

ХУДЯКОВ Александр Владимирович

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
ПЕРЕМЕЩЕНИЙ И НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ КОЛЬЦЕВЫХ ФУНДАМЕНТОВ
ПРИ ДЕЙСТВИИ ПЛОСКОЙ СИСТЕМЫ СИЛ**

Специальность 05.23.02 – Основания и фундаменты,
подземные сооружения

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

ВОЛГОГРАД 2003

Работа выполнена в Тамбовском государственном техническом университете.

Научные руководители: *доктор технических наук, профессор*
Леденев Виктор Васильевич;

кандидат технических наук, профессор
Алексеев Владимир Михайлович

Официальные оппоненты: *доктор технических наук, профессор*
Пшеничкина Валерия Александровна

кандидат технических наук, доцент
Иконин Сергей Вячеславович

Ведущая организация *ООО фирма "Тамбовспецстроймонтаж"*

Защита состоится 24 июня 2003 г. в 10 часов на заседании диссертационного совета Д 212.026.01 Волгоградской государственной архитектурно-строительной академии по адресу: 400074, г. Волгоград, ул. Академическая 1.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Волгоградской архитектурно-строительной академии.

Автореферат разослан " _____ " _____ 2003 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
д-р техн. наук, профессор



Л.В. Кукса

Подписано в печать 19.05.2003

Формат 60 × 84 / 16. Гарнитура Times New Roman.

Бумага офсетная. Печать офсетная. Объем: 1,16 усл. печ. л.; 1,0 уч.-изд. л.

Тираж 100 экз. С. 339

Издательско-полиграфический центр

Тамбовского государственного технического университета

392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. На возведение подземной части сооружений башенного типа (дымовые трубы, телевизионные и водонапорные башни, градирни и др.) затрачиваются значительные материальные и трудовые ресурсы.

Анализ проектных решений фундаментов башенных сооружений показал, что их надежность долговечность и экономичность можно повысить путем совершенствования конструкций, методов расчета оснований и фундаментов, учета реальных условий эксплуатации, подбора оптимального сочетания влияющих параметров.

Проведенные ранее исследования и опыт внедрения кольцевых фундаментов показал их эффективность по сравнению с круглыми. Однако методика расчета оснований кольцевых фундаментов еще не совершенна: отмечаются существенные расхождения вычисленных данных с наблюдаемыми, не учитывается влияние эксцентриситета и угла наклона силы на перемещения и несущую способность; не найдены обоснованные способы получения экономичных решений путем регулирования влияющими параметрами.

В Тамбовском государственном техническом университете в течение 10 лет проводятся исследования взаимодействия кольцевых фундаментов с песчаным основанием при действии плоской системы сил.

Целью диссертационной работы является уточнение методики расчета оснований и фундаментов круглой и кольцевой формы на основе комплексных экспериментальных исследований.

В задачи исследований входило:

- экспериментальное изучение характера деформирования и разрушения основания и фундаментов на стальных и железобетонных моделях разной формы, размеров и схем нагружения;
- определение эмпирических зависимостей влияющих параметров (относительных величин диаметра кольца, заглубления, эксцентриситета и угла наклона силы) на несущую способность и перемещения основания;
- поиск оптимальных конструкций фундаментов и способов повышения удельной несущей способности;
- разработка рекомендаций по уточнению существующих методов расчета круглых и кольцевых фундаментов.

Методы исследований включали: изучение, обобщение и анализ работ других авторов; проведение лабораторных опытов в плоских и пространственных лотках; постановку полевых экспериментов; статистическую обработку результатов с получением функций влияния; сопоставление экспериментальных данных с расчетными.

Научную новизну работы составляют:

- новые данные о характере деформирования и разрушения основания круглых и кольцевых фундаментов, являющиеся основой для разработки расчетных моделей;
- зависимости несущей способности и перемещений основания от размеров и формы фундамента, параметров нагружения;
- рекомендации по оптимальному проектированию фундаментов;
- практический метод расчета по двум группам предельных состояний с использованием экспериментально полученных функций влияния.

Основными защищаемыми положениями являются:

- возможность корректировки существующих методов расчета оснований и кольцевых фундаментов экспериментально полученными функциями влияния;
- утверждение о том, что оптимальные конструктивные решения можно получить путем регулирования влияющими параметрами;
- заключение о том, что экспериментальные данные о напряженно-деформированном состоянии основания и фундаментов являются надежной основой при построении теоретических решений, уточнении общепринятых методов расчета.

Практическое значение работы заключается в:

- получении новых данных о характере взаимодействия круглых и кольцевых фундаментов с грунтовым основанием;
- определении экспериментальных функций влияния различных параметров на несущую способность и перемещения основания;
- усовершенствовании существующих методов расчета оснований и кольцевых фундаментов;
- разработке рекомендаций по внедрению эффективных конструкций фундаментов.

Достоверность результаты работы обеспечена использованием общепринятых гипотез и допущений, вероятностно-статическими методами обработки полученных данных, сравнением с результатами других авторов.

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на 5-ой Международной научно-технической конференции "Высокие технологии в экологии" (Воронеж, 2002); семи научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава и студентов Тамбовского государственного технического университета (Тамбов, 1994–2002); научно-технических конференциях "Устройство и усиление фундаментов с улучшением строительных свойств грунта" (Пенза, 1991, 1993, 2002); научно-технических конференциях ВГАСА (Воронеж, 1991, 1995, 1998), международной научно-практической конференции "В.И. Вернадский: ноосферология и образование" (Тамбов, 2002).

Практическая реализация работы. По результатам работы был запроектирован и возведен круглый фундамент под дымовую трубу котельной по ул. Антонова-Овсеенко, 187 г. Тамбова; ряд положений используется в учебном процессе Тамбовского государственного технического университета при обучении по специальности 290300 "Промышленное и гражданское строительство".

