё методи элементҳои қанорӣ), ки инкишофи методи классикии потенциал мебошад васеъ татбиқ мегардад.

Ҳангоми тадқиқоти масъалаҳои қанорӣ дар назарияи муодилаҳои ҳосилаи хусусидошта овардани масъалаи қанорӣ ба ҳалли муодилаҳои интегралӣ хаттӣ бо ёрии потенциалҳо, ки дар асоси ҳалҳои фундаменталӣ сохта шудаанд, яке аз методҳои асосӣ мебошад. Методи потенциал, ки аз қорҳои И.Фредгольм ва К.Нейман ибтидо мегирад, ба истифодаи васеи методҳои нави ҳалли муодилаҳо бо ҳосилаҳои хусусӣ дар тадқиқотҳои муосир нигоҳ накарда, аҳамияти худро нигоҳ дошт.

Н.П.Векуа, К.Ф.Гаусс, Д.Гильберт, Д.Грин, Н.М.Гюнтер, П.Г.Л.Дирихле, В.Д.Купразде, Ж.Лагранж, Г.Лауричелл, А.М.Ляпунов, С.Г.Михлин, Н.И.Мусхелишвили, К.Г.Нейман, Ж.Пуанкаре, В.И. Смирнов, В.А.Стеклов, Ф.Трикоми, Ф.Е.Фредгольм, Д.И.Шерман ва диг. ба рушди назарияи потенциал ҳиссаи бузург гузоштанд.

Қорҳои Низомов Ҷ.Н. ба масъалаи рушди методи элементҳои қанорӣ (МЭҚ) ва назарияи сплайн-аппроксиматсия дар ҳалли масъалаҳои дученакаи статикӣ ва динамикии механикаи сохтмон бахшида шудааст.

Қорҳои Тимошенко С.П. ва Гудер Ҷ., Савин Г.Н., Мусхелишвили Н.И., Вайнберг В.Д., Габбасов Р.Ф., Длугач М.И. ба масъалаҳои муайян намудани ҳолати шиддатнокӣ-деформатсионӣ ва консентратсияи шиддатҳо дар масъалаҳои дученакаи назарияи чандирӣ бо методҳои гуногуни аналитикӣ ва адабӣ бахшида шудааст.

Методи муодилаҳои қанорӣ (ММҚ) хусусиятҳои муҳими зерин дорад: дараҷаи камшудаи маҷмӯи муодилаҳо; тарзи оддӣ тайёр намудани маълумотҳо барои

ҳалли масъалаҳо; моделкунони тасвибии масъалаҳо дар соҳаҳои беохир ва нимбеохир; ҳисобкунии аниқи интихобии шиддатҳо ва ҷойивазкуниҳои дохилӣ; ҳалли самараноки масъалаҳо оиди концентратсияи шиддатҳо. МЭК инчунин дар ҳалли масъалаҳо, ки ба ҳалли муодилаҳои Хелмголтс, Пуассон ва Лаплас оварда мешавад, нисбат ба методи элементҳои охиринок (МЭО) бартарии баралло дорад.

Корҳои М.М.Гришин, Н.П.Розанов, С.Б. Ухов, Л.А. Розин, А.А. Храпков, И.А.Константинов, И.И.Гудушаури, К.Т. Хуньба ва диг. ба тадқиқоти таъсири байниҳамдигарии иншоот ва асос бахшида шудааст.

Масъалаҳои вобаста ба концентратсияи шиддатҳо ҳангоми баҳодиҳии ҳолати шиддатнокӣ -деформатсионии элементҳо, конструктсияҳо, биноҳо ва иншоот ҷои хеле муҳимро ишғол менамояд. Кириш, Г.В.Колосов, Н.И.Мухелишвили, С.П.Тимошенко, Г.Н.Савин, Р. Петерсон, А. Надаи, А. Фёплъ, Фойхт, В.В.Панасюк, М.М. Стадник, В.П.Силованюк, Д.В.Вайнберг дар тадқиқотҳои худ ба ин эътибор додаанд.

Таҳлили корҳои илмӣ -тадқиқотии дар ҳошияҳои рисолаҳои номзадӣ ва доктории олимони иттиҳоди давлатҳои соҳибхитӣ (СНГ), ки дар давоми даҳ-бист соли охири оиди муайян намудани ҳолати шиддатнокӣ -деформатсионӣ ва концентратсияи шиддатҳо дар масъалаҳои дученакаи механикаи сохтмон иҷро гардидааст, оварда шудааст.

Дар боби дуюм «МУОДИЛАҲОИ КАНОРҲИИ МАСЪАЛАҲОИ ДУЧЕНАКАИ СТАТИКӢ ВА ДИНАМИКӢИ НАЗАРИЯИ ЧАНДИРӢ»

муодилаҳои интегралӣ канорӣ мувофиқан ба масъалаҳои дохилӣ ва берунаи статикӣ ва динамикӣ иншо шудаанд. Ин муодилаҳои канорӣ дар мисоли ҳалли масъалаҳои классикии Ламе ва Кириш татбиқ гардидаанд. Масъалаҳои дученака вобаста ба назардошти хусусиятҳои нуқтаҳои кунҷӣ дар мисолҳои пластинаи росткунҷаи кашидашуда ва сӯроҳии росткунҷаи дар дохили ҳамвории беохирӣ кашидашудаи дар шароити деформатсияи ҳамвор қарордошта, дида мешаванд.

Маҷмӯаи муодилаҳои дифференциалӣ дар ҷойивазкуниҳо (муодилаҳои Ламе) барои масъалаҳои дученакаи назарияи чандирӣ дар намуди зерин оварда шудааст:

$$\begin{aligned} G_1 \frac{\partial^2 u_x}{\partial x^2} + G \frac{\partial^2 u_x}{\partial y^2} + G_2 \frac{\partial^2 u_y}{\partial x \partial y} + \gamma_x &= 0, \\ G_1 \frac{\partial^2 u_y}{\partial y^2} + G \frac{\partial^2 u_y}{\partial x^2} + G_2 \frac{\partial^2 u_x}{\partial x \partial y} + \gamma_y &= 0, \end{aligned} \quad (1)$$

дар ин ҷо $G_1 = 2G(1-\nu)/(1-2\nu)$, $G_2 = G/(1-2\nu)$, барои шароити деформатсияи ҳамвор; $G_1 = 2G/(1-\nu)$, $G_2 = G(1+\nu)/(1-\nu)$ - мувофиқан барои шароити шиддатнокӣи ҳамвор, G – модули чандирӣ ҳангоми ғеч иш, ν -коэффитсиенти Пуассон, γ_x , γ_y - ташкилдихандаҳои бори ҳаҷмӣ, $u_x(x, y)$ и $u_y(x, y)$ функцияҳои ҷойивазкуниҳо. Муодилаҳои (1) барои тартиб додани муодилаҳои интегралӣ канорӣ истифода бурда мешаванд. Маҷмӯаи муодилаҳои (1), ки барои соҳаи беохир навишта шудаанд, имкон медиҳанд ҳалҳои фундаменталиро ба даст оварем.

Муодилаҳои интегралӣ канорӣ барои масъалаҳои дохилӣ чунин намуд дорад:

$$CU_p = \int_{\Gamma} U^* P_k d\Gamma - \int_{\Gamma} P^* U_k d\Gamma + \int_{\Omega} \bar{U}^* F d\Omega, \quad (2)$$

дар ин ҷо векторҳои U ҷойивазкуниҳо, шиддатҳои сатҳӣ ва қувваҳои ҳаҷмӣ дар чунин намуд пешниҳод мешаванд

$$U = \begin{Bmatrix} u_x \\ u_y \end{Bmatrix}, P = \begin{Bmatrix} p_x \\ p_y \end{Bmatrix}, F = \begin{Bmatrix} \gamma_x \\ \gamma_y \end{Bmatrix}. \quad (3)$$

Матрисаҳои симметрии коэффисиентҳо, ҷойивазкуниҳои фундаменталӣ ва шиддатҳо сунин навишта мешаванд:

$$C = \begin{bmatrix} 1-c_{xx} & -c_{yx} \\ -c_{xy} & 1-c_{yy} \end{bmatrix}, U^* = \begin{bmatrix} u_{xx}^* & u_{yx}^* \\ u_{xy}^* & u_{yy}^* \end{bmatrix}, P^* = \begin{bmatrix} p_{xx}^* & p_{yx}^* \\ p_{xy}^* & p_{yy}^* \end{bmatrix}, \quad (4)$$

\bar{U}^* – матрисаи ҳаллҳои фундаменталӣ, ки компонентҳояш ба нуқтаҳои дохили соҳаи Ω ; в отличие от матрицы U^* – матрисаи ҳаллҳои фундаменталӣ, ки компонентҳояш ба нуқтаҳои сарҳадди Γ таалуқ дорад.

