

МИНИСТЕРСТВО ПРОСВЕЩЕНИЯ УКРАИНЫ  
Киевский ордена Трудового Красного Знамени  
инженерно-строительный институт

На правах рукописи

ХОЛМУРЗАЕВ Абдирасул Абдулахатович

**ФОРМООБРАЗОВАНИЕ И ОПТИМАЛЬНОЕ  
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОБОЛОЧЕК  
НА ЖЕСТКОПЛАСТИЧЕСКОМ ОСНОВАНИИ**

Специальности:

05.01.01 — Прикладная геометрия и инженерная графика

05.17.23 — Строительная механика

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Киев — 1992



00820213 (G)

Работа выполнена в Киевском ордена Трудового Красного Знамени инженерно-строительном институте.

Научные руководители: заслуженный деятель науки Украины, доктор технических наук, профессор Михайленко В. Е.; доктор технических наук, профессор Дехтярь А. С.

Официальные оппоненты: заслуженный работник высшей школы Украины, доктор технических наук, профессор Павлов А. В.; кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Козак А. Л.

Ведущая организация: Киевский научно-исследовательский институт строительных конструкций (НИИСК) Министерства инвестиций и строительства Украины.

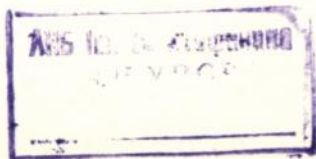
Защита состоится «21» октября 1992 г. в 13 часов на заседании специализированного совета Д 068.05.03 в Киевском ордена Трудового Красного Знамени инженерно-строительном институте по адресу: 252037, Киев-37, Воздухофлотский проспект, 31, аудитория 319

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Киевского ордена Трудового Красного Знамени инженерно-строительного института.

Автореферат разослан «18» сентября 1992 г.

Ученый секретарь специализированного совета  
кандидат технических наук, доцент

ПЛОСКИЙ В. А.



## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. К настоящему времени достаточно хорошо изучена эффективность разнообразных форм пространственных конструкций и применение их в строительстве, в частности, оболочек-покрытий. Несмотря на это, ограниченное использование оболочек в качестве фундаментов строительных конструкций объясняется недостаточностью научных исследований в области расчета и проектирования фундаментов-оболочек.

Обычно предполагается, что нагрузка, действующая на фундамент для осесимметричных конструкций, будет также осесимметричной. Однако применение в расчетных схемах только осесимметричной формы нагружения не охватывает всего разнообразия проектных ситуаций. Существует ряд внешних и внутренних факторов, приводящих к нарушению осевой симметрии, к появлению неравномерных напряжений в фундаменте и основании. К ним относятся боковое действие ветра на сооружение (вытянутая "роза ветров"), особенности расположения технологического оборудования, несовершенства геометрической формы конструкции и фундамента.

В научной литературе практически отсутствуют исследования, посвященные определению несущей способности оболочечных систем, используемых в качестве фундаментов и нагруженных несимметричной нагрузкой. С научной и практической точки зрения является актуальным определение зависимости несущей способности оболочки от эксцентриситета нагружения и в связи с этим разработка алгоритмов расчета несущей способности, а также геометрического моделирования срединных поверхностей оболочек, учитывающих характер нагружения.

Для исследования оболочек при несимметричном нагружении необходимо разработать геометрический аппарат, позволяющий конструировать искомые поверхности, алгоритм получения которых был бы связан с механическими характеристиками или характером нагружения. Это позволило бы определить область рационального поиска требуемой поверхности. Анализ существующих методов формообразования поверхностей оболочек предлагает в качестве основы конструирования поверхностей фундаментов-оболочек использовать двухкомпонентную инвариантную конструктивную модель геометрических преоб-

разований, предложенную В.А. Плюским. Применение модели для формирования поверхностей раздела сред различной плотности, при конструировании поверхности электрического поля ЛЭП, при конструировании сборных модульных оболочек показывает, что она позволяет геометрически интерпретировать физический смысл влияния формообразующих факторов на очертание поверхности. Полученное решение можно принять как результат предварительного поиска рациональной формы перед уточнением ее другими методами.

Теория предельного равновесия позволяет достаточно точно оценить несущую способность конструкции и дает возможность перейти от однопараметрических расчетов определения несущей способности к решению оптимизационных задач.

Цель работы - расширение номенклатуры форм пространственных конструкций, используемых в качестве фундаментов с учетом их совместной работы с основанием при осесимметричном и несимметричном нагружении.

Для достижения указанной цели в работе поставлены и решены следующие задачи:

-разработать геометрический и аналитический аппарат моделирования срединных поверхностей оболочек, основанный на задании формы, положения и характера нагружения с применением двухкомпонентной инвариантной конструктивной модели геометрических преобразований;

-создать библиотеку геометрических моделей для описания срединной поверхности эскизного проекта фундамента-оболочки;

-развить кинематический метод теории предельного равновесия путем разработки алгоритма определения несущей способности оболочек, используемых в качестве фундаментов при несимметричном нагружении;

-исследовать зависимость формы и несущей способности оболочек от характеристики жесткопластического основания;

-создать программное обеспечение, реализующее предложенный алгоритм конструирования поверхностей фундаментов-оболочек и оценки их несущей способности;

-сформулировать и решить задачу оптимального проектирования фундаментов-оболочек;

-внедрить результаты исследований в практику проектирования.