Публикации. По результатам исследований опубликовано 19 работ.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, списка литературы из 157 наименований, трех приложений. Работа изложена на 175 страницах, включая 56 рисунков и 18 таблиц.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во **введении** обоснована актуальность проведенных исследований, сформулирована цель, указана научная новизна и практическая ценность. Представлены основные положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** рассмотрены и проанализированы теоретические и экспериментальные исследования оснований и прочности кольцевых фундаментов при разных схемах нагружения.

Особое внимание уделено работам отечественных специалистов:

В.М. Алексеева, С.М. Алейникова, Э.В. Ариной, А.А. Бартоломея, В.Г. Березанцева, М.И. Горбунова-Посадова, С.А. Грача, С.В. Довнарвича, А.В. Зиновьева, К.Е. Егорова, С.И. Иконина, А.С. Кананяна, А.И. Калаева, В.В. Леденева, Ю.Н. Мурзенко, Е.А. Сорочана, В.Г. Федоровского, Т.И. Финаевой, П.А. Шелест и др.; зарубежных ученых: E. Dembicki, W. Odrobinski, S. Brinch-Hahsen, M. Georgiadis, De Beer, W. Eastwood, A.B. Jumikis, Y. Lebeque, G.E. Meyerhof, S. Prakash, R.D. Purkayastha, Trah-Vo-Nhien, A.S. Vesic etc.

Анализ этих работ показал эффективность применения кольцевых фундаментов, по сравнению с круглыми, значительное расхождение опытных данных с расчетными по действующим нормам; недостаточную изученность характера деформирования и разрушения основания и кольцевых фундаментов, влияния формы и размеров фундаментов, параметров нагружения на несущую способность и перемещения основания, снижение затрат на их устройство за счет выбора оптимального соотношения между влияющими параметрами, целесообразность уточнения методов расчета путем введения в формулы экспериментальных коэффициентов и функций влияния.

Во **второй главе** приведены методика и основные результаты экспериментов с плоскими стальными штампами.

Для исследования совместного влияния различных факторов на несущую способность основания кольцевых фундаментов применены математические методы планирования эксперимента (табл. 1).

1 Уровни варьирования факторов

Условия планирования	Пределы изменения факторов			
	X_1	X_2	X_3 , град.	X_4
Основной уровень	0,4	0	7,5	0,25
Интервал варьирования	0,2	0,4	7,5	0,25
Верхний уровень	0,6	0,4	15	0,5

Нижний уровень	0,2	-0,4	0	0
----------------	-----	------	---	---

В качестве основных факторов, влияющих на несущую способность основания, приняты относительные величины диаметра кольца X_1 , эксцентриситета приложения силы X_2 , заглубления X_4 и угла наклона силы к вертикали X_3 , град.

Математическая взаимосвязь несущей способности выражается уравнением регрессии

$$\begin{aligned} \bar{Y} = & 2,93 - 0,67X_1 + 0,34X_2 - 1,12X_3 + 0,67X_4 - 0,16X_1X_2 + \\ & + 0,34X_2X_3 + 0,34X_2X_4 - 0,38X_3X_4. \end{aligned} \quad (1)$$

Лабораторные опыты проводили в пространственных металлических лотках $180 \times 100 \times 80$ (h) см. Основанием являлся воздушно-сухой мелкий песок, послойно (по 5 см) уплотненный ручной металлической трамбовкой массой 5 кг с подошвой 15×15 см. Плотность песка составляла $1,57 \dots 1,6$ г/см³. Контролировали ее иглоплотномером и с помощью режущих колец. После каждого опыта грунт убрали на глубину $2,5d_{ex}$ и укладывали заново. Угол внутреннего трения $\varphi = 34^\circ$, коэффициент сцепления $c = 2$ кПа, модуль деформации $E = 10$ МПа.

Модели фундаментов диаметром $d_{ex} = 200$ мм имели плоскую форму. По классификации М.И. Горбунова-Посадова они — жесткие. Штампы изготавливали с симметричным вырезом ($d_{in}/d_{ex} = 0; 0,2; 0,4; 0,6$) и со скосом a , составляющем $\bar{a} = 0; 0,2; 0,4; 0,6$ от R_{ex} . Для шероховатости нижняя поверхность штампов покрывалась тонким слоем клея, а затем песком.

Нагрузку на штамп передавали рычагом с десятикратным увеличением и гидравлическим домкратом ДГ-25. В последнем случае величину силы контролировали динамометром. Перемещения штампов (осадку, крен и горизонтальное перемещение) вычисляли по показаниям индикаторов часового типа ИЧ-10. Нагрузку увеличивали ступенями, примерно, составляющими 0,1 от заранее определенной разрушающей F_u . За условную стабилизацию деформаций принимали 0,1 мм/час. В одной серии опытов на модели передавали многократно-повторную нагрузку машиной МР 5057-50. Ее ступенями повышали до определенного уровня, выполняли заданное число циклов, а затем нагрузку повышали до разрушающей. В опытах со стальным штампом $d_{ex} = 200$ мм принимали угол наклона силы к вертикали $\delta = 0; 7,5$ и 15° ; относительный эксцентриситет $e_0 = e/R_{ex} = 0; 0,2; 0,4$ и $0,6$ (e — эксцентриситет силы, R_{ex} — наружный радиус штампа);

0; 0,25 и 0,5 (h_f —

С увеличением несущая способность $F_{ui}/F_{uo} = 1; 0,94; 0,55; 0,27$ F_{ui} — то же для \bar{d}_i). горизонтальные уменьшаются.