Муодилаҳои интегралӣ канорӣ (2) барои масъалаи берунӣ чунин намуд мегирад

$$c_{ij} \bar{u}_j(\xi) + \int_{\Gamma} p_{ij}^*(\xi, x) \bar{u}_j(x) d\Gamma(x) = \int_{\Gamma} u_{ij}^*(\xi, x) \bar{p}_j(x) d\Gamma(x), \quad \xi, x \in \Gamma, \quad (5)$$

дар ин ҷо бо ҳатчаҳо компонентҳои ҷойивазкуниҳои ёфташаванда ва шиддатҳои додасудаи ҳолати иловагӣ ишора карда шудааст.

Барои санҷиши моделҳои математикӣ, алгоритмҳои ҳисоб ва барномаҳои компютери коркардкардашуда масъалаҳои тести дохилӣ ва берунӣ, аз он ҷумла масъалаҳои Ламе ва Кирш ҳалл намуда шудаанд. Натиҷаҳои ҳисобҳо наздикшавии хуб ва эътимоднокиро нишон медиҳад. Барои ҳалли масъалаҳои дохилӣ маҷмӯаи муодилаҳои дар асоси (2) сохташуда, барои масъалаҳои берунӣ бошад маҷмӯаи муодилаҳои дар асоси (5) сохташударо истифода мебаранд.

Муодилаи интегралӣ канорӣ барои масъалаи динамикӣ чунин намуд мегирад

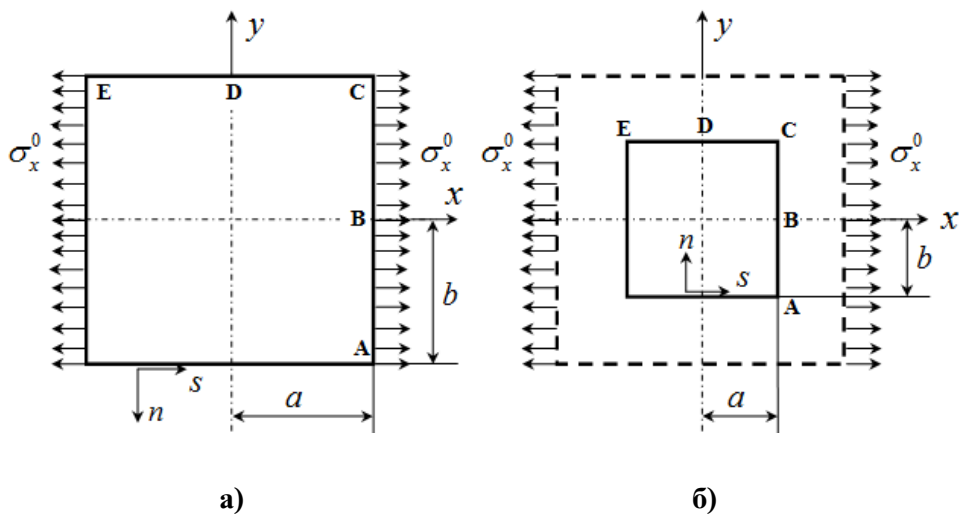
$$CU_p + \int_{\Gamma} P^* U_k d\Gamma - \int_{\Gamma} P_k U^* d\Gamma = \int_{\Omega} F U^* d\Omega + \int_{\Omega} Q U^* d\Omega, \quad (6)$$

дар ин ҷо матрисаи матрица C ҳамчун дар (4) ифода меёбад. Хусусияти ин муодилаи канорӣ он аст, ки вай дар ҳар қадами вақт аз $r\bar{u}$ ва қимати нави Q , ки аз компонентҳои зерин ташкил меёбад ҳисоб карда мешавад:

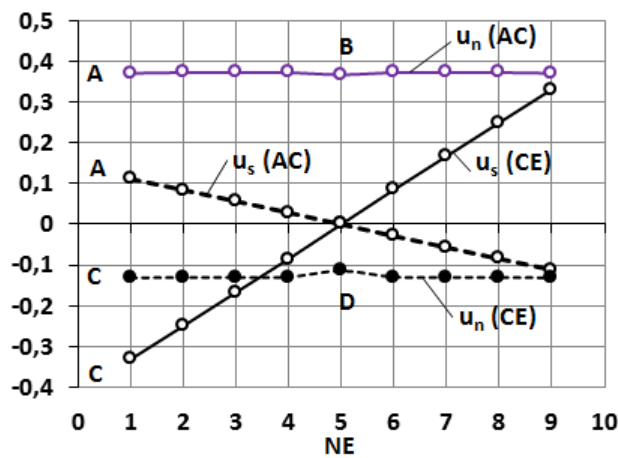
$$Q_y = \rho(\bar{s}^2 u_y(k, t_{i-1}) + \alpha_2 \dot{u}_y(k, t_{i-1}) / \tau + \alpha_3 \ddot{u}_y(k, t_{i-1})), \quad Q_x = \rho(\bar{s}^2 u_x(k, t_{i-1}) + \alpha_2 \dot{u}_x(k, t_{i-1}) / \tau + \alpha_3 \ddot{u}_x(k, t_{i-1})),$$

дар ин ҷо $\bar{s}^2 = \alpha_1 / \tau^2$, ρ – зичӣ, $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ – коэффисиентҳо, $u_x, \dot{u}_x, \ddot{u}_x$ – ҷойивазкуниҳо, суръат ва шитоб, t – вақт. Сохтори U, P ва F дар (6) ба монанди, чун дар (3).

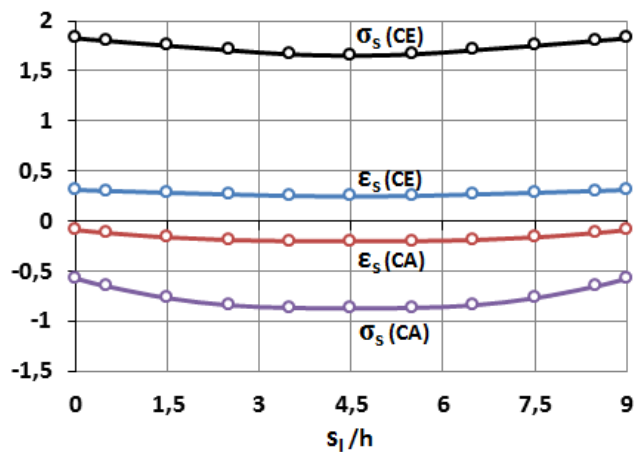
Масъалаҳои дохилӣ ва берунӣ бо нуқтаҳои кунҷӣ. Масъалаҳои дученакаи вобаста ба назардошти хусусиятҳои нуқтаҳои кунҷӣ дар мисолҳои пластинаи росткунҷаи кашидашуда ва сӯроҳии росткунҷаи дар ҳамвории беохири кашидашудаи дар шароити деформатсияи ҳамвор ҷойгиршуда дида мешаванд (расми 1).



Расми 1. – Масъалаҳои дохилӣ а) и берунӣ б) ҳангоми аз рӯи як тир кашидашавӣ



Расми 2. – Графики тақсироти ҷойивазкуниҳои нормалӣ ва тангенциалӣ қад-қадӣ қираҳо барои масъалаи дохилӣ (расми 1,а)



Расми 3. – Графики тақсироти деформатсияҳо ва шиддатҳои тангенциалӣ қад-қадӣ қираҳои CE ва CA барои масъалаи берунӣ (расми 1,б)

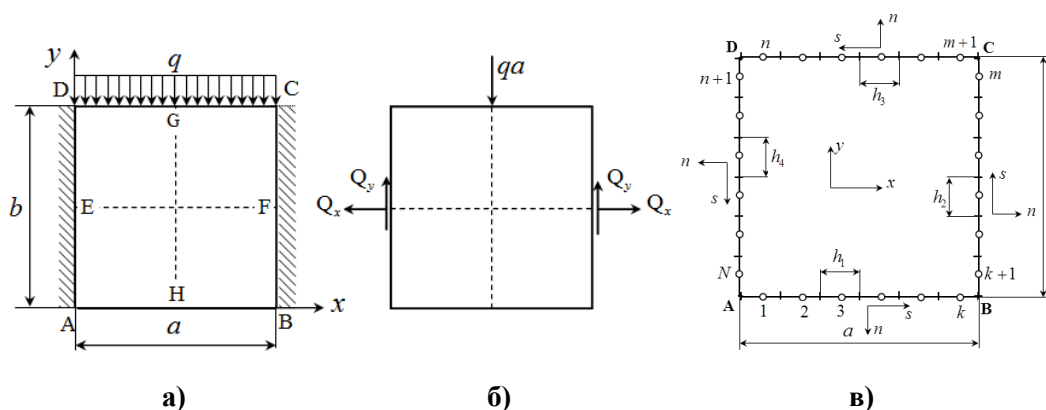
Барои масъалаи берунӣ (расми 1,а), ба муқобили масъалаи дохилӣ (расми 1,б), ҷойивазкуниҳо қад-қадӣ қираҳои сӯроҳӣ, дар намуди умумӣ характери таъғирёбии ғайрихаттӣ доранд.