Методика исследований. Решение представленных задач осуществляется на основе методов аналитической, дифференциальной и вычислительной геометрии, математического анализа, численных методов, теории поверхностей, дискретного моделирования поверхностей на ЭЕМ, исследований несущей способности и оптимального проектирования.

Теоретической базой для настоящих исследований послужили работы вадущих ученых:

в области геометрического моделирования поверхностей архитектурных и технических форм: Э.И.Бадаева, Г.С.Иванова, С.Н.Ковалева, И.И.Котова, В.Е.Михайленко, В.М.Найдыша, А.В.Павлова, В.С.Обуховой, В.А.Плюского, А.Л.Подгорного, В.С.Полозова, Н.Н.Рыжова, К.А.Сазонова, Н.И.Седлецкой, И.А.Скидана, В.И.Якунина и их учеников;

по вопросам аналитической и дифференциальной геометрии, математического анализа, линейной алгебры, численных методов, теории параметризации: П.С.Александрова, М.Я.Выгодского, Н.В.Ефимова, П.С.Моденова, Г.Монжа, А.В.Погорелова, Д.Роджерса, А.Фокса, М.Прэтта и других;

в области автоматизации проектирования и машинной графики, программного обеспечения ЭЕМ: Л.Н.Авдотьина, В.М.Баяковского, А.А.Ляшенко, Д.Мак-Кракена, В.Е.Михайленко, У.Ньюмена, В.С.Полозова, Ф.Препараты, Д.Роджерса, К.А.Сазонова и других;

в области исследования несущей способности и оптимального проектирования архитектурных оболочек: Т.Ж.Акбердина, В.Д.Аткнсона, Н.В.Ахмедияни, Ж.Б.Байнатов, Б.Н.Бастатского, Н.Н.Безуховой, А.А.Гвоздева, Р.Ф.Габбасова, А.С.Дехтяря, М.И.Ерхова, Д.А.Инцирвели, В.И.Климанова, С.А.Каланты, М.Б.Краковского, Я.А.Леллепа, Д.Р.Лепика, А.Г.Литвиненко, В.Е.Михайленко, И.Е.Милейковского, А.О.Рассказова, В.Н.Работнова, А.Р.Ржаницына, М.М.Сабалакова, Н.Н.Скиднева, А.А.Чираса, В.В.Шугаева, А.Н.Тетиора и других.

Достоверность. Полученное решение неосесимметричной задачи о несущей способности круглых в плане оболочек на жесткопластическом основании позволяет как частный случай рассмотреть осесимметричную задачу при опирании оболочки по контуру. Такие задачи были решены как контрольные. Оценки несущей способности совпали с известными ранее результатами, что подтвердило достоверность

методики расчета и реализующей ее программы.

Научную новизну работы составляют:

1. Геометрический аппарат и на его основе способ формирования срединных поверхностей оболочек, имеющих круглый в плане опорный контур и предназначенных для использования в качестве фундаментов под нагрузку заданного вида, положения и распределения на участке нагружения.
2. Библиотека геометрических моделей для описания эскизного проекта поверхности фундамента-оболочки;
3. Способ определения несущей способности оболочек, взаимодействующих с жесткопластическим основанием при несимметричном нагружении.

Практическую ценность работы составляет разработанное математическое, алгоритмическое и программное обеспечение процесса конструирования срединных поверхностей оболочек в интерактивном режиме, а также их предельного анализа на жесткопластическом основании при осесимметричном и несимметричном нагружении. Предложенный программный комплекс в отличие от традиционных методов проектирования позволяет осуществлять расчет несущей способности оболочки и обеспечивает этап эскизного проектирования. Он ускоряет процесс проектирования за счет применения эффективного геометрического аппарата. Кроме этого он позволяет конструировать множество рациональных поверхностей и обеспечивает требуемые прочностные характеристики.

На защиту выносятся положения, представляющие научную новизну, программное обеспечение процесса конструирования и оптимального проектирования пространственных конструкций, имеющих замкнутый опорный контур и взаимодействующих с основанием.

Реализация работы: Результаты исследований внедрены в Киевском зональном научно-исследовательском и проектном институте типового и экспериментального проектирования (КиевЗНИИ-П) при проектировании фундаментов на вечноммерзлых грунтах.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы доложены на II научно-технической конференции "Вопросы надежности и оптимизации строительных конструкций и машин" (Севастополь, 2-7 сентября 1992 г.), на 51, 52, 53 - научно-практических конференциях КИСИ (г.Киев, 1990-1992 г.г.), на научных семинарах кафедры

начертательной геометрии, инженерной и машинной графики КИСИ (г. Киев, 1990-1992 г.г.).