С увеличением угла приложения e_0 несущая способность при чем при отрицательном. сдвинут в сторону. Функции $F_u = f(e_0, \delta)$ и e_0 незначительно $\sigma = \text{const}$ разница в пением $e_0 = 0,6$. С соответствующая

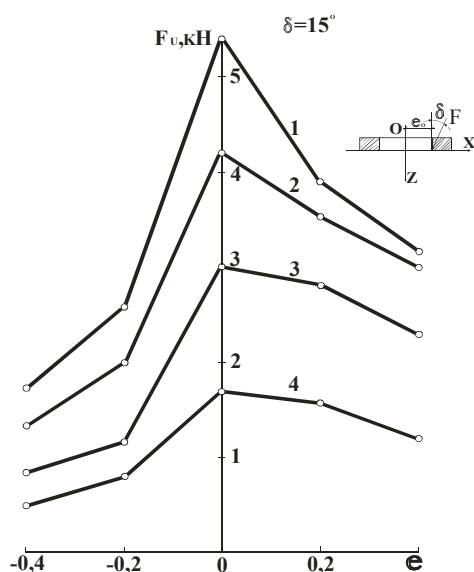


Рис. 1 Зависимость предельной нагрузки от эксцентриситета при $\delta = 15^\circ$ и \bar{d} : 1 — 0; 2 — 0,2; 3 — 0,4; 4 — 0,6

относительное заглубление $\lambda = h_f/d_{ex} =$ величина заглубления модели).

ширины кольца или уменьшением \bar{d} возрастает (рис. 1). При $\lambda = e_0 = 0$ (F_{uo} — предельная нагрузка для $\bar{d} = 0$, С уменьшением \bar{d} осадки, перемещения и крен штампа

наклона силы δ и эксцентриситета способность уменьшается. Несущая положительном эксцентриситете выше, Максимум зависимости $F_u = f(e)$ положительных эксцентриситетов. приведены в пятой главе. Параметры δ влияют на величину осадки, т.е. при ремещениях небольшая, за исключе-увеличением e_0 уменьшается осадка, разрушающей нагрузке. Уменьшение

это, примерно, одинаково для всех моделей (табл. 2). Горизонтальное перемещение штампа происходит в сторону действия силы при $e_0 > 0$ и $\delta = 0$, а при $e_0 \neq 0$ и $\delta > 0$, в направлении проекции силы. При наклонной нагрузке отмечается большее горизонтальное перемещение и меньшая разрушающая нагрузка.

Составлены таблицы предельных нагрузок, перемещений и давлений и их эмпирических зависимостей от относительного диаметра. Закономерности изменения функций $F_u, s, u, i = f(\bar{d})$, приблизительно, одинаковы.

2 Зависимость относительных предельных осадок от \bar{d} и e_0

\bar{d}	s_{u_i} / s_{u_0} при e_0			
	0	0,2	0,4	0,6
0	1	0,83	0,43	0,32
0,2	1	0,88	0,5	0,28
0,4	1	0,85	0,53	0,28
0,6	1	0,82	0,74	0,28

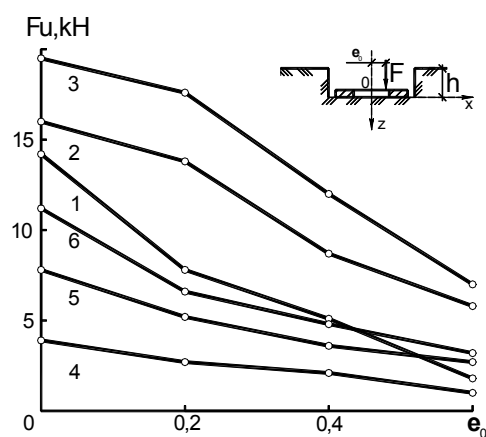
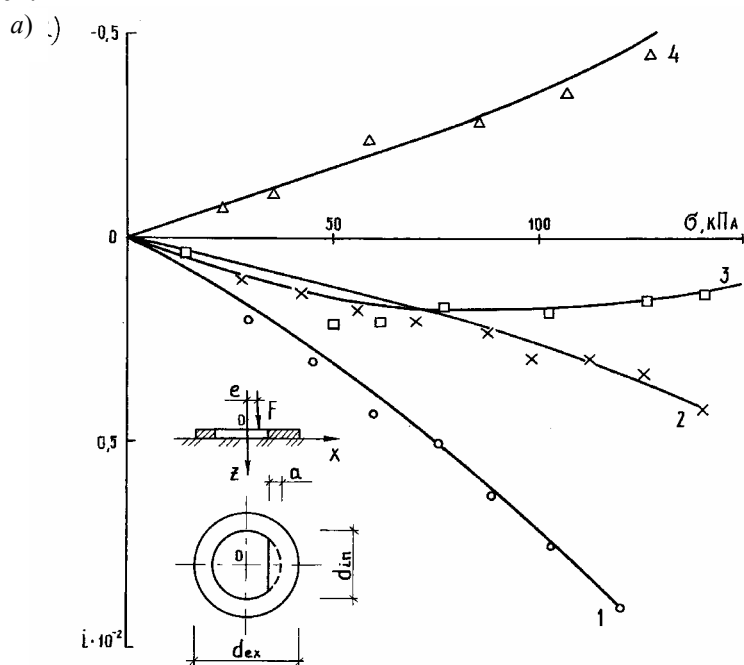


Рис. 2 Зависимость несущей способности основания от эксцентриситета для $\bar{d} = 0$ и λ :
 1 - 0; 2 - 0,25; 3 - 0,5 и $\bar{d} = 0,6 - \lambda$;
 4 - 0; 5 - 0,25; 6 - 0,5

С увеличением λ при $\bar{d} = 0$ и 0,6 несущая способность возрастает, а осадка уменьшается (рис. 2). Для $\bar{d} = 0,6$ и $\lambda = 0,5$, $\bar{d} = 0$ и $\lambda = 0$ величины F_u , приблизительно, равны (отношение площадей $A_0 / A_{0,6} = 1,56$). Получены зависимости несущей способности от заглубления.

Несущую способность кольцевых фундаментов можно значительно повысить за счет установки кольцевой ограждающей стенки. В опытах принимали диаметр стенки из оцинкованной стали $d_{st} \approx 1,05 d_{ex}$, глубину от подошвы штампа $h^* = h / d_{ex} = 0; 0,25$ и 0,5. При заглублении от $h^* = 0$ до $h^* = 0,5$ несущая способность основания возрастает почти в пять раз. Осадка с увеличением λ уменьшается.