Дар боби сеюм «УСУЛҲОИ АППРОКСИМАТСИЯҲОИ ПАРАМЕТРҲОИ КАНОРӢ ВА МОДЕЛКУНОНИИ АДАДИИ МАСЪАЛАҲОИ ДУЧЕНАКА БО МЕТОДИ МУОДИЛАҲОИ КАНОРӢ»

масъалаҳои моделкунонии ададии муодилаҳои интегралӣи канорӣ бо истифодабарии В-сплайни дараҷаи сифрӣ дида баромада мешавад. Барои муайян намудани ҳолати шиддатнокӣ-деформатсионӣ дар минтақаҳои кунҷӣ аппроксиматсияҳои квадратӣ ва кубӣ истифода бурда мешавад. Дар мисоли муодилаи масъалаи мембранаи росткунҷа а усулҳои гуногуни аппроксиматсияи параметрҳои канорӣ татбиқ карда шудааст.

Татбиқи алгоритмро барои муайян кардани шиддатҳо дар мисоли пластинаи чоркунҷа мебинем (расми 4, а). Масъалаи наздиқои ва устувории ҳалли ададиро ҳангоми тақсимкунии мунтазами ҳар як қираи пластина ба NS элементҳои дараҷаи сифрӣ таҳлил мекунем (расми 4, в). Дар ҳадвали 1 натиҷаҳои беченаки ҳисоби пластинаи мураббӣ ҳамворшиддатнокшуда, ки ҳангоми қиматҳои ҳархелаи NS ҳосилшуда, оварда шудаанд. Маълум аст, ки бо зиёдшавии NS гиреҳҳои $k, k+1$ ва $m, m+1$ ба нуқтаҳои кунҷӣ наздик мешаванд.

Аз ҳадвали 1 бармеояд, ки шиддатҳои σ_n, τ_{xy} ва σ_s дар маркази паҳлӯи ВС, ҳосили ҳамаи интегралҳои шиддатҳои $\sigma_n(F)$ и $\sigma_s(F)$ дар паҳлӯи ВС наздиқоии хуб доранд.



Расми 4. – Мисоли тестӣ

Ҳадвали 1

Шиддатҳо ва ҳамаҷузъҳои дар маркази паҳлӯҳо

параметрҳои канорӣ	Тақсимкунии мунтазами ҳар як паҳлӯ ба NS элементҳо					
	$NS=7$	$NS=15$	$NS=23$	$NS=31$	$NS=39$	$NS=47$
$\sigma_s(k+1)$	0,1475	0,1122	0,09376	0,0827	0,07539	0,07024
$\sigma_s(m)$	-0,9344	-0,9991	-1,023	-1,038	-1,048	-1,056
$\tau_{xy}(F)$	0,4267	0,4348	0,4372	0,4384	0,4391	0,4396
$\sigma_n(F)$	-0,2001	-0,2011	-0,2015	-0,2016	-0,2018	-0,2018
$\sigma_s(F)$	-0,06004	-0,06033	-0,06044	-0,06049	-0,06053	-0,06057
$Q_x(BC)$	-0,1221	-0,1153	-0,1135	-0,1128	-0,1123	-0,112
$Q_y(BC)$	0,5118	0,5047	0,5027	0,5019	0,5014	0,5011
$u_y(G)$	-0,2588	-0,2637	-0,2653	-0,2661	-0,2666	-0,2669

Ба сифати мисол пластинаи чоркунҷ а бо шартҳои канории дилхоҳ дида мешавад, ки функцияҳои ёфташаванда бо сплайнҳои дараҷ ай сифрии дар паҳлӯ ҳо барандаҳои гуногундошта аппроксиматсия карда мешаванд, он гоҳ бузургии деформатсияҳо (дар минтақаҳои кунҷ ӣ , ки тартиби рақаммониашон дар расми 4, в нишон дода шудааст) чунин навишта мешавад:

$$\varepsilon_{s,1} = (u_{s,2,1} - u_{s,N,1}) / \Delta s_1 = 2(u_{x,2} + u_{x,N}) / 3h_1, \quad (7)$$

Баъд аз он, ки қиматҳои $\varepsilon_{s,j}$ дар ҳамаи гиреҳҳо, аз он ҷ умла дар минтақаҳои кунҷ ӣ аз рӯ и формулаҳои ба (7) монанд муайян карда шуданд ба ҳисобкунии деформатсияҳо бевосита дар нуқтаҳои кунҷ ӣ шурӯ ь намудан мумкин аст всех узлах,

Ҳангоми аппроксиматсияи кубӣ $\varepsilon(\xi) = a_0 + a_1\xi + a_2\xi^2 + a_3\xi^3$, формулаи зеринро ҳосил мекунем $\varepsilon_{s,L} = (105\varepsilon_{s,j} - 105\varepsilon_{s,j+1} + 63\varepsilon_{s,j+2} - 15\varepsilon_{s,j+3}) / 48$.

Интегронии ададии коэффитсиентҳои маҷ мӯ ьаи муодилаҳои ҳаллкунандаи (2) ва (5) бо методи Гаусс дар ҳудуди барандаи сплайни дараҷ ай сифр ба формулаи зерин оварда мешавад

$$a_{ij} = \int_{\Gamma_j} p_{xx}^*(x, \xi) d\Gamma_j = \int_{-1}^1 p_{xx}^*(s) ds = \frac{\Delta s_j}{2} \sum_{k=1}^n A_k p_{xx}^*(s_k),$$

$$e_{ij} = \int_{\Gamma_j} u_{xx}^*(x, \xi) d\Gamma_j = \int_{-1}^1 u_{xx}^*(s) ds = \frac{\Delta s_j}{2} \sum_{k=1}^n A_k u_{xx}^*(s_k) \quad (8)$$

дар ин ҷ о где n – шумораи ординатаҳо, s_k, A_k – координатаҳои нуқтаҳои интегронӣ ва коэффитсиентҳои вазнии \bar{y} , Δs_j – дарозии элемент. Коэффитсиентҳои боқимонда дар (2) ва (5) ба монанди (8) ҳисоб карда мешаванд. Ҳаллҳои фундаменталии Кельвинро барои (8), чунин пешниҳод намудан мумкин аст $p_{xx}^*(i, j) = -b(c + 2m_{1,i}^2) \cos \gamma_j / r_{ij}$, $u_{xx}^*(i, j) = -a[(3 - 4\nu) \ln r_{ij} - \cos^2 \beta_{1,i}]$, дар ин ҷ о - $m_{1,i} = \cos \beta_{1,i}$, $m_{2,i} = \cos \beta_{2,i}$, $n_{1,j} = \cos \alpha_{1,j}$, $n_{2,j} = \cos \alpha_{2,j}$, $a = 1/8\pi G(1 - \nu)$, $b = 1/4\pi(1 - \nu)$, $c = 1 - 2\nu$, $r_{ij} = \sqrt{(u_j - x_i)^2 + (v_j - y_i)^2}$, γ_j – кунҷ и моилӣ байни радиус-вектори r_{ij} ва нормали n , $m_{1,i}, m_{2,i}$ – косинусҳои самтдиҳандаи кунҷ хои байни радиус-вектори r_{ij} ба тирҳои x ва y дар нуқтаи i , $n_{1,j}, n_{2,j}$ – косинусҳои самтдиҳандаи нормал ба тирҳои x, y дар нуқтаи j .

Дар боби чорум «ТАҲҚИҚОТИ КОНСЕНТРАТСИЯИ ШИДДАТҲОИ МАСЪАЛАҲОИ ДУЧЕНАКАИ СТАТИКӢ ВА ДИНАМИКӢИ НАЗАРИЯИ ЧАНДИРӢ» консенстратсияи шиддатҳо дар соҳаҳои якбанда ва бисёрбандаи масъалаи ҳамвори пластинаҳои геометрияҳо ва шартҳои канории ҳархеладошта бо методи муодилаҳои канорӣ, инчунин хусусиятҳои минтақаҳои кунҷ ӣ аз таъсири статикӣ ва динамикӣ тадқиқ намуда мешавад.

Консенстратсияи шиддатҳоро дар минтақаҳои кунҷ ии (расми 4, в) пластинаҳои ҳамворшиддатнок тадқиқ мекунем. Натиҷ аҳои наздиқии шиддатҳо дар ҷ адвали 2 оварда шудааст.