Структура и объем работы. Диссертация состоит из 3 глав, заключения, списка использованной литературы из 124 наименований, приложения и содержит 132 страниц машинописного текста, 42 рисунка, 11 таблиц.

## СО Д Е Р Ж А Н И Е   Р А Б О Т Ы

Во введении обоснована актуальность исследований, выполнен критический анализ имеющейся литературы и достижений в рассматриваемой области.

Первая глава посвящена вопросам геометрического моделирования поверхностей оболочек с использованием методов геометрических преобразований.

Геометрический аппарат, сконструированный на основе двухкомпонентной модели, представляет собой разложение преобразования на две составляющие. Предполагается, что множество отрезков, соединяющих соответственные точки преобраза и образа, описывается посредством двух функций. Функция единичного вектора  $\bar{e}$

$$\bar{e}_1 = \bar{e}_1(x_1, x_2, x_3) \quad (1)$$

определяет направление перемещения, причем подразумевается, что

$$\bar{e} = \sum_{i=1}^3 \bar{e}_i^2 = 1,$$

и функция  $\Delta$

$$\Delta_i = \Delta_i(x_1, x_2, x_3) \quad (2)$$

определяет длину вектора перемещения.

Следовательно, преобразование, заданное оператором  $\{a, \Delta\}$  в декартовых координатах, представляется в виде

$$\bar{x}_1 = x_1 + \Delta_1(x_1, x_2, x_3) \cdot \bar{e}_1(x_1, x_2, x_3), \quad (3)$$

где  $\bar{x}_1$ ;  $x_1$ ,  $x_2$ ;  $x_3$  - координаты образа и преобраза соответственно.

Конструирование преобразований с использованием двухкомпонентной модели позволяет подходить к формообразованию поверхностей и кривых с учетом прогнозирования их свойств, по возможности

описывать процесс воздействия формообразующих факторов, деформирующих прообраз. Подразумевается возможность приятия аппарату геометрических преобразований некоторых свойств методов формообразования, учитывающих физический смысл процесса получения рациональных форм. Получение точных аналитических зависимостей, описывающих процесс деформирования, связано со значительными трудностями даже в простейших случаях, однако в некоторых случаях точность решения оказывается достаточной или такое конструирование может рассматриваться как предварительный этап поиска рациональной формы перед уточнением ее другими методами.

Конструирование аппарата формообразования на основе данной модели сводится к построению непосредственно компонент  $\Delta$  и  $\bar{e}$ , т.е. определению их функций, учитывающих свойства образа, прообраза, характер воздействия на него формообразующих факторов.

На основании различий геометрического смысла и назначения множеств  $\bar{e}$  и  $\Delta$  в конструировании аппарата выделены требования и особенности, возникающие при использовании  $\Delta$ -модели применительно к формообразованию поверхностей фундаментов-оболочек, определены набор компонент оператора преобразования и набор прообразов, удовлетворяющих в достаточной мере рассматриваемый класс объектов.

Компонента  $\bar{e}$ :

1. Направление преобразования каждой точки прообраза определяет компонента  $\bar{e}$ , которая, в свою очередь, зависит от вида носителя. Поскольку основная задача - определение конструктивного решения с учетом задания вида, положения и характера нагружения, целесообразно, чтобы была установлена взаимосвязь между параметрами носителя и параметрами поля нагружения.

2. Функциональная организация  $\bar{e}$  - множества принимается на основании анализа формы прообраза, характера воздействия на него формообразующих факторов и требуемых свойств образа (выпуклость, симметричность или несимметричность, вид опирания, характер нагрузки и т.п.).

3. Реализуемость сконструированного аппарата определяется использованием таких компонент, которые интерпретировали бы в модели известные геометрические преобразования. Например, очевидна простота управления формой поверхности путем изменения положе-

нии центра связи в любом из центральных преобразований.

Компонента  $\Delta$ :

1. Компонента  $\Delta$  должна учитывать степень деформирования прообраза в направлениях, определенных функцией  $\bar{\theta}$ , а также обеспечить прохождение образа через фиксированные элементы пространства, смещение максимума поверхности на отсеке.

2. В качестве элементарных компонент принимаются простейшие функции, которые отражают характер нагрузки.

3. Управляющие параметры  $p_1, p_2, \dots, p_n$  вводятся в  $\Delta$  компоненту целенаправленно. Каждый из параметров влияет на определенные свойства образа, дает возможность варьировать форму с учетом специфики задачи.

Перечисленные принципы задания  $\bar{\theta}$  и  $\Delta$  - компонент используются в изыскании аппаратов для формирования поверхностей оболочек, несущих нагрузку заданного вида.

Одним из признаков, существенно влияющих на форму поверхности фундаментов-оболочек, является вид, положение и характер нагрузки.