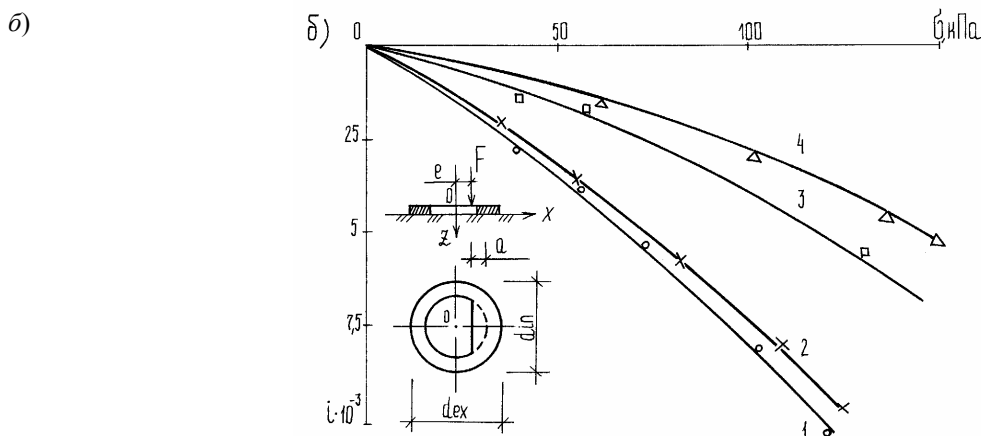


Рис. 3 Зависимость крена от давления при:

$a - e'_0 = 0,1$; $b - e'_0 = 0,2$ для штампов 1 – Ш1; 2 – Ш2; 3 – Ш3; 4 – Ш4

Проведена серия экспериментов на действие повторной нагрузки при разных параметрах нагружения. Скорости осадки, крена и горизонтального перемещения резко возрастают с уменьшением коэффициента асимметрии цикла $\rho_c = \sigma_{\min} / \sigma_{\max}$. Кинетический характер разрушения основания при действии многократно повторной нагрузки аналогичен статическому. Предельное состояние достигается при несколько меньшей нагрузке.

Ограничения по СНиП 2.02.01-83* величины крена $i \leq [i]$ и крайних давлений $\sigma_{\min} \geq 0$; $\sigma_{\max} \leq 1,2 R$ вызывает необходимость увеличения размеров фундамента. Для выравнивания крена и давлений предлагается кольцевой фундамент с несимметричной формой внутреннего выреза. Площадь внутреннего вырезанного кольца уменьшалась за счет сегмента со стрелой подъема a . С увеличением a при эксцентриситете приложения силы в сторону сегмента крен уменьшается, а при $e_0 = 0,1$ – меняет знак на противоположный (рис. 3). Горизонтальное смещение штампов происходит в сторону действия силы при положительном крене и в противоположную, если крен отрицателен. Получены функции $i = f(\bar{a})$. Так, при $\sigma = 100$ кПа и $e' = e / R_{ex} = 0,1$ (e – расстояние от силы до центра наружного круга) величина крена

$$i = -0,152\bar{a}^3 + 0,133\bar{a}^2 - 0,043\bar{a} + 0,075. \quad (2)$$

С увеличением \bar{a} осадка уменьшается, а несущая способность основания увеличивается.

Включение дополнительного сегмента в площадь кольца позволяет выровнять эпюру контактных давлений. Так, для всех моделей при действующей нагрузке $F = 3$ кН и $e'_0 = 0,2$ определены крайние давления и угол наклона α эпюры к горизонтали, который с увеличением стрелы подъема a уменьшается (табл. 3).

3 Краевые давления при $F = 3$ кН и $e'_0 = 0,2$

Марка штампа	σ_{\min}	σ_{\max}	$\sigma_{\min} / \sigma_{\max}$	α , град.
Ш1	61	237	0,26	41
Ш2	64	214	0,3	37
Ш3	62	188	0,33	32
Ш4	55	172	0,32	30

Увеличение \bar{a} до 0,2 мало влияет на длину зоны отрыва. При $\bar{a} > 0,2$ влияние сегмента более значительно. При увеличении площади штампа на 16 и 28 % длина зоны отрыва уменьшается, соответственно, на 28 и 31 %.

В **третьей главе** описаны результаты экспериментальных исследований характера деформирования и разрушения песчаного основания кольцевых штампов. Опыты проводили в условиях плоской и пространственной задачи.

В плоских лотках с передней стеклянной стенкой изучали перемещения окрашенных горизонтальных слоев песка толщиной 1 ... 2 см. Модели фундаментов изготавливали из дерева с выступающими ребрами, имитирующими в разрезе кольцо. Опыты выполняли с трехкратной повторностью при $\lambda = e_0 = 0$ и 0,33; $\delta = 0$; $\bar{d} = 0; 0,2; 0,4; 0,6$. Определяли размеры и форму зон деформаций, очертание поверхностей скольжения и областей выпора грунта.

Картина деформирования основания определяется параметрами e_0, \bar{d} . При $e_0 = 0$ относительная ширина зоны деформирования составляла $\bar{B} = B/d_{ex} \approx 3 \dots 3,5$. Глубина зоны деформирования $\bar{H} = H/d_{ex}$ с увеличением \bar{d} уменьшалась от 1,7 до 0,8. Под штампом с $\bar{d} = 0$ образуется область, деформируемость которой с увеличением нагрузки падает. Границы ее не зависят от величины нагрузки. Во всех экспериментах $\bar{d} > 0$ отмечены прямолинейные следы поверхностей скольжения со стороны передней грани (рис. 4). Под ребрами моделей зафиксированы зоны концентрации напряжений. При приложении внецентричной нагрузки отмечается уменьшение ширины и глубины зоны деформирования основания.