Шиддатҳо дар минтақаҳои кунҷ ӣ

Параметрҳои канорӣ	Тақсимкунии мунтазами ҳар як паҳлӯ ба NS элементҳо					
	NS=7	NS=15	NS=23	NS=31	NS=39	NS=47
$\sigma_s(k)$	-0,2838	-0,542	-0,6751	-0,7644	-0,8319	-0,8863
$\sigma_n(k+1)$	-0,3685	-0,5802	-0,7058	-0,7946	-0,8639	-0,9208
$\tau_{xy}(m)$	1,132	1,343	1,477	1,580	1,665	1,738

Дар ҷ адвали 3 натиҷаҳои бо ММК ҳангоми ҳар як паҳлӯ ро ба 12 элементҳо тақсим кардан ҳосилшударо бо натиҷаҳои бо методи вариатсионӣ-фарқиятӣ (МВФ) бадастомада муқоиса карда мешаванд, ки дар ин ҷо h – дарозии барандаи В-сплайни дараҷаи сифр мебошад. Дар сутунҳои 3 ва 4 шиддатҳои расанда дар нуктаҳо, ки координатаҳошон аз $r_{\bar{y}}$ и ҳар ду метод мувофиқ меоянд, муқоиса карда мешаванд. Дар сутунҳои 6 ва 7 шиддатҳои нормалӣ дар нуктаҳои паҳлӯи амӯдӣ, ки координатаҳошон бо ҳам мувофиқ намеоянд, муқоиса карда мешаванд. Бинобарин дар ММК аппроксиматсияи хаттӣ натиҷаҳо дар сутуни 9 оварда шудааст. Шиддатҳо дар нуктаҳои 0 ва 12-и сутуни 7 бо истифодаи аппроксиматсияи квадратӣ ҳосил шудаанд.

Ҷ адвали 3

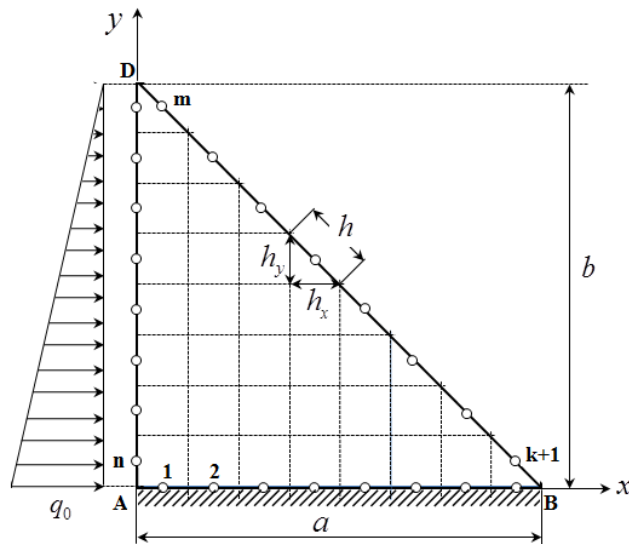
Муқоисаи натиҷаҳои шиддатҳои расанда ва нормалӣ дар паҳлӯи ВС-и болор-девор

№ нуктаҳо	y/h	τ_{xy}/q		y/h	σ_x/q		y/h	σ_x/q
		МВФ	ММК		МВФ	ММК		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,5	0,188	0,2406	0	-0,655	-0,7806	0,5	-0,4995
2	1,5	0,232	0,2386	1	-0,247	-0,3304	1,5	-0,1613
3	2,5	0,278	0,2853	2	-0,138	-0,1416	2,5	-0,1218
4	3,5	0,317	0,3235	3	-0,113	-0,1209	3,5	-0,1201
5	4,5	0,358	0,3624	4	-0,119	-0,1303	4,5	-0,1405
6	5,5	0,401	0,4051	5	-0,140	-0,1556	5,5	-0,1708
7	6,5	0,453	0,4539	6	-0,166	-0,1877	6,5	-0,2046
8	7,5	0,514	0,5104	7	-0,193	-0,2198	7,5	-0,2350
9	8,5	0,587	0,5759	8	-0,210	-0,2428	8,5	-0,2506
10	9,5	0,671	0,6558	9	-0,198	-0,2357	9,5	-0,2208
11	10,5	0,745	0,7235	10	-0,104	-0,1694	10,5	-0,1181
12	11,5	1,257	1,3000	11	0,279	0,4793	11,5	1,0770
13				12	1,935	2,0840		

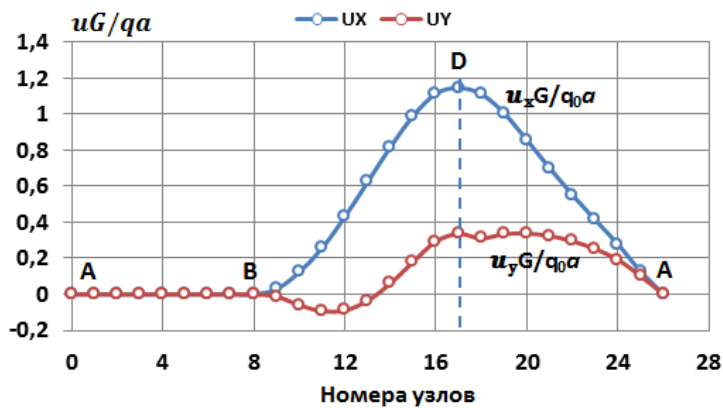
Муқоиса (ҷ адв. 3) мувофиқии ҳуби натиҷаҳо нишон медиҳад.

Ҳалли болор-девори консолӣ секунҷа ро (расми 5) бо ММК мебинем.

Дар расми 6 графикаи ҷойивазкунии уфуқӣ ва амудии гиреҳҳои тарҳи пластинаи секунҷа (расми 5) ҳангоми $b = 1,25a$ нишон дода шудааст. Ҷойивазкуниҳо дар нуктаи кунҷии D бо истифодаи аппроксиматсияи кубӣ муайян карда шудаанд. Ҷойивазкунии бевоҳиди уфуқӣ нуктаи кунҷии D, ки ба 1,146 баробар аст 3,4 маротиба аз ҷойивазкунии амӯдӣ зиёдтар аст.



Расми 5. – Болор-девори консолӣи секунҷа



Расми 6. – Ҷойивазкуниҳои пластина

Ҷадвали 4

Шиддатҳо дар паҳлӯҳои болор-девори секунҷа (расми 5)

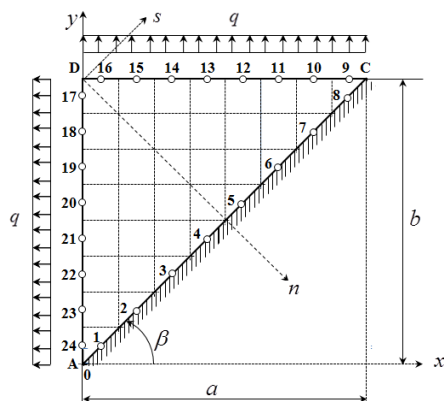
x_i / h	τ_{xy} / q_0 (AB)		№№ гире ҳо	σ_n / q_0 (AB)		σ_s / q_0 (AD)		σ_s / q_0 (BD)
	ММК	МВФ		ММК	МВФ	ММК	МВФ	ММК
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,5	-1,433	-1,340	0	3,555	3,096	3,555	3,096	-1,067
1,5	-0,665	-0,619	1	1,370	1,230	1,405	1,564	-1,233
2,5	-0,579	-0,587	2	0,349	0,421	0,829	1,058	-1,312
3,5	-0,516	-0,546	3	-0,049	-0,076	0,551	0,834	-1,243
4,5	-0,488	-0,526	4	-0,373	-0,449	0,337	0,663	-0,965
5,5	-0,473	-0,524	5	-0,615	-0,721	0,119	0,475	-0,581
6,5	-0,455	-0,534	6	-0,770	-0,862	-0,130	0,264	-0,199
7,5	-0,508	-0,323	7	-0,723	-0,791	-0,476	0,065	0,124
Σ	-5,118	-4,999	8	-0,357	-0,601	0	0	0

Дар ҷ адв. 4 шиддатҳо дар паҳлӯ ҳои пластинаи секунҷ а, ки мо бо ММК ҳосил намудем бо натиҷаҳои бо МФВ ҳосилшуда муқоиса карда мешавад (В.Д. Вайнберг). Реаксияи горизонталӣ дар қисми тақягоҳ, аз рӯи шартҳои мувозинати статикӣ бояд баробар шавад

$$\tau_{xy} h_x / q_0 = -b / 2 = -1,25a / 2 = -1,25 \cdot 8h_x / 2 = -5h_x, \tau_{xy} / q_0 = -5,0. \quad (9)$$

Чӣ хеле, ки аз сутунҳои 2 ва 3-и ҷ адв. 4 мебинем шартҳои (9) қонеъ мегардад.