Пусть на координатной плоскости  $Oxz$  задан некоторый отрезок  $AB$  (рис. 1). На него действует нагрузка, задаваемая прямой  $CD$ . Последняя характеризуется положением центра (точки  $F$ ) с эксцентриситетом  $B$ , длиной  $2r$  и высотой  $H$ . Проведем прямую  $m$  через точки  $A$  и  $D$  и прямую  $l$  через точки  $B$  и  $C$ , найдем точку их пересечения в точке  $S(x_s, z_s)$ . Далее, принимая точку  $S$  за центр пучка прямых, сконструируем функцию компоненты  $\bar{\theta}$ , которая имеет следующий вид

$$\begin{aligned} e_x &= (x - x_s) [(x - x_s)^2 + (z - z_s)^2]^{-\frac{1}{2}}; \\ e_z &= (z - z_s) [(x - x_s)^2 + (z - z_s)^2]^{-\frac{1}{2}}. \end{aligned} \quad (4)$$

Здесь значения  $e_x$  и  $e_z$  определяют величины направляющих косинусов единичного вектора перемещения.

Компоненту  $\Delta$  организуем таким образом, чтобы она обеспечивала прохождение образа через опорные точки прообраза (точки  $A$  и  $B$ ). Отметим, что функциями  $\Delta$  - компонент могут быть уравнения отсеков параболы, гиперболы, окружности и эллипса.

Представленный аппарат позволяет преобразовать заданную прямую АВ в некоторую кривую  $\alpha$ , форма которой зависит от задания параметров СД. Их варьированием получим семейство кривых  $\alpha$ . При  $\delta \neq 0$  найденная кривая не является симметричной относительно оси ОZ и характеризуется смещением максимума в сторону расположения прямой СД. Такое преобразование может рассматриваться как поиск рациональной срединной поверхности арки при задании участка нагружения с эксцентриситетом  $\delta$  и длиной  $2r$ . Параметр  $M$  является свободным параметром.

Пространственное представление геометрического аппарата, формирующего поверхность оболочки с опорным контуром в виде окружности, при задании области нагружения в форме круга с эксцентриситетом  $\delta$ , шириной  $2r$  и высотой  $M$  показано на рис. 2.

В таблицах 1 и 2 представлен набор компонент с указанием функций и целесообразной сферы применения каждой из них.

Во второй главе исследована несущая способность фундаментов-оболочек при несимметричном нагружении. Для учета совместной работы фундаментов-оболочек с основанием принята модель жестко-пластического основания.

Кинематический метод теории предельного равновесия, используемый в настоящей работе как метод исследования несущей способности, исходит из понятия о сплошном течении материала и предполагает принятие некоторых форм разрушения, которые, в свою очередь, должны быть кинематически допустимыми. Удачный выбор формы разрушения составляет основную трудность применения метода. Если форма разрушения выбрана неудачно, оценка несущей способности может оказаться существенно завышенной.

Предложена методика определения верхней границы несущей способности оболочек, имеющих осесимметричную форму опорного контура в плане при несимметричном нагружении на основе модификации кинематического метода теории предельного равновесия, основанной на представлении о пластических шарнирах. На примере фундамента-оболочки (рис. 3) со срединной поверхностью в виде усеченной пирамиды с квадратным в плане опорным контуром, опирающейся по всей внутренней поверхности на грунтовое основание при несимметричном сосредоточенном нагружении проведено исследование данной методики. Это дало возможность определить зависимость несущей способ-



Таблица 1.

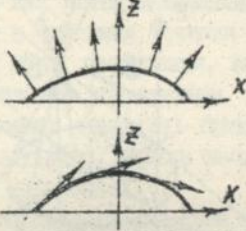
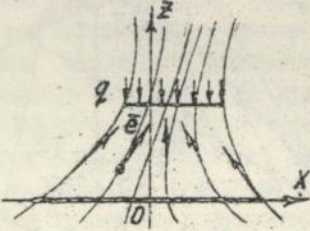
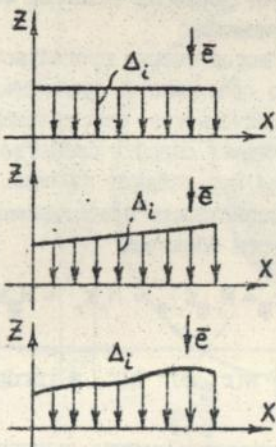
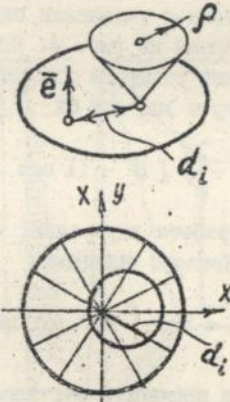
№ П/ П	Вид множества	Схема	Функции
1.	На пучке (связке) пря- мых с несо- бственным цен- тром		Все виды сдви- гов, начальное определение формы
2.	На пучке (связке) пря- мых с собст- венным цен- тром		Центральное преобразование всех групп, управление формой путем управления положением <sup>M</sup> цен- тра связки
3.	Пучок (кон- груэнтния) ка- сательных или нормалей к прообразу		Приближенный учет направле- ния деформи- рования прообра- за при воздей- ствии на него
4.	На пучке (кон- груэнтния) ка- сательных или нормалей к кривой второ- го порядка		Описание век- торного поля, сложные виды деформирования прообраза

Таблица 2.