При проведении второй серии экспериментов в пространственном лотке с круглым и кольцевыми штампами $\bar{d} \leq 0,6$ отмечены симметричные и несимметричные формы выпора грунта на поверхности. Размеры кольца (величина \bar{d}) не оказали значительного влияния на размеры областей выпора. Потеря устойчивости происходила мгновенно и сопровождалась осадкой "провального" типа со сдвигом грунта во все стороны. При испытании штампов с несимметричной формой внутреннего выреза выпор грунта происходил в противоположную сторону от сегмента. Горизонтальные размеры зоны выпора грунта приблизительно равны соответствующим размерам симметричных штампов, т.е. форма внутреннего выреза мало влияет на их величину. Установлены функциональные зависимости между величинами площадей областей выпора и разрушающими нагрузками.

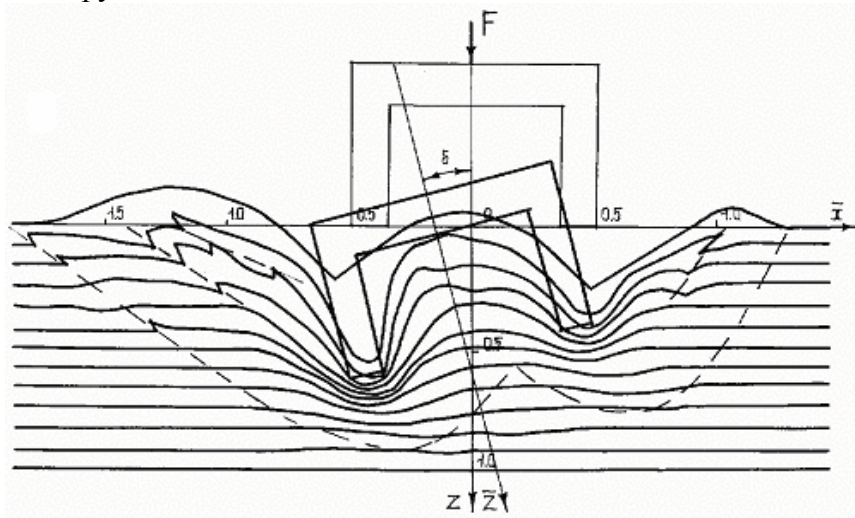


Рис. 4 Характер деформирования окрашенных полос песка при $\delta = e = 0$ для $\bar{d} = 0,6$

Из полученных данных видно, что не всегда максимальная предельная сила соответствует максимальной площади выпора грунта. Следовательно, величина предельной нагрузки на кольцевой штамп зависит от объема выпираемого грунта, а тот от глубины деформирования основания.

В **четвертой главе** приводятся результаты опытов с бетонными, фибробетонными и железобетонными плоскими и ступенчатыми кольцевыми штампами с $d_{ex} = 450$ мм и $\bar{d} = 0; 0,2; 0,4; 0,6$. В качестве фибр принимали проволоку от канатов $d_s = 0,5$ мм и $l_s = 20$ мм. Рабочей арматурой железобетонных штампов являлась проволока $\varnothing 3$ Вр-I. Коэффициент армирования составлял 0,005. Класс бетона на осевое сжатие В-7,5 с модулем упругости при естественном твердении $E_b = 16 \cdot 10^3$ МПа. На модели пере-

давали вертикальную кольцевую нагрузку, распределенной по полосе шириной $d_{ex} = 50$ мм, и сосредоточенные, приложена к шести площадкам диаметром 30 мм.

Разрушение плоских бетонных и фибробетонных штампов сопровождалось образованием радиальных пластических шарниров. Для железобетонных штампов характерно образование и кольцевых трещин, для появления которых требуется большая нагрузка. Разрушающая нагрузка на фибробетонные модели превышала на 18 %, а железобетонные на 88 %, чем на бетонные. Она превосходит расчетную, вычисленную по прямоугольной эпюре контактных давлений. Это объясняется фактической параболической эпюрой контактных давлений, характеризующейся процессом перераспределения усилий.

Появление первых трещин в железобетонных плитах наблюдалось при нагрузках $F_{трещ} = 0,4F_{разр}$ разрушение плит во всех случаях сопровождалось интенсивным нарастанием деформаций и характеризовалось падением нагрузки. Во всех экспериментах с железобетонными моделями, несмотря на дальнейшее увеличение нагрузки после разрушения, потери устойчивости не происходило, что объясняется появлением пластических шарниров в момент образования трещин, из-за чего исчерпывается несущая способность фундамента и дальнейшее увеличение нагрузки возможно лишь за счет возрастания отпора со стороны основания.

Опыты с моделями железобетонных штампов со стаканной частью не позволили выявить величины разрушающих нагрузок из-за чрезмерных осадок. Вследствие этого эксперименты проводили на прессе с основанием из резиновых листов общей толщиной 60 мм. Величины разрушающей нагрузки на модели со стаканной частью, в среднем, в 1,5 раза выше, чем на плоские при одинаковых схемах нагружения. Удельная несущая способность моделей со стаканной частью, равная отношению разрушающей нагрузки к объему плиты, для всех моделей соответственно равна

$$\frac{F_{ui}}{V_i}, \text{ кН/см}^3 \quad 0,0252; 0,0157; 0,0105; 0,0256,$$

Во всех случаях разрушение моделей наступало от совместного действия изгибающего момента и поперечных сил. Образовывались как нормальные, так и наклонные трещины. Разрушение круглого фундамента начинается с появления окружной трещины от действия максимальных радиальных напряжений. Затем характер работы штампа резко меняется и из круглого он становится кольцевым (рис. 5). Происходит перераспределение внутренних усилий. Радиальные напряжения уменьшаются, тангенциальные наоборот начинают расти, и под их воздействием образуются радиальные трещины.