Ҳолати шиддатнокӣ-деформатсионӣ (ҲШД) пластинаи аз ду тараф кашидашударо, ки тарафи уреба шакл маҳкам карда шудааст, бо ёрии ММК муайян мекунем (расми 7)

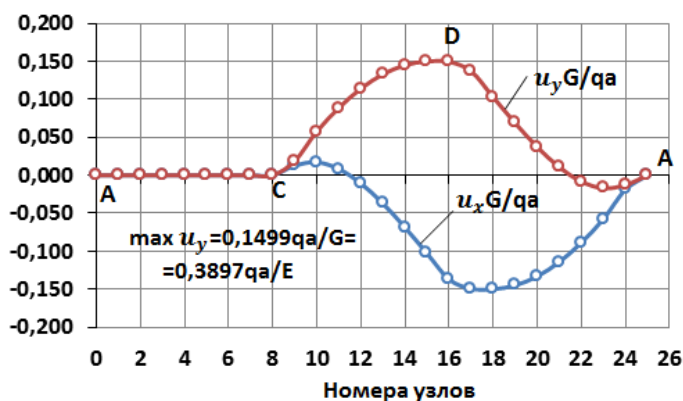


Расми 7. – Пластинаи секунҷаи тарафи уреба шакл маҳкам кардашуда

Графикҳои ҷойивазкунии амӯдӣ ва уфуқии паҳлӯҳои пластина, ки ҳангоми тақсимкунии ҳар як паҳлӯ ба 8 элемент ҳосил шудааст, дар расми 8 оварда шудааст. Ҷойивазкунии нуқтаи кунҷи D ҳангоми кунҷи байни тири x ва нормал n ба паҳлӯи AC (расми 7), $\alpha = -\pi/4$ баробар мешавад

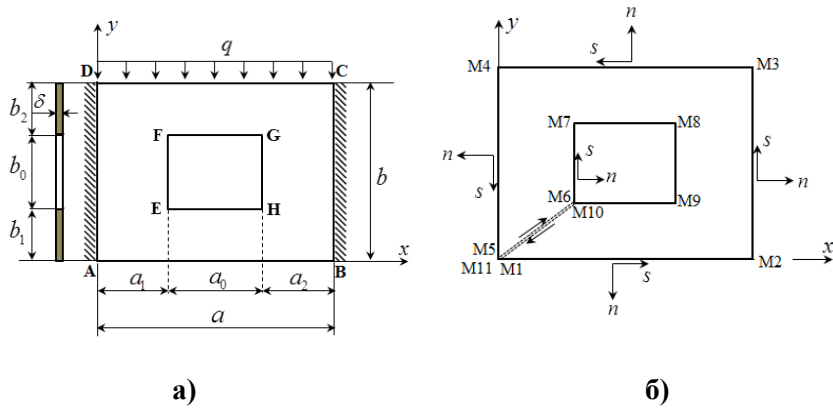
$$u_y = -u_x = 0,1467qa / G = 0,3814qa / E, u_{n,D} = u_x \cos \alpha + u_y \sin \alpha = -0,2074qa / G = -0,5394qa / E$$

Профессор Габбасов Р.Ф. дар асоси муодилаҳои умумикардани методи фарқиятҳои охирикунандаи ҲШД-и пластинаро (расми 7) дар тӯри 3×3 ҳосил намуд, аз он ҷо умла $u_{n,D} = -0,433qa / E$. Сабаби фарқият бо истифодабарии тӯри калонқадами 3×3 маънидод карда мешавад.



Расми 8. – Ҷойивазкунии уфуқӣ ва амӯдӣ пластина (расми 7)

Ҳолати шиддатнокӣ-деформатсионӣ (ҲШД) соҳаи дубандаро бо ММК тадқиқ мекунем (расми 9). Болор-девори сӯроҳдорро мебинем (расми 9, а). Дар расми 9, б схемаи гардиши тарҳҳои берунӣ ва дохилӣ нишон дода шудааст.



Расми 9. – Болор-девори сӯ рохидор

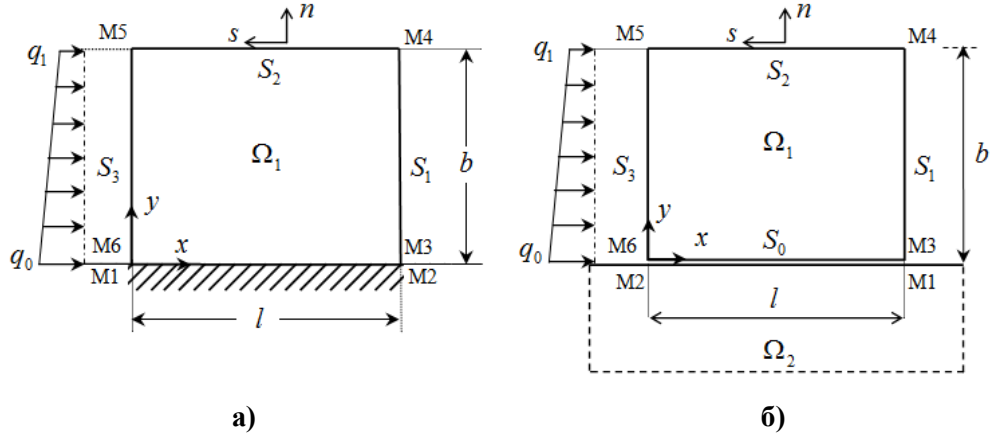
Ҷ адвали 5

Муқоисаи шиддатҳо дар паҳлӯ и ВС-и болор-девор

y_i/h_1	Бо сӯ рохӣ			Бе сӯ рохӣ		
	σ_x	τ_{xy}	σ_s	σ_x	τ_{xy}	σ_s
0	-0,2878	0,1654	0,1869	-0,5867	0,2562	0,2993
0,5	-0,1737	0,1631	0,0946	-0,3567	0,2535	0,1487
1,5	-0,0795	0,2042	-0,0199	-0,1059	0,2799	-0,0265
2,5	-0,1642	0,3060	-0,0411	-0,1338	0,3485	-0,0334
3,5	-0,3255	0,4549	-0,0814	-0,1868	0,4217	-0,0467
4,5	-0,5134	0,5934	-0,1283	-0,2378	0,5168	-0,0594
5,5	-0,4389	0,6448	-0,1097	-0,2653	0,6078	-0,0663
6,5	0,9126	1,2240	-1,0000	0,5668	1,1560	-0,9348
7,0	2,0670	1,7120	-1,7860	1,3050	1,6020	-1,6920

Дар ҷ адв. 5 шиддатҳои паҳлӯ и маҳкамкардашудаи ВС ҳангоми тақсимот ба $4 \times 7 + 4 \times 5 = 48$ муқоиса карда мешаванд, ки қиматҳои шиддатҳо дар нуқтаҳои кунҷ и бо истифодаи аппроксиматсияи квадратӣ муайян шудаанд. Аз муқоисаи натиҷаҳо бармеояд, ки дар пластинаҳои сӯ рохидор қиматҳои мутлақи шиддатҳо дар нуқтаи поёнии кунҷ и кам мешаванд, баръакс дар нуқтаҳои болоии пластинаҳои бесӯ рохӣ шиддатҳо меафзоянд.

Концентрацияи шиддатҳо дар минтақаҳои кунҷ ии ҳудуди расиши иншоот бо асос, ки дар он ҷ ой онҳо ба ҳамдигар таъсир мекунанд, бо ММК тадқиқот мешавад (расм 10).



Расми 10. – Моделҳои ҳисобӣ : а- асоси мутлақо саҳт; б- асоси чандир

Дар ҷ адвали 6 қиматҳои шиддатҳо дар нуқтаҳои кунҷ ӣ оварда шудаанд ва аз он бармеояд, ки бо зиёдшавии $1/h$ зиёдшавии экспонсиалии шиддатҳо дар нуқтаҳои М1 ва М6 мушоҳида карда мешавад, шиддатҳои τ_{yx} ва σ_x ба қиматҳои ниҳии худ майл мекунанд.