№ П/п	Аналог	Схема	Функции
1.	<p>Характер задаваемой нагрузки:</p> <p>а) равномерная</p> <p>б) линейно изменяющаяся по одной из осей</p> <p>в) нелинейно изменяющаяся по одной из осей</p>		<p>Возрастание (убывание) перемещения или выпуклости образа, приближенный учет переменной толщины</p>
2.	<p>Ориентированное отклоненные точки прообраза от фиксированных элементов (точки, линии) фиксирование длины участка меридиана (мгновенная длина)</p>		<p>Фиксирование элементов в преобразовании (заданные опорного контура, перемещение максимума поверхности в отсеке)</p>

ности фундамента-оболочки от значения эксцентриситета нагружения, определить существенную роль грунтового основания в увеличении несущей способности конструкции. Основным недостатком данной методики заключается в том, что изменение уравнения срединной поверхности оболочки требует перемены основных соотношений, что затрудняет процесс автоматизации.

Кинематический метод теории предельного равновесия в классической постановке по сравнению с предыдущим методом обладает рядом преимуществ. Возможность использования различных условий пластичности, позволяющих описать свойства материала, возможность независимого описания перемещений во всех трех направлениях пространства, а также возможность представления функционала вычисления несущей способности оболочек

$$Q = \frac{\int (N_r \varepsilon_r + N_\varphi \varepsilon_\varphi + N_{r\varphi} \varepsilon_{r\varphi} + M_r \kappa_r + M_\varphi \kappa_\varphi + M_{r\varphi} \kappa_{r\varphi}) r dr d\varphi}{\int W(r, \varphi) \cdot \eta(r, \varphi) r dr d\varphi} \quad (5)$$

в дискретном виде позволили решить основную задачу, поставленную в работе, путем использования средств вычислительной техники.

Предложена новая несимметричная форма разрушения оболочки, имеющей осесимметричный опорный контур, при несимметричной нагрузке. Расчетная схема с указанием параметров поля нагружения и поля разрушения показана на рис. 4. Последнее представляет собой параболический сегмент радиусом основания  $\beta$  со смещением последним центра (параметр  $v$ ) по оси  $Ox$

$$W_{1j} = \frac{1}{\beta^2} \left[ \beta^2 - \left( i \cdot \cos \frac{\pi \cdot j}{n_2} - v \right)^2 \right]. \quad (6)$$

К виртуальной работе внутренних сил оболочки (5) добавлена работа жесткопластического основания

$$Q = \mu \cdot \sigma \int W(r, \varphi) \cdot \eta(r, \varphi) r dr d\varphi, \quad (7)$$

где  $\mu$  — коэффициент прочности жесткопластического основания;  $\sigma$  — предел текучести материала оболочки. Это дало возможность опреде-