В **пятой главе** проводится обоснование инженерного метода расчета несущей способности и перемещений основания моделей, основанного на экспериментально полученных данных.

a)

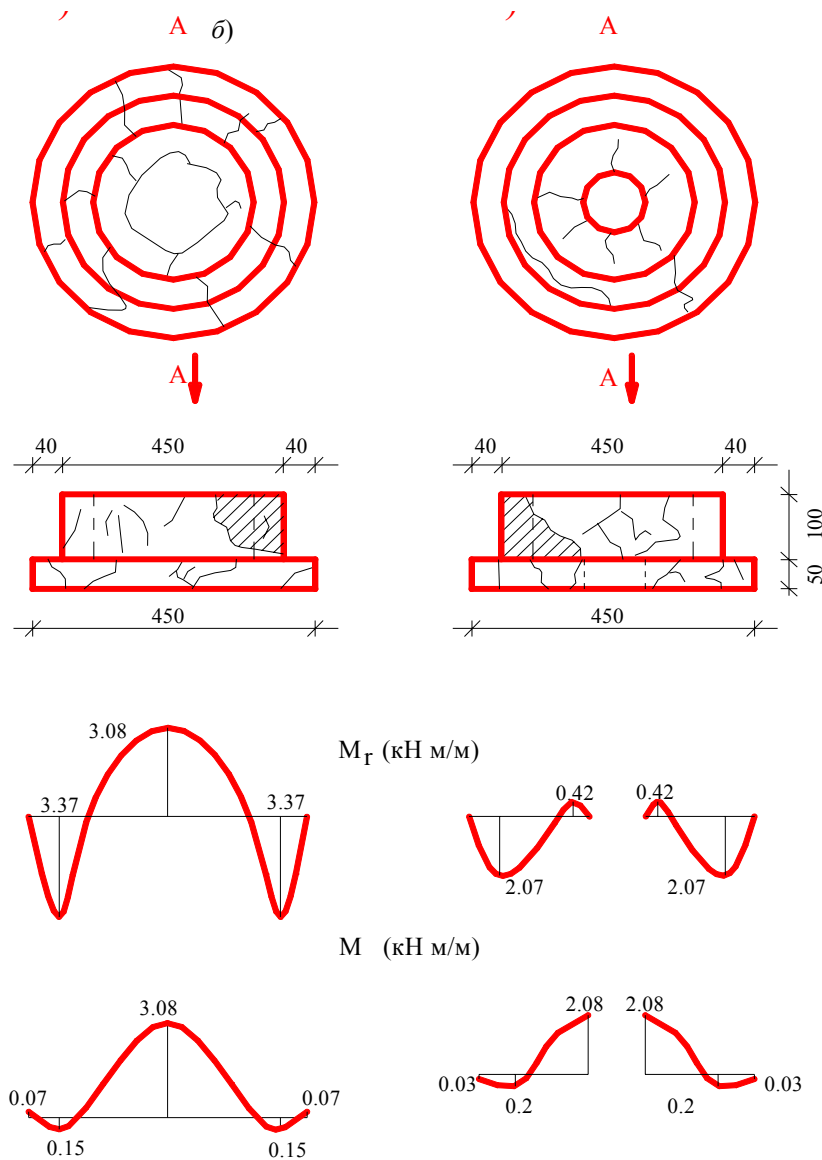


Рис. 5 Характер трещинообразования и эпюры изгибающих моментов для моделей со стаканной частью для:

$$a - \bar{d} = 0; \quad b - \bar{d} = 0,2$$

Вертикальная составляющая предельной силы, действующей на основание, сложенное несколькими грунтами, в стабилизированном состоянии по формуле 16 СНиП 2.02.01-83* с учетом всех необходимых преобразований для круглого штампа при $\lambda = e_0 = 0$ принимает вид

$$N_u = d_{ex}^2 (0,58875 N_\gamma d_{ex} \gamma_I + 1,025 N_c c_I) = d_{ex}^2 A. \quad (3)$$

На основе экспериментов введены функции влияния различных параметров, полученных по методу ортогональных полиномов Чебышева. Для относительной ширины кольца

$$\Phi_{\bar{d}} = 9,58 \bar{d}^3 - 9,98 \bar{d}^2 + 1,33 \bar{d} + 1, \quad (4)$$

- относительного заглубления фундамента

$$\Phi_\lambda = 0,952 \lambda^2 + 0,27 \lambda + 1, \quad (5)$$

- относительного эксцентриситета нагрузки

$$\Phi_{e_0} = -137,26e_0^5 + 81,34e_0^4 + 27,5e_0^3 - 17,44e_0^2 - 0,72e_0 + 1, \quad (6)$$

- угла наклона нагрузки

$$\Phi_{\delta} = 2,49 \cdot 10^{-4} \delta^2 - 4,51 \cdot 10^{-2} \delta + 1, \quad (7)$$

где δ в градусах,

- масштабного фактора

$$\Phi_{l_u} = 21,03d^2 + 0,49d - 0,006. \quad (8)$$

Тогда

$$N_u = K d_{ex}^2 A \Phi_{\bar{d}} \Phi_{\lambda} \Phi_{e_0} \Phi_{\delta} \Phi_{l_u}, \quad (9)$$

где K – коэффициент, учитывающий расхождение между экспериментальным и вычисленным по СНиП значением разрушающих нагрузок при $\lambda = \delta = e_0 = \bar{d} = 0$.

Сравнение теоретических и экспериментальных значений для некоторых схем загрузки приведено в табл. 4.

Используя расчетную схему в виде линейно-деформируемого полупространства и метод послойного суммирования, осадка круглого фундамента определяется по формуле (1) прил. 2 СНиП 2.02.01-83*.

4 Расчетные и опытные значения предельных нагрузок на кольцевой штамп

\bar{d}	Составляющие	$\delta = 0$ при e_0					
		-0,4	-0,2	0	0,2	0,4	0,6
$\delta = 0^\circ$							
0	N_u			14,17	6,6	5,1	1,4
	F_u			14,2	7,8	5,1	1,8
0,2	N_u			13,36	6,2	4,8	1,3
	F_u			13,4	6,6	3,9	1,4
0,4	N_u			7,77	3,6	2,8	0,8
	F_u			7,8	5,1	3	1,2
0,6	N_u			3,89	1,8	1,4	0,4
	F_u			3,9	2,7	2,1	1
$\delta = 7,5^\circ$							
0	N_u	2,2	3,8	9,57	4,45	3,4	
	F_u	2,97	4,46	9,51	7,14	4,6	
0,2	N_u	2	3,6	9	4,2	3,2	
	F_u	2,4	3,27	7,43	5,95	3,57	
0,4	N_u	1,2	2,1	5,25	2,44	1,9	
	F_u	1,98	2,58	5,35	4,6	2,97	
0,6	N_u	0,6	1,1	2,63	1,2	0,9	
	F_u	1,09	1,57	2,97	2,58	1,78	

Примечание: N_u – вертикальная составляющая предельной нагрузки, кН, вычисленная по СНиП 2.02.01-83* или с учетом функций влияния; F_u – полученная по результатам экспериментов, кН.

С учетом относительного диаметра осадка кольцевого штампа

$$S = S_0 \Phi_{\bar{d}_s} \quad (10)$$

где

$$\Phi_{\bar{d}_s} = -1,042\bar{d}^3 + 0,625\bar{d}^2 + 1,967\bar{d} + 1 \quad (11)$$

Крен круглого фундамента при действии внецентренной нагрузки определяется по формуле (10) прил. 2 СНиП 2.02.01-83*, а кольцевого – с учетом относительного диаметра при фиксированном значении эксцентриситета по формуле

$$i^* = i \Phi_{\bar{d}_i} \quad (12)$$

Для $e_0 = 0,2$

$$\Phi_{\bar{d}_i} = 3,22\bar{d}^3 - 1,93\bar{d}^2 + 0,64\bar{d} + 1 \quad (13)$$

$e_0 = 0,4$

$$\Phi_{\bar{d}_i} = -7,69\bar{d}^3 + 8,56\bar{d}^2 - 0,62\bar{d} + 1 \quad (14)$$

При определении крена фундаментов не учитывается влияние бокового отпора грунта. Е.А. Сорочан предложил учитывать его при относительном заглублении $\lambda = h/D > 1$. Целью проведения экспериментов с полунатурными моделями фундаментов явилась проверка влияния бокового отпора грунта на величину крена и проверка полученных ранее экспериментальных значений перемещений.

В качестве моделей фундаментов использовали железобетонные штампы с $\lambda \leq 1$ ($\lambda = 0; 0,2; 0,4; 0,5; 1$), $d_{ex} = 450$ мм и $\bar{d} = 0; 0,2; 0,4; 0,6$ и стаканной частью.

Проведенные испытания подтвердили необходимость учета бокового отпора грунта при определении крена при $\lambda \leq 1$.

С целью проведения анализа напряженно-деформированного состояния штампов при разрушающей нагрузке были проведены расчеты круглого и кольцевого штампов со стаканной частью на действие осесимметричной равномерно распределенной нагрузки.

Основное дифференциальное уравнение изогнутой оси пластинки имеет вид

$$\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left\{ r \frac{d}{dr} \left[\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(r \frac{dw}{dr} \right) \right] \right\} = \frac{q(r)}{D} \quad (15)$$

где r – расстояние от центра пластинки до рассматриваемой точки; $q(r)$ – интенсивность распределенной нагрузки; $D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}$ – цилиндрическая жесткость пластины при изгибе; E – модуль упругости

материала пластинки; h – толщина пластинки; ν – коэффициент Пуассона; w – прогиб плиты.

Решение данного уравнения состоит из суммы частного W_1 и общего W_2 решений:

$$W = W_1 + W_2 \quad (16)$$

Последовательно интегрируя выражение (14), получили решение выражения (15) в зависимости от условий загрузки и закрепления круглой и кольцевой пластины.

Составлены программы расчета на языке "БЭЙСИК". По результатам расчета построены эпюры радиальных M_r и тангенциальных M_t изгибающих моментов от действия разрушающей нагрузки. Максимальные значения M_r и M_t по абсолютной величине приблизительно равны для $\bar{d} = 0; 0,2; 0,4$. Для $\bar{d} = 0,6$ отмечено различие в 5 раз между M_t и M_r . По расходу требуемой арматуры на единицу длины наиболее экономичен штамп с $\bar{d} = 0,4$, так как действующие изгибающие моменты меньше соответствующих усилий других моделей.

Был проведен статический расчет моделей на действие равномерно распределенной нагрузки с изменяющимся расстоянием r от центра до опоры (выше лежащего строения). Оптимальная область опирания для модели с $\bar{d} = 0$ и $0,2$ находится в пределах $0,67 \leq r/R_{ex} \leq 0,71$, для $\bar{d} = 0,4$ и $0,6 - 0,76 \leq r/R \leq 0,78$.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1 Показаны области применения круглых и кольцевых фундаментов. Отмечено несовершенство методов расчета оснований и фундаментов по двум группам предельных состояний. Выявлены реальные воздействия на сооружения башенного типа. Определены задачи исследований.

2 По результатам более 200 опытов с моделями круглых и кольцевых фундаментов определены функции влияния несущей способности и перемещений основания фундаментов от параметров: d , \bar{d} , F , \bar{F} , λ , e_0 , δ . При оптимальном их сочетании можно получить эффективное инженерное решение с максимальной удельной несущей способностью.

3 Исследованы особенности деформирования и разрушения основания фундаментов. Установлена зависимость несущей способности от размеров областей выпора песка. Изучено влияние параметров e_0 , δ и \bar{d} на глубину и форму областей выпора грунта.

Получены картины трещинообразования моделей фундаментов на упругом основании при разных схемах нагружения и формах моделей.

Показана целесообразность повышения эффективности проектирования фундаментов путем сближения величин разрушающих нагрузок по грунту основания и материалу фундамента.

4 Исследовано влияние многократно повторной нагрузки на перемещения фундаментов при разных параметрах и режимах нагружения. Наибольший эффект проявляется при первых 50-ти циклах нагружения. Кинетический характер возникновения предельного состояния аналогичен статическому.

5 Рассмотрены способы повышения несущей способности основания и уменьшения перемещений фундаментов за счет использования ограждающих стенок и заглубления фундамента.