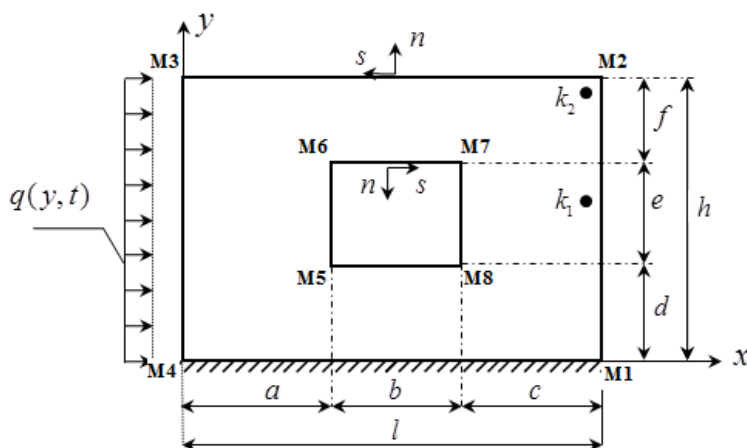
Ҷ адвали 6

Ҷ ойивазкуниҳо ва шиддатҳо дар нуқтаҳои кунҷ ӣ (расми 10)

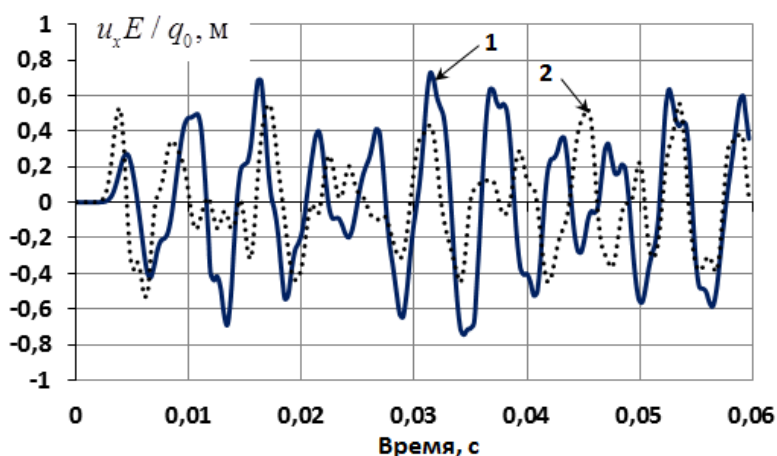
n	$u_{x,M5}$	$u_{y,M3}$	$\sigma_{y,M2}$	$\sigma_{y,M6}$	$\tau_{yx,M2}$
4	2,367	-0,426	2,628	1,820	2,633
12	2,743	-0,494	5,623	3,621	4,483
20	2,823	-0,505	7,394	4,654	5,632

Аз ҷ адв. 6 бармеояд, ки аз $r_{\bar{u}}$ и ҷ ойивазкуниҳо ва шиддатҳо дар ҳамаи нуқтаҳо, аз он ҷ умла дар нуқтаҳои кунҷ ӣ наздиқой вуч уд дорад.

Ҳалли масъалаи динамикиро дида мебароем, ки алгоритми ҳаллаш дар асоси ММК сохта шудааст. Соҳаи росткунҷаи $s_{\bar{u}}$ роҳидор (расми 11) таъсири динамикиро ҳис мекунад



Расми 11. – Соҳаи дубанда



Расми 12. – Муқоисаи натиҷаҳои лапшиши уфуқии нуқтаи k_1 -и пластина аз таъсири бори $q_{\bar{u}}$ тоҳмуддат: 1-бо $s_{\bar{u}}$ роҳӣ ; 2-бе $s_{\bar{u}}$ роҳӣ (расми 11)

шудаанд ва натиҷ аҳоӣ тақсимоӣ шиддатҳо дар сарҳади расиш вобаста аз таносуби модули ғечиш, ҳосил шудаанд.

9. Алгоритм, барномаҳо ва натиҷ аҳоӣ дар намуди график ва ҷадвал коркард карда шуда, метавонанд дар ҳисобҳои муҳандисӣ ва корҳои илмӣ-тадқиқотӣ истифода шаванд.

**Натиҷ аҳоӣ асосии диссертатсия дар интишороти зерин оварда шудаанд:
*Мақолаҳо дар нашрияҳои тавсиядодашудаи КОА-и назди Президенти ҶТ***

1. Ходжибоев О.А. Численное моделирование плоской задачи нестационарной динамики и дифракции волн [Текст] / Низомов Д. Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. // Доклады Академии наук Республики Таджикистан. – Душанбе, 2010. – Том 53. – №4. – С. 279–284.

2. Ходжибоев О.А. Алгоритм расчета взаимодействия сооружения с полупространством в условиях плоской деформации [Текст] / Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. // Доклады Академии наук Республики Таджикистан. – Душанбе, 2010. – Том 53. – №5. – С. 364–371.

3. Ходжибоев О.А. Трансверсально-изотропная модель массива пород подземных сооружений Рогунской ГЭС [Текст] / Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. // Доклады Академии наук Республики Таджикистан. – Душанбе, 2011. – Том 54. – №5. – С. 420–426.

4. Ходжибоев О.А. Концентрации напряжений на контурах обделок смотровой галереи плотины Нурекской ГЭС [Текст] / Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. // Доклады Академии наук Республики Таджикистан. – Душанбе, 2011. – Том 54. – №6. – С. 497–503.

5. Ходжибоев О.А. Концентрация напряжений вокруг отверстия в анизотропной пластине [Текст] / Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. // Научно-технический журнал Вестник МГСУ. – Москва, 2011. – №6. – С. 307–311.

6. Ходжибоев О.А. Численное решение плоской задачи теории упругости с учетом анизотропии материала [Текст] / Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. // Обзорно-аналитический и научно-технический журнал «Строительная механика инженерных конструкций и сооружений». – Москва, 2012. – №1. – С. 3–7.

7. Ходжибоев О.А. Перемещения и напряжения на контурах подземных сооружений в трещиноватых горных массивах [Текст] / Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. // Обзорно-аналитический и научно-технический журнал «Строительная механика инженерных конструкций и сооружений». – Москва, 2012. – №1. – С. 8–16.

8. Ходжибоев О.А. Система разрешающих уравнений метода граничных уравнений для полупространства с подкрепленным отверстием [Текст] / Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А., Саломов Н.Г. // Обзорно-аналитический и научно-технический журнал «Строительная механика инженерных конструкций и сооружений». – Москва, 2012. – №2. – С. 20 – 24.

9. Ходжибоев О.А. Концентрация напряжений вокруг отверстия в полуплоскости, растягиваемой на бесконечность [Текст] / Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. // Научно-технический журнал Вестник МГСУ. – Москва, 2011. – №7. – С. 596–601.

10. Ходжибоев О.А. Поля напряжений и перемещений вблизи вершины трещины в линейной теории упругости [Текст] / Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А.,

Ходжибоев О.А. // Доклады Академии наук Республики Таджикистан. – Душанбе, 2010. – Том 53. – №11. – С. 856–864.

11. Ходжибоев О.А. Моделирование напряженно-деформированного состояния контура выработки в трещиноватых горных массивах [Текст] / Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. // Научно-технический журнал Вестник МГСУ. – Москва, 2012. – №4. – С. 108–115.

12. Ходжибоев О.А. Алгоритм расчёта взаимодействия сооружения с полупространством, ослабленном выработкой в условиях плоской деформации [Текст] / Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. // Научный журнал Вестник Российского университета дружбы народов. Серия инженерные исследования. – Москва, 2012. – №1. – С. 24–32.

13. Ходжибоев О.А. Решение задачи взаимодействия конечного тела с полуплоскостью [Текст] / Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – Москва, 2013. – №1. – С. 19–24.

14. Ходжибоев О.А. Напряжённо- деформированное состояние анизотропной пластины, ослабленной отверстием [Текст] / Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – Москва, 2013. – №4. – С. 22–28.

15. Ходжибоев О.А. Численное решение пространственной внешней задачи теории упругости методом граничных уравнений [Текст] / Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. // Доклады Академии Наук Республики Таджикистан. – Душанбе, 2014. – Том 57. – №7. – С. 573–579.

16. Ходжибоев О.А. Численное решение напряжённо- деформированного состояния пластин методом граничных уравнений [Текст] / Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. // Доклады Академии наук Республики Таджикистан. – Душанбе, 2014. – Том 57. – №9-10. – С. 764–770.

17. Ходжибоев О.А. Граничные уравнения динамической задачи теории упругости [Текст] / Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. // Доклады Академии наук Республики Таджикистан. – Душанбе, 2014. – Том 57. – №11-12. – С. 850–855.

18. Ходжибоев О.А. Метод граничных уравнений в решении задач строительной механики, сводящихся к уравнению Лапласа [Текст] / Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. и др. // Вестник Таджикского технического университета. – Душанбе, 2015. – №2(30). – С. 68–73.

19. Ходжибоев О.А. Граничные уравнения взаимодействия сооружения с упругим полупространством [Текст] / Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. // Доклады Академии наук Республики Таджикистан. – Душанбе, 2016. – Том 59. – №5-6. – С. 229–235.

20. Ходжибоев О.А. Моделирование динамического поведения земляной плотины от действия бегущей волны [Текст] / Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. // Вестник Таджикского технического университета. Серия инженерные исследования. – Душанбе, 2016. – №1(33). – С. 69–73.

21. Ходжибоев О.А. Численное решение граничного уравнения при сплайн – аппроксимации граничных параметров [Текст] / Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А., Саидов Р.Р. // Вестник Таджикского технического университета. Серия инженерные исследования. – Душанбе, 2016. – №2(34). – С. 110–117.

22. Ходжибоев О.А. Численное решение плоской задачи теории упругости методом граничных уравнений [Текст] / Ходжибоев О.А. // Вестник ТГАСУ. – Томск, 2018. – Том 20. – №4. – С. 94–102.

Мақолаҳо дар маводҳои конференсияҳо

23. Ходжибоев О.А. Учет трещиноватости в массивах горных пород [Текст] / Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. // Актуальные проблемы научных исследований сейсмоактивных территорий. Материалы республиканской научной конференции. «100-лет со дня Каратагского землетрясения (21 октября 1907 года) и современные проблемы сейсмостойкого строительства и сейсмологии». – Душанбе, 2007. – С. 159–165.

24. Ходжибоев О.А. Численное решение задач концентрации напряжений с учетом анизотропии [Текст] / Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. // Актуальные проблемы научных исследований сейсмоактивных территорий. Материалы республиканской научной конференции. «100-лет со дня Каратагского землетрясения (21 октября 1907 года) и современные проблемы сейсмостойкого строительства и сейсмологии». – Душанбе, 2007. – С. 165–171.

25. Ходжибоев О.А. Влияние параметров анизотропии на деформированное состояние массива горных пород [Текст] / Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. // Актуальные проблемы научных исследований сейсмоактивных территорий. Материалы республиканской научной конференции. «100-лет со дня Каратагского землетрясения (21 октября 1907 года) и современные проблемы сейсмостойкого строительства и сейсмологии». – Душанбе, 2007. – С. 171–175.

26. Ходжибоев О.А. Концентрация напряжений в полуплоскости, ослабленной отверстием [Текст] / Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. // Актуальные проблемы научных исследований сейсмоактивных территорий. Материалы республиканской научной конференции. «100-лет со дня Каратагского землетрясения (21 октября 1907 года) и современные проблемы сейсмостойкого строительства и сейсмологии». – Душанбе, 2007. – С. 175–179.

27. Ходжибоев О.А. Анализ поля напряжений в анизотропной среде, ослабленной отверстием [Текст] / Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. // Труды международной конференции по снижению сейсмического риска, посвященной шестидесятилетию со дня Хаитского землетрясения 1949 года в Таджикистане. – Душанбе, 2009. – С. 133–137.

28. Ходжибоев О.А. Моделирование смещений и напряжений вокруг подземных сооружений в трещиноватых породных массивах [Текст] / Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. // Труды международной конференции по снижению сейсмического риска, посвященной шестидесятилетию со дня Хаитского землетрясения 1949 года в Таджикистане. – Душанбе, 2009. – С. 147–156.

29. Ходжибоев О.А. Напряженное и деформированное состояние угловых зон в плоской задаче теории упругости [Текст] / Низомов Д.Н., Каландарбеков И., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. // Труды международной конференции по снижению сейсмического риска, посвященной шестидесятилетию со дня Хаитского землетрясения 1949 года в Таджикистане. – Душанбе, 2009. – С. 157–163.

30. Ходжибоев О.А. Учет особенностей угловых точек в расчетах плит [Текст] / Низомов Д.Н., Каландарбеков И., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. // Труды международной конференции по снижению сейсмического риска, посвященной шестидесятилетию со дня Хаитского землетрясения 1949 года в Таджикистане. – Душанбе, 2009. – С. 163–171.

31. Ходжибоев О.А. Численная реализация алгоритмов для решения плоской задачи теории упругости с учетом анизотропии материала [Текст] / Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. // Труды международной конференции по снижению сейсмического риска, посвященной шестидесятилетию со дня Хаитского землетрясения 1949 года в Таджикистане. – Душанбе, 2009. – С. 171–175.

32. Ходжибоев О.А. Влияние параметров анизотропии на нормальные перемещения вокруг незакрепленной выработки [Текст] / Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. // Материалы республиканской научно-практической конференции, посвященной «Году образования и технической культуры» и 50-летию кафедры «Водоснабжение и водоотведение». – Душанбе, 2010. – С. 97–102.

33. Ходжибоев О.А. Концентрация напряжений вокруг незакрепленного отверстия в полуплоскости [Текст] / Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. // Материалы республиканской научно-практической конференции, посвященной «Году образования и технической культуры» и 50-летию кафедры «Водоснабжение и водоотведение». – Душанбе, 2010. – С. 103–109.

34. Ходжибоев О.А. Концентрация напряжений вокруг открытых выработок с учетом анизотропии [Текст] / Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. // Материалы республиканской научно-практической конференции, посвященной «Году образования и технической культуры» и 50-летию кафедры «Водоснабжение и водоотведение». – Душанбе, 2010. – С. 109–117.

35. Ходжибоев О.А. Учет трещиноватости горных пород при определении напряжённо-деформированного состояния вокруг выработки [Текст] / Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. // Материалы республиканской научно-практической конференции, посвященной «Году образования и технической культуры» и 50-летию кафедры «Водоснабжение и водоотведение». – Душанбе, 2010. С. 117–127.

36. Ходжибоев О.А. Система разрешающих уравнений метода граничных уравнений для задачи взаимодействия конечного тела с полуплоскостью [Текст] / Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. // Материалы IV международной научно-практической конференции «Перспективы развития науки и образования». – Душанбе, 2010. – С. 82–86.

37. Ходжибоев О.А. Определение напряжённо-деформированного состояния контура отверстия в анизотропной пластине методом граничных уравнений [Текст] / Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. // Материалы XVII Московской международной межвузовской научно-технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых учёных. – Москва, 2013. – С. 135–137.

38. Ходжибоев О.А. Алгоритм численного решения пространственной внешней задачи теории упругости методом граничных элементов [Текст] / Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. // Материалы международной научно-практической конференции «Современные тенденции в архитектуре, строительстве и образовании в Республике Таджикистан». – Душанбе, 2014. – С. 345–349.

39. Ходжибоев О.А. Исследование напряжённо-деформированного состояния пластин методом граничных уравнений [Текст] / Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. // Материалы республиканской научно-практической конференции. – Худжанд, 2015. – С. 117–120.

40. Ходжибоев О.А. Моделирование динамического поведения земляной плотины от действия бегущей волны [Текст] / Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. // Материалы VIII Международной научно-практической

конференции “Перспективы развития науки и образования в XXI веке”. – Душанбе, 2016. – С. 238–241.

41. Ходжибоев О.А. Метод граничных уравнений в решении динамических задач строительной механики [Текст] / Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. // Материалы VIII Международной научно-практической конференции “Перспективы развития науки и образования в XXI веке”. – Душанбе, 2016. – С. 304–307.

42. Ходжибоев О.А. Использование кубической аппроксимации граничных параметров в исследовании концентрации напряжений плоской задачи теории упругости [Текст] / Ходжибоев О.А., Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А. // Материалы Международной научно-практической конференции “Вода-важный фактор для устойчивого развития” посвящённой международному десятилетию действия «Вода для устойчивого развития, 2018-2028». – Душанбе, 2018. – С. 326–330.

43. Ходжибоев О.А. Численное моделирование напряжённо-деформированного состояния балок-стенок методом граничных уравнений [Текст] / Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. // Материалы Международной научно-практической конференции «Опыт, проблемы и перспективы повышения качества строительных работ на основе лучших отечественных и зарубежных практик». – Душанбе, 2018. – С. 129–133.

44. Ходжибоев О.А. Численное моделирование напряжённо-деформированного состояния двумерных задач методом граничных уравнений [Текст] / Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. // Материалы Международной научно-практической конференции «Опыт, проблемы и перспективы повышения качества строительных работ на основе лучших отечественных и зарубежных практик». – Душанбе, 2018. – С. 133–137.

45. Ходжибоев О.А. Численное моделирование концентрации напряжений в многосвязной системе методом граничных уравнений [Текст] / Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. // Материалы Международной научно-практической конференции «Опыт, проблемы и перспективы повышения качества строительных работ на основе лучших отечественных и зарубежных практик». – Душанбе, 2018. – С. 253–157.

Патентҳо ва дигарон

46. Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. Программа численного решения на ЭВМ задачи концентрации напряжений в подземных сооружениях с подкреплениями // Министерство экономического развития и торговли Республики Таджикистан. Государственное учреждение Национальный патентно-информационный центр. Свидетельство о государственной регистрации информационного ресурса. № государственной регистрации №1671200240.

47. Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. Программа численного решения на ЭВМ статической задачи плотины на основе неоднородной модели с учётом податливости основания // Министерство экономического развития и торговли Республики Таджикистан. Государственное учреждение Национальный патентно-информационный центр. Свидетельство о государственной регистрации информационного ресурса. № государственной регистрации №1671200241.

48. Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. Программа численного решения на ЭВМ задачи концентрации напряжений в подземных сооружениях с учётом анизотропии массива горных пород // Министерство экономического развития и торговли Республики Таджикистан. Государственное учреждение

Национальный патентно-информационный центр. Свидетельство о государственной регистрации информационного ресурса. № государственной регистрации №1671200242.

49. Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. Программа численного моделирования на ЭВМ двумерных динамических задач теории упругости // Министерство экономического развития и торговли Республики Таджикистан. Государственное учреждение Национальный патентно-информационный центр. Свидетельство о государственной регистрации информационного ресурса. № государственной регистрации №1671200243.

ШАРҲИ МУХТАСАР

ба диссертатсияи Ҳоҷ ибобев Орифҷ он Абдуазизович дар мавзӯи «Таҳқиқоти концентратсияи шиддатҳо дар масъалаи дученакаи назарияи чандирӣ бо методи муодилаҳои канорӣ», барои дарёфти дараҷаи илмӣ номзади илмҳои техникӣ бо ихтисоси 05.23.17 – Механикаи сохтмонӣ

Калидвожаҳо: методи муодилаҳои канорӣ, ҳалли ададӣ, ҳалли аналитикӣ, моделкунонии ададӣ, аппроксиматсия, масъалаи дученака, концентратсияи шиддатҳо, нуқтаи кунҷӣ.

Объекти таҳқиқотӣ: масъалаҳои дученакаи назарияи чандирӣ; соҳаҳои якбанд ва бисёрбанд; болор-деворҳо бе сӯроҳӣ бо шартҳои канории гуногун; пластинаҳо бо тарҳҳои гуногун; иншооти бо нимфазои чандирии таъсири байниҳамдигарӣ дошта.

Мақсади таҳқиқот: рушди методи муодилаҳои канорӣ барои ҳалли масъалаҳои статикӣ ва динамикии дученакаи назарияи чандирӣ.

Усулҳои таҳқиқот: гузаронидани таҷрибаҳои ададӣ дар асоси методи муодилаҳои интегралӣ канорӣ бо мақсади таҳлили ҳолати шиддатҳои кунҷӣ дар масъалаҳои дученакаи назарияи чандирӣ.

Натиҷаҳои бадастомада ва нағониҳои онҳо: модели математикӣ, алгоритм ва барномаи компютери ҳисоби концентратсияи шиддатҳо барои соҳаҳои якбанд ва бисёрбанд аз таъсиротҳои статикӣ ва динамикӣ коркард карда шудаанд; усули табдилдиҳии ададии муодилаҳои дифференсиалӣ пешниҳод шудааст ва муодилаҳои канории масъалаҳои динамикӣ ҳосил карда шудааст; натиҷаҳои нав оиди лаппиши пластинаҳо дар ҳолати деформатсияи ҳамвор бо назардошти нармии асоси чандир ҳал карда шудааст; маҷмӯаи муодилаҳои канорӣ ва дар асоси онҳо методикаи ҳисоби ҳамвории беохир бо сӯроҳии қач хатта ҳангоми таъсири қувва дар беохир ба даст оварда шудааст.

Аҳамияти амалии таҳқиқот: алгоритмҳо ва барномаҳои компютери коркард кардашуда барои ҳисоби масъалаҳои ҳархелаи дученака истифода бурда шуда метавонанд. Алгоритмҳо ва методҳои пешниҳодшудаи ҳалли масъалаҳои дученакаи назарияи чандирӣ имконият медиҳанд, таъсири байниҳамдигарии конструксияро бо нимфазои чандир таҳқиқот карда шавад.

Мақони истифодабарӣ: дар пажӯҳишҳои лоиҳакашӣ ва илмӣ-тадқиқотӣ ҳангоми лоиҳакашӣ ва ҳисоби сарбандҳо, болор-деворҳо, диафрагмаҳои сохтӣ, деворҳо ва дигар конструксияҳои ҳамвори биноҳо ва иншоот. Натиҷаҳои назариявӣ ва амалии диссертатсия дар ҷараёни таълими магистратураи АИ ҶТ ва ДТТ ба номи академик М.С.Осимии Вазорати маориф ва илми ҶТ, инчунин дар таҷрибаи тадқиқот ва лоиҳакашии ҳақиқии КВД «Институти илмӣ-тадқиқотии сохтмон ва меъморӣ»-и Кумитаи меъморӣ ва сохтмони назди Ҳукумати Ҷумҳурии Тоҷикистон татбиқ карда шудааст.

РЕЗЮМЕ

диссертации Ходжибоева Орифджона Абдуазизовича на тему «Исследование концентрации напряжений плоской задачи теории упругости методом граничных уравнений», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.17 – Строительная механика

Ключевые слова: метод граничных уравнений, численное решение, аналитическое решение, численное моделирование, аппроксимация, двумерная задача, концентрация напряжений, угловая точка.

Объект исследования: двумерные задачи теории упругости; односвязная и многосвязная области; балки-стенки с отверстием и без отверстия с различными граничными условиями; пластины с различными очертаниями контура; сооружение, взаимодействующее с упругой полуплоскостью.

Цель исследования: развитие метода граничных уравнений для решения статических и динамических двумерных задач теории упругости.

Методы исследования: проведение численных экспериментов на основе метода граничных интегральных уравнений с целью анализа напряженно-деформированного состояния в угловых зонах двумерных задач теории упругости.

Достигнутые результаты и их новизна: разработаны математическая модель, алгоритм и компьютерная программа расчёта концентрации напряжений односвязных и многосвязных пластин на статические и динамические воздействия; предложен способ численного преобразования дифференциальных уравнений и получены граничные уравнения динамической задачи; получены новые результаты о колебаниях пластины в условиях плоской деформации с учетом податливости упругого основания; получена система граничных уравнений и разработана методика расчета бесконечной плоскости с криволинейным отверстием при действии нагрузки на бесконечности.

Практическое значение исследования: разработанные алгоритмы и компьютерные программы могут быть использованы для расчета различных двумерных задач. Предлагаемые алгоритмы и методы решения плоской задачи теории упругости позволяют исследовать статические и динамические взаимодействия конструкций с упругим полупространством.

Место использования: в проектных и научно-исследовательских институтах при проектировании и расчете плотин, балок-стенок, диафрагм жесткости, стен и других плоских конструкций зданий и сооружений. Теоретические и прикладные результаты диссертации внедрены в учебный процесс магистратуры АН РТ и Таджикского технического университета имени академика М.С.Осими Министерства образования и науки РТ, а также в практику исследования и реального проектирования ГУП НИИСА Комитета по строительству и архитектуре при Правительстве РТ.

RESUME

for Hojiboev Orifjon Abduazizovich's dissertation on the subject "Research of stress concentration of flat problem by method of boundary equations" for obtaining the scientific degree of candidate of technical sciences on specialty 05.23.17 – structural mechanics

Keywords: boundary equations method, numerical solution, analytic solution, numerical modeling, approximation, two-dimensional problem, stress concentration, corner point.

Object of the research: two-dimensional problem of theory of elasticity; simply and multiply connected regions; wall-beam with and without holes with different boundary conditions; plates with different forms of contour; structure interacting with an elastic half-plane.

Purpose of research: developing of boundary equations method for solution of static and dynamic two-dimensional problem of elasticity theory.

Research methods: carrying out of numerical experiments based on boundary equations method for the purpose of analysis of mode of deformation in the corner zone of two-dimensional problem of elasticity theory.

Obtained results and their novelty: mathematical model, algorithm and computer program for solution of stress concentration of simply and multiply connected plates under static and dynamic loads are developed; mode of numerical transformation of differential equations is suggested and boundary equations for dynamic problem is obtained; new results about plates vibration's in plane deformation conditions with taking into account of flexibility of elastic foundation are obtained; boundary equations system is obtained and solution methodology of infinite plane with curvilinear hole under infinite load is developed.

Practical importance of the research: developed algorithms and computer programs can be used for solution of different two-dimensional problems. Suggested algorithms and solution methodology of flat problem of elasticity theory allows to research static and dynamic interaction of constructions with an elastic half-space.

Place of use: in Design Institutes and Research Institutes for design and solution of dams, wall-beams, stiffening diaphragms, walls and other flat constructions of buildings and structures. Theoretical and applied results of dissertation is introduced to the teaching process of magistracy of Academy of sciences of Republic of Tajikistan and Tajik Technical University named after academician M.S.Osimi of Ministry of Education and Sciences of the Republic of Tajikistan, as well as research practice and real designing of State Unitary Enterprise "Research Institute of Building and Architecture" of Committee of Building and Architecture under Government of the Republic of Tajikistan.

Сдано в печать 08.01.2018г.. Бумага офсетная.
Формат 60x84 1/16. Гарнитура литературная.
Печать офсетная. Тираж _____ экз.

Отпечатано в типографии «ГТУ».