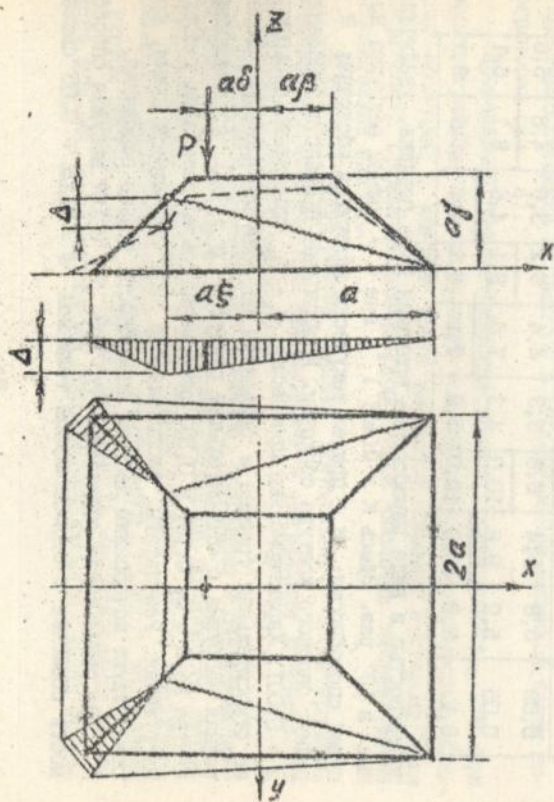


Рис. 3

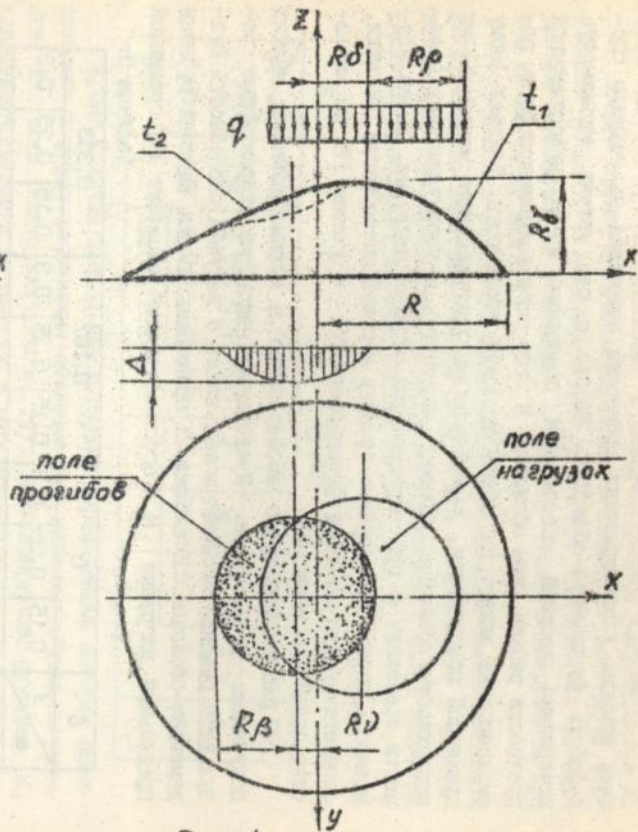


Рис. 4

лечь влияние характеристики прочности основания на несущую способность фундамента-оболочки. Вместе с тем учтена возможность исчерпания несущей способности основания из-за недостаточной прочности раньше, чем оболочки. В этом случае параметры формы поверхности не влияют на оценку несущей способности. Задавая форму срединной поверхности, характеристики распределения материала на поверхности оболочки, толщину, пологость и характеристику прочности основания  $\mu$  при определенном задании нагрузки, имеем возможность определить верхнюю границу несущей способности оболочки, соответствующую минимуму функционала (5) с учетом (7) на множестве полей прогибов (6).

В работе проведено исследование и параметрический анализ полученных результатов. Представим некоторые характерные результаты решений несимметричных задач о несущей способности фундаментов-оболочек. В таблице 3 приведены оценки верхней границей предельной нагрузки  $K$  осесимметричной оболочки со срединной

Таблица 3.

$\delta$	0			0,167			0,333		
	$\gamma$	0,15	0,25	0,3	0,15	0,25	0,3	0,15	0,25
0,02	3,8	5,4	6,3	3,3	4,4	5,2	3,6	4,8	5,6
0,05	5,2	8,6	10,0	4,3	7,0	8,1	4,6	6,1	6,1
0,1	7,2	10,0	10,0	5,9	8,1	8,1	6,1	6,1	6,1

поверхностью в виде параболоида вращения 2-го порядка, увеличенные в  $10^4$  раз. Здесь  $K = Q(\mu R^2)^{-1}$ , где  $Q$  - полная величина несущей способности;  $\sigma$  - предел текучести материала оболочки;  $R$  - радиус опорного контура оболочки. Коэффициент прочности основания  $\mu = 0,001$ . Характеристики прочности  $\alpha_1 + \alpha_0$  собственно оболочки, ее относительная толщина  $\epsilon$  одинаковы по всей поверхности. Поперечная нагрузка с относительным радиусом  $\rho = 0,5$ , со смещением центра на  $\delta = 0; 0,167$  и  $0,333$  равномерно распределена на участке нагружения. Результаты, расположенные ниже полужирной линии, соответствуют исчерпанию несущей способности только основания.

По результатам определим, что при  $\delta = 0,167$  несущая способность оболочки с относительной толщиной  $\epsilon = 0,02 > 0,05$  снижа-

ется на 22 %, по сравнению с осесимметричной нагрузкой  $\delta = 0$ .

Вторую группу результатов, представленных в таблице 4, составляют оболочки с несимметричной срединной поверхностью со смещением максимума на  $x = 0,167$  в сторону участка нагружения при тех же исходных данных.

Из анализа результатов следует, что влияние внецентренности нагружения несимметричной оболочки не так заметно, как у осесимметричной: смещение центра площади нагружения  $\delta = 0,167$  понижает несущую способность только в  $6 + 10\%$ .

Таблица 4.

$\delta$	0			0,167			0,333		
	$\bar{r}$	0,15	0,25	0,3	0,15	0,25	0,3	0,15	0,25
0,02	3,8	4,7	5,3	3,2	4,1	4,6	3,8	5,3	6,1
0,05	4,6	6,9	8,50	4,0	6,4	8,0	5,1	6,1	6,1
0,1	6,1	10,0	10,0	5,5	8,1	8,1	6,1	6,1	6,1

Кроме величин предельной нагрузки определен интерес представляет и форма разрушения оболочек при несимметричном нагружении. Для всех полей прогибов  $W(r, \varphi)$ , минимизирующих функцию  $K$ , характерно смещение их центров в сторону менее выпуклой части поверхности (рис. 4).

Проведенный параметрический анализ подтверждает, что при несимметричном поле нагружения большей несущей способностью обладают оболочки, у которых точка максимума смещена в сторону поля нагружения. Срединная поверхность такой оболочки несимметрична относительно оси  $OZ$ .

В третьей главе решены задачи оптимального проектирования фундаментов-оболочек при несимметричном нагружении с учетом их совместной работы с основанием.