6 Исследовано взаимодействие оснований и кольцевых фундаментов с несимметричной формой внутреннего выреза. Такие конструкции позволяют уменьшить крен и выровнять эпюры контактных давлений.

7 Разработан практический метод расчета основания кольцевых фундаментов путем введения экспериментально определенных функций влияния.

8 Даны рекомендации по оптимальному армированию круглого фундамента в зависимости от расположения выше лежащего сооружения.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1 Худяков А.В. Опыты с кольцевыми фундаментами / А.В. Худяков // Расчет и проектирование оснований и фундаментов в сложных инженерно-геологических условиях: Межвуз. сб. науч. тр. / ВИСИ. Воронеж, 1992. С. 138–141.

2 Худяков А.В. Влияние размеров кольца на несущую способность песчаного основания отдельного фундамента / А.В. Худяков, В.В. Егоров // I Научно-техническая конференция: Краткие тез. докл. / ТГТУ. Тамбов, 1994. С. 125.

- 3 *Леденев В.В.* Кольцевые фундаменты при действии наклонной внецентренной нагрузки / В.В. Леденев, А.В. Худяков // II Научно-техническая конференция: Краткие тез. докл. / ТГТУ. Тамбов, 1995. С. 62–63.
- 4 *Худяков А.В.* Оценка напряженного состояния грунта в основании моделей кольцевых фундаментов / А.В. Худяков, В.В. Егоров // III Научная конференция: Краткие тез. докл. / ТГТУ. Тамбов, 1996. С. 24.
- 5 *Алексеев В.М.* Исследование перемещений кольцевых штампов при несимметрической форме внутреннего выреза / В.М. Алексеев, А.В. Худяков // Расчет и проектирование оснований и фундаментов в сложных инженерно-геологических условиях: Межвуз. сб. науч. тр. / ВИСИ. Воронеж, 1996. С. 17–21.
- 6 *Худяков А.В.* Характер деформирования и разрушения железобетонных штампов при действии плоской системы сил / А.В. Худяков, В.М. Алексеев, В.В. Леденев // Труды молодых ученых и студентов ТГТУ. Тамбов, 1997. С. 263–265.
- 7 *Худяков А.В.* Экспериментальные исследования характера разрушения песчаного основания кольцевых штампов / А.В. Худяков // Труды ТГТУ. Тамбов, 2000. Вып. 5. С. 247–251.
- 8 *Леденев В.В.* Экспериментальные исследования несущей способности и перемещений основания и кольцевых фундаментов / В.В. Леденев, А.В. Худяков // Вестник ТГТУ. Тамбов, 2001. Т. 7. № 2. С. 305–315.
- 9 *Худяков А.В.* Влияние заглубления кольцевых фундаментов и ограждающей стенки на несущую способность основания / А.В. Худяков, В.В. Леденев // Труды ТГТУ. Тамбов, 2001. Вып. 10. С. 19–21.
- 10 *Леденев В.В.* Регулирование перемещений фундаментов / В.В. Леденев, А.В. Худяков // VI Научная конференция ТГТУ: Краткие тез. докл. Тамбов, 2001. С. 207.
- 11 *Худяков А.В.* Исследование прочности круглых и кольцевых штампов / А.В. Худяков, В.М. Струлев, А.В. Балакин // VI Научная конференция ТГТУ: Краткие тез. докл. Тамбов, 2001. С. 207–208.
- 12 *Алексеев В.М.* Влияние глубины заложения внецентренно нагруженного кольцевого фундамента на его осадку и крен / В.М. Алексеев, В.В. Леденев, А.В. Худяков // Высокие технологии в экологии: Материалы конф. / ВГУ. Воронеж, 2002. С. 143–147.
- 13 *Худяков А.В.* К расчету армирования фундаментов сооружений башенного типа / А.В. Худяков, В.В. Леденев, В.М. Струлев // Труды ТГТУ. Тамбов, 2002. Вып. 12. С. 19–21.
- 14 *Леденев В.В.* Кольцевые фундаменты с несимметричной формой внутреннего выреза / В.В. Леденев, А.В. Худяков // VII научная конференция ТГТУ: Пленарные докл. и тез. стендовых докл. Тамбов, 2002. Ч. 1. С. 74.
- 15 *Худяков А.В.* Влияние бокового отпора грунта на перемещения круглых и кольцевых фундаментов / А.В. Худяков // VII научная конференция ТГТУ: Пленарные докл. и тез. стендовых докл. Тамбов, 2002. Ч. 1. С. 80.
- 16 *Экспериментальные определения напряжений и перемещений в грунте* / В.В. Леденев, Я.В. Савинов, В.И. Скрылев, А.В. Худяков // Актуальные проблемы усиления оснований и фундаментов аварийных зданий и сооружений: Труды Междунар. науч.-практ. конф. / Приволжский Дом знаний. Пенза, 2002. С. 88–92.
- 17 *Сафонов С.А.* Проблемы. Исследование прочности оснований и фундаментов высотных сооружений / С.А. Сафонов, А.В. Худяков // В.И. Вернадский: ноосферология и образование: Междунар. науч.-практ. конф.: Материалы конференции. г. Тамбов. М.: Издательский дом "Ноосфера", 2002. С. 379–380.
- 18 *Алексеев В.М.* Влияние отпора грунта по боковой поверхности кольцевых фундаментов на их перемещения / В.М. Алексеев, В.В. Леденев, А.В. Худяков // Расчет и проектирование оснований и фундаментов в сложных инженерно-геологических условиях: Межвуз. сб. науч. тр. / ВГАСУ. Воронеж, 2002. С. 8–12.
- 19 *Худяков А.В.* Влияние относительного диаметра кольцевых фундаментов на глубину зоны деформирования основания / А.В. Худяков, В.В. Леденев // Труды ТГТУ. Тамбов, 2003. Вып. 14. С. 8–10.

В работах [2–14, 16–19] автором выполнены экспериментальная часть и анализ результатов. В [12, 18] получены экспериментальные зависимости перемещений от параметров нагружения.