

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОСНОВАНИЙ ФУНДАМЕНТОВ С РАЗЛИЧНОЙ ФОРМОЙ ПОДОШВЫ

Глушков А.В.¹

¹ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Йошкар-Ола, Россия, e-mail: 256289@list.ru

Представлены результаты экспериментальных исследований напряженно-деформированного состояния связных и несвязных грунтов, нагруженных моделями отдельно стоящих фундаментов с различной формой подошвы. В современных строительных нормах и правилах не рассматривается расчет фундаментов сложной многоугольной формы. В основу методики положены полевые испытания грунтового основания статическими нагрузками, которые позволяют правильно оценить совместную работу отдельно стоящих фундаментов с различной формой подошвы и массива грунта. Установлено качественное и количественное влияние изменения формы подошвы фундамента в плане на распределение напряжений и перемещений в активной зоне. Проведена оценка работы глубинных марок в основании, построены изолинии вертикальных перемещений. Дана оценка распределению вертикальных напряжений в области контакта штампа и в активной зоне основания. Статья предназначена для специалистов в области промышленного и гражданского строительства и инженеров-геотехников.

Ключевые слова: крестообразный фундамент, трехлучевой штамп, анализ напряженно-деформированного состояния основания, штамповые испытания

EXPERIMENTAL ANALYSIS OF THE FOUNDATION BED UNDER THE VARIOUSLY SHAPED DRAWINGS

Glushkov A.V.¹

¹Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, Russia, e-mail: 256289@list.ru

This article reviews the experimental investigation of the stress-strain state of the foundation bed under the variously shaped drawings. The foundation bed featured by cohesive and non-cohesive soil. Normative documents do not allow to estimate the stress-strain state of bases of the complex shape foundations with their mutual influence. Static soil test used as a basis method to estimate the interference of the variously shaped drawings and the subsoil bed. Articles presents the qualitative and quantitative stress-strain state changes of shape modification of the drawings. Research undertaken also indicates the behavior of soil dots, vertical displacement isolines presented. This article seems to be interesting to those who work in the field of building construction and geotechnics engineering.

Keywords: cruciform footing, triradial footing, soil basement stress-strain analysis, static soil test

В практике строительства фундаменты под колонны зданий и сооружений выполняются квадратной и прямоугольной формы [2]. Внедрение в производство более эффективных конструкций фундаментов (трехлучевого, крестообразного очертания) обеспечивает снижение материалоемкости нулевого цикла, сокращение трудозатрат на заводах за счет изготовления прогрессивных конструкций фундаментов непосредственно на строительных площадках [3].

Для исследования напряженно-деформированного состояния оснований фундаментов с различной формой подошвы в полевых условиях была разработана методика выполнения опытов, базирующаяся на научно обоснованных методах проведения эксперимента.

Для проведения экспериментальных исследований использовались металлические модели штампов, имитирующих абсолютно жесткие фундаменты пяти различных форм

подшвы в плане (рис. 1). Площадь подшвы каждого фундамента составила $A = 5000 \text{ см}^2 = 0,5 \text{ м}^2$ [4,5].

Для полевых испытаний штампов использовался инвентарный стенд, состоящий из главной балки (2 двутавра № 40) и 8 винтовых анкерных свай длиной 4,0 м, диаметром лопасти $\varnothing 350$ мм.

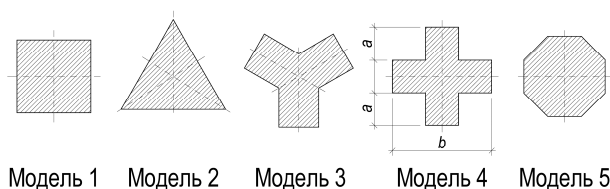


Рис. 1. Формы экспериментальных штампов в плане.

Нагрузка на штамп передавалась при помощи гидравлического домкрата ДГ-50 и фиксировалась образцовым манометром, протарированным совместно с домкратом.

Осадки штампов определялись двумя индикаторами часового типа ИЧ-50 с точностью 0,01 мм. Осадки фундаментов определялись как среднее арифметическое показание приборов. Для измерения перемещений отдельных точек грунтового основания использовались глубинные марки, представляющие собой жесткий конус, соединенный высокопрочной проволокой диаметром $\varnothing 0,3$ мм с индикаторами часового типа с ценой деления 0,01 мм.

В качестве измерителей вертикальных напряжений в контактной области и в активной зоне основания фундамента использовались тензорезисторные преобразователи давления типа ПДМ-70/11. Для обеспечения качественного контакта штампа с грунтом поверхность основания тщательно выравнивалась при помощи отфугованных реек и уровня песчаных подушек толщиной 20 мм.

В качестве регистрирующей аппаратуры для измерения напряжений в основании использовался автоматический электронный измеритель деформаций АИД-4.

Испытания опытных штампов в полевых условиях проводились в соответствии с ГОСТ 20276-2012 «Грунты. Методы полевого определения характеристик прочности и деформируемости».

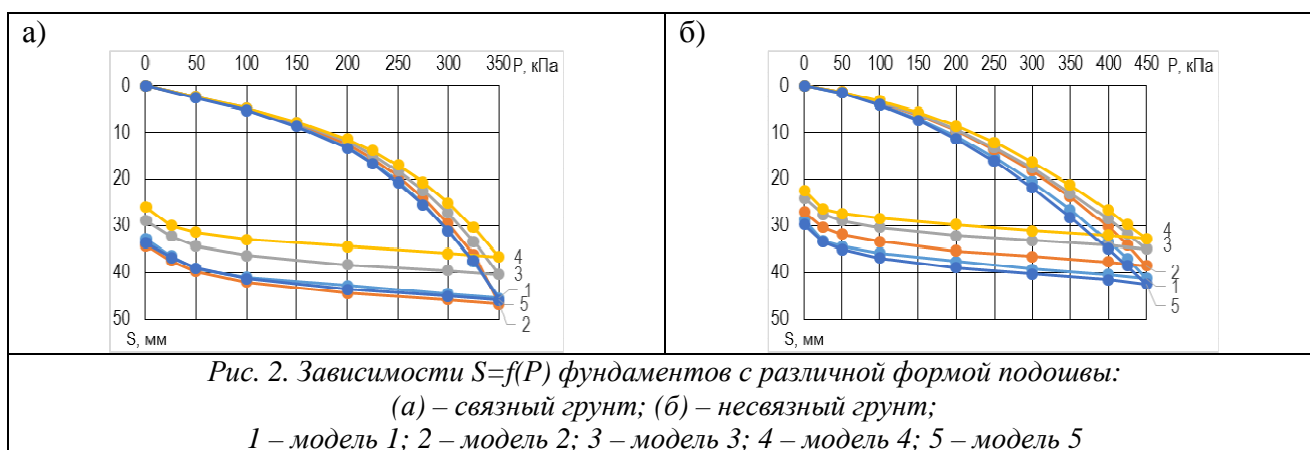
Полевые испытания грунтов штампами с различной формы подшвы проводились на двух опытных площадках в г. Йошкар-Ола.

Опытная площадка № 1 характеризуется наличием в верхней части инженерно-геологического разреза связного грунта (ИГЭ-2 суглинок мягкопластичный с $\gamma=19,2 \text{ кН/м}^3$; $c=25,0 \text{ кПа}$; $\varphi=19^\circ$; $E=17,0 \text{ МПа}$), являющегося качественным однородным связным основанием в пределах изучаемой зоны деформирования.

Опытная площадка № 2 представлена сверху несвязным грунтом (ИГЭ-1 песок средней крупности, средней плотности с $\gamma=18,5$ кН/м³; $c=3,6$ кПа; $\phi=35^\circ$; $E=29,2$ МПа) достаточной мощности в пределах предполагаемой зоны деформирования штампов.

По результатам экспериментальных исследований построены графики зависимостей «нагрузка — осадка» $S=f(P)$ для различных форм подошвы фундаментов (рис. 2). Как видно из графиков, для связного основания с достаточной точностью можно считать линейным участок в интервале нагрузок от 0 до 200 кПа, для несвязного – в интервале нагрузок от 0 до 250 кПа.

С дальнейшим ростом нагрузки имеет место плавный перегиб графиков, что свидетельствует о переходе грунта в активной зоне из упругой стадии в упругопластическую.



Изменение формы подошвы от квадратной (модель 1) до трехлучевой (модель 3) и крестообразной (модель 4) при $P = 350$ кПа приводит к снижению осадок в связном грунте соответственно на 12,8% и на 24,4% (рис. 2.3.2.а).

Для фундаментов с треугольной (модель 2) и восьмиугольной (модель 5) формой подошвы графики $S=f(P)$ практически не отличаются от квадратного фундамента (модель 1).

Из рисунка 2б видно, что осадка трехлучевого (модель 3) и крестообразного (модель 4) фундамента в несвязном грунте при $P = 450$ кПа меньше осадки квадратного фундамента (модель 1) соответственно в 1,18 и 1,26 раза.

Проведем анализ перемещений глубинных марок в основании для опытной площадки № 1 (связный грунт – ИГЭ-2 суглинок мягкопластичный) (рис. 3). Для квадратного штампа (модель 1) при $P = 350$ кПа перемещения марок М1, М2, М4, М6 по оси фундамента на глубине $0,25b$; $0,5b$; b ; $2b$ составили 42,0 мм; 37,1 мм; 21,5 мм и 5,1 мм, величина остаточных деформаций соответственно составляет 66,9%; 53,2%; 40,3%; 36,4% (рис. 3б). Исследования показали, что глубинные марки в основании штампов вступают в работу постепенно по мере роста нагрузки на фундамент.

С изменением формы подошвы в плане к трехлучевой (модель 3) перемещения марок в тех же сечениях при $P = 350$ кПа составили 36,8 мм; 30,8 мм; 16,8 мм и 4,9 мм (рис. 4б), а для крестообразного штампа (модель 4) соответственно 33,4 мм; 28,9 мм; 16,6 мм и 4,7 мм (рис. 5б).

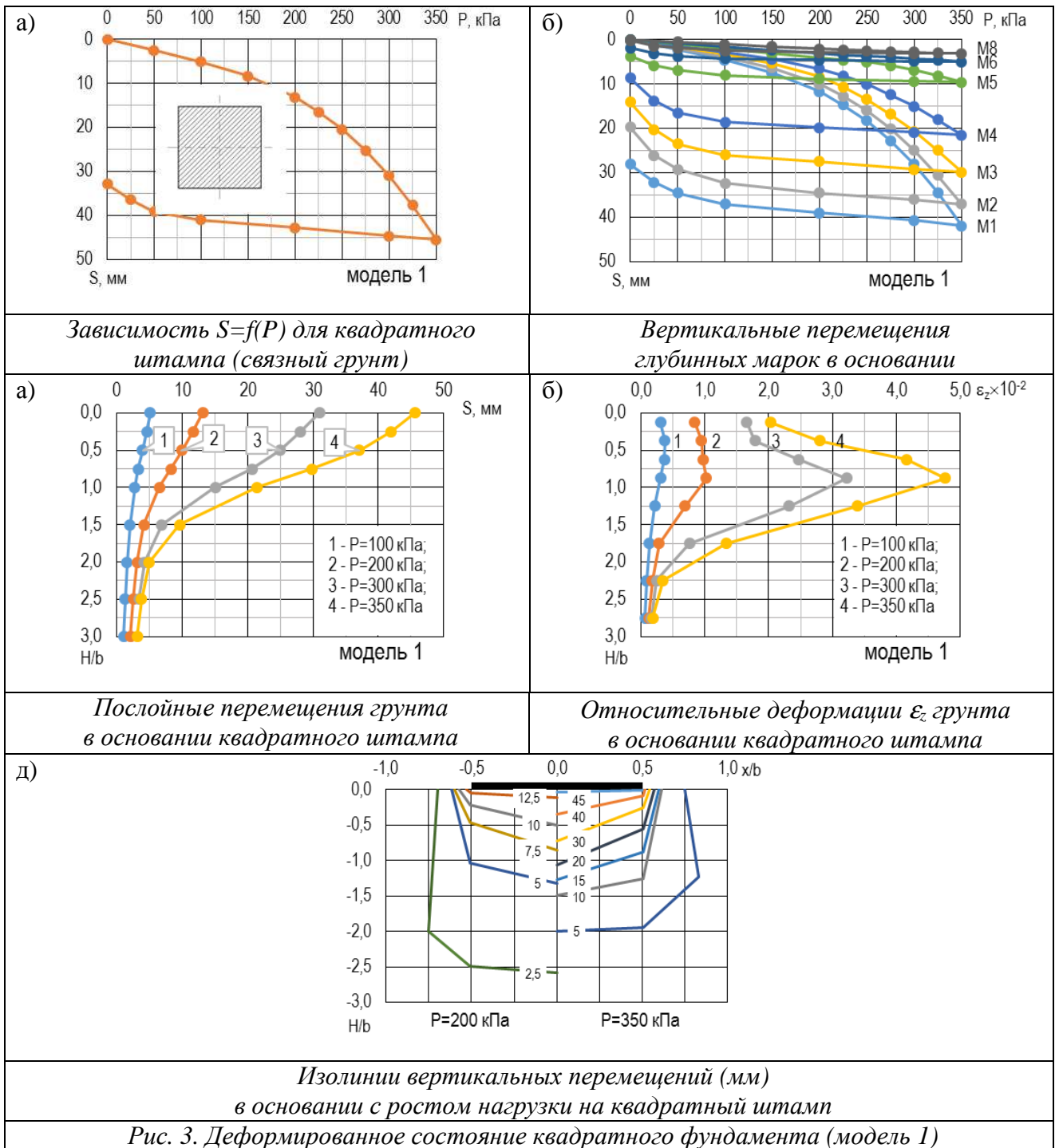
При разгрузке величина остаточных деформаций составила для трехлучевого (модель 3) и крестообразного (модель 4) фундаментов соответственно 59,9%; 47,0%; 36,5%; 31,6% и 57,7%; 48,1%; 34,8%; 31,4%. Для марок М7, М8 на глубине $2,5b$ и $3,0b$ зафиксированы только упругие деформации.