Необходимо при заданной величине, положении и очертании предельной нагрузки найти такую форму срединной поверхности фундамента-оболочки, подогнуть и постоянную толщину, чтобы обеспечить наименький расход материала либо минимальную стоимость возведения с учетом земляных работ. Определена область проектирования и целевая функция. В основу метода оптимального проектирования приня-

то сканирование переменных: пологости, толщины, параметров асимметрии поверхности, определяемых геометрическим аппаратом формообразования поверхностей оболочек.

Разработано программное обеспечение, реализующее выбранный алгоритм решения задачи оптимального проектирования фундаментов-оболочек.

Решена задача оптимального проектирования фундаментов-оболочек со срединной поверхностью в виде усеченной пирамиды с прямоугольным опорным контуром и найдены оптимальные проекты купольных фундаментов-оболочек с круглым опорным контуром при несимметричном нагружении.

В таблице 5 приведены наиболее характерные результаты оптимального проектирования пирамидальных фундаментов-оболочек, опирающихся на жесткопластическое основание с коэффициентом прочности  $\mu = 0,003; 0,005$  и  $0,01$ .

Таблица 5.

№	Заданная предельная нагрузка $K^*$	Оптимальные проекты оболочек				
		Целев. функ. $Z$	$e$	$\gamma$	размер верх. осн. $\beta$	фактическая несущая способность $K$
$\mu = 0,003$						
1	0,01	0,041	0,01	0,1	0,7	0,013
2	0,03	0,086	0,01	0,7	0,9	0,0316
$\mu = 0,005$						
3	0,01	0,040	0,01	0,1	0,2	0,0108
4	0,04	0,071	0,01	0,5	0,9	0,048
$\mu = 0,01$						
5	0,015	0,040	0,01	0,1	0,1	0,018
6	0,035	0,043	0,01	0,1	0,9	0,036

Сопоставление показателей целевой функции  $Z = 0,041 + 0,086$  проектов 1 и 2 подтверждает, что для увеличения несущей способности оболочки от 0,013 до 0,0316, т.е. почти в 3 раза требуется увеличение расхода материала лишь в 2,1 раза.

На увеличение уровня предельной нагрузки на оболочку математическая модель в первую очередь отвечает увеличением значения

стрелы подъема  $\gamma$ , затем - величины  $\beta$  и в последнюю очередь - толшины  $e$ . Приведена таблица результатов оптимального проектирования, позволяющая проводить параметрический анализ при различных уровнях задания предельной нагрузки.

В таблице 6 представлены наиболее характерные результаты оптимального проектирования купольных оболочек. Проекты 1 и 2

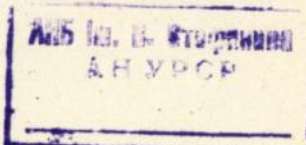
Таблица 6.

№	$K^*$	$\mu$	$K$ факт.	$e$	$\gamma$	$t_1$	$t_2$	Целевая функция $Z$
Осесимметричная нагрузка $\delta = 0, \rho = 0,5$								
1	5,0	0	5,379	0,02	0,35	0	0	1,399
2	5,0	0,001	5,349	0,01	0,35	0	0	0,689
Несимметричная нагрузка $\delta = 0,167, \rho = 0,5$								
3	5,0	0	5,601	0,02	0,45	0	0	1,628
4	5,0	0,001	5,543	0,01	0,45	0	0	0,967
5	5,0	0	5,057	0,02	0,45	0,3	0,1	1,339
6	5,0	0,001	5,147	0,01	0,45	0,3	-0,2	0,660

показывают результаты решения осесимметричной постановки задачи оптимального проектирования ( $\delta = 0, \rho = 0,5$ ). Параметр  $t_1$  характеризует выгнутость меридиана оболочки, находящегося в правой части, а  $t_2$  - в левой (рис. 4) при фронтальном сечении поверхности. Когда  $t_1$  и  $t_2$  имеют одинаковые ненулевые значения или когда оба равны нулю, поверхность является осесимметричной. Как видно из таблицы 6, результатом оптимального проектирования оказалась осесимметричная поверхность.

Проекты 3 и 4 определены для несимметричной задачи при параметрах нагружения  $\delta = 0,167$  и  $\rho = 0,5$ . Отметим, что условие задачи ограничивалось получением только осесимметричных поверхностей. Сравнения проектов 1, 2 и 3, 4 при одних и тех же условиях подтверждают, что проектирование осесимметричного фундамента под несимметричную нагрузку требует увеличения стоимости конструкции.

Проекты 5 и 6 являются оптимальными среди всех осесимметричных и несимметричных оболочек, при несимметричном нагружении ( $\delta = 0,167, \rho = 0,5$ ). Являясь несимметричными поверхностями ( $t_1 = 0,3$  и  $t_2 = -0,2$ ), эти оболочки менее материалоемки, чем осесимметрич-



ные оболочки.

В диссертационной работе приведены многочисленные примеры оптимального проектирования, проведен их параметрический анализ, представлены соответствующие таблицы и графики. Даны конкретные рекомендации по поводу проектирования фундаментов-оболочек с учетом их опирания на основание при различных размерах и полжении площади нагружения.

Анализ результатов, приведенных в работе, подтвердил, что

- при осесимметричном нагружении оптимальными оказываются осесимметричные поверхности оболочек;

- стоимость оптимальной конструкции существенно уменьшается, если вместо фундамента-оболочки с опиранием только по контуру проектировать конструкцию с опиранием по всей внутренней поверхности на грунтовое основание;

- при несимметричном нагружении оптимальной оказывается оболочка с несимметричной срединной поверхностью. Если же ограничить условие проектирования возможностью получения только осесимметричных поверхностей, то стоимость оптимальной конструкции существенно увеличивается.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработан геометрический аппарат и на его основе способ формирования срединных поверхностей оболочек, имеющих круглый в плане опорный контур и предназначенных для использования в качестве фундаментов под нагрузку заданного вида, положения и распределения на участке нагружения.

Использована D-модель, как основа геометрического метода преобразования. Она позволяет приближенно описать процесс деформирования прообраза под влиянием внешних формообразующих факторов. С ее помощью возможно конструирование преобразований с определенными свойствами. Путем перераспределения функций компонент, составляющих D-модель, создана библиотека геометрических моделей, формирующих срединные поверхности эскизного проекта оболочки, используемого в качестве фундамента.

2. Сформулирована задача предельного равновесия несимметричных круглых в плане оболочек. Их асимметрия может быть обусловлена несимметричным нагружением, несимметричной формой поверхности, распределением материала и другими факторами. Разработана методика решения таких задач кинематическим методом теории предельного равновесия. С использованием модели жесткопластического основания разработана методика оценки несущей способности оболочек с опиранием на основание. Исследование предельного равновесия основания позволило ввести понятие о преждевременном исчерпании несущей способности конструкции за счет разрушения только основания из-за недостаточной его прочности. В этом случае изменение параметров оболочки не влияет на увеличение несущей способности.

3. Впервые сформулирована задача оптимального проектирования фундаментов-оболочек, взаимодействующих с жесткопластическим основанием. Формулировка задачи в общем случае привела к получению новых результатов. Их численный анализ подтверждает, что под осесимметричную нагрузку следует проектировать осесимметричную конструкцию, а при явно выраженной асимметрии нагружения оптимальной может оказаться конструкция фундамента-оболочки с несимметричной срединной поверхностью. Она характеризуется тем, что наибольшие аппликаты срединной поверхности смещены в сторону смещения поля нагружения.

4. На основе предложенного способа формирования срединных поверхностей оболочек, методики оценки их несущей способности, а также для решения задачи оптимального проектирования оболочек, взаимодействующих с жесткопластическим основанием, разработан специализированный программный комплекс RIGIDPLAST-FOUND.

5. Результаты работы внедрены в практику проектирования в КиевЗНИИЭП при выполнении типового проекта серии 1-464-ВМ по заказу ЗабайкалпромпстройНИИпроекта для строительства на вечномёрзлых грунтах в Якутии Саха.

Основные положения диссертационной работы опубликованы в следующих работах автора:

1. Дехтяр А.С., Холмурзаев А.А. Оптимальна форма пірамідальних оболонок-фундаментів // Прикл. геометрія та інженерна графіка. 1991.-Вип. 52. -С. 28-31.

2. Михайленко В.Е., Дехтярь А.С., Холмурзаев А.А. Несимметричная задача предельного равновесия оболочек на жесткопластическом основании // Известия вузов. Строительство, 1992. № 3, С. 31-35.

3. Михайленко В.Е., Дехтярь А.С., Холмурзаев А.А. Формообразование несимметричных оболочек-фундаментів // Прикл. геометрія та інженерна графіка. (принято к опублікуванню в № 54).

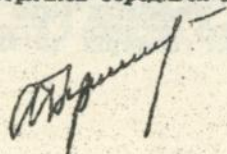
4. Дехтярь А.С., Холмурзаев А.А. Оптимальное проектирование несимметричных оболочек-фундаментов // Сопротивление материалов и теория сооружений. (принято к опублікуванню в № 60).

5. Дехтярь А.С., Холмурзаев А.А. Оптимальные круглые в плане несимметричные оболочки-фундаменты // Материалы II научно-технической конференции "Вопросы надежности и оптимизации строительных конструкций и машин" (Севастополь, 2-7 сентября 1992 г.). -Севастополь, -1992.- С.99-100.

Метод двохкомпонентних перетворень покладено на основу нової методики конструювання поверхонь круглих в плані оболонок, що несуть несиметричне навантаження та спирається на суцільну жорсткопластичну основу.

На підставі кінематичного методу тесрії граничної рівноваги розроблено методику розрахунків несучої здатності таких оболонок і вивчено залежність граничного навантаження від його асиметрії або від асиметрії середньої поверхні.

Розв'язано нові оптимізаційні задачі та показано, що за умови несиметричного навантаження оптимальною має бути оболочка з несиметричною середньою поверхнею.



Подписано к печати 14.09.92. Объем 1,0 п. л.  
Формат 60×84/16. Заказ 1332. Тираж 100.  
Типография ВА ПВО СВ.

468452

AB 25.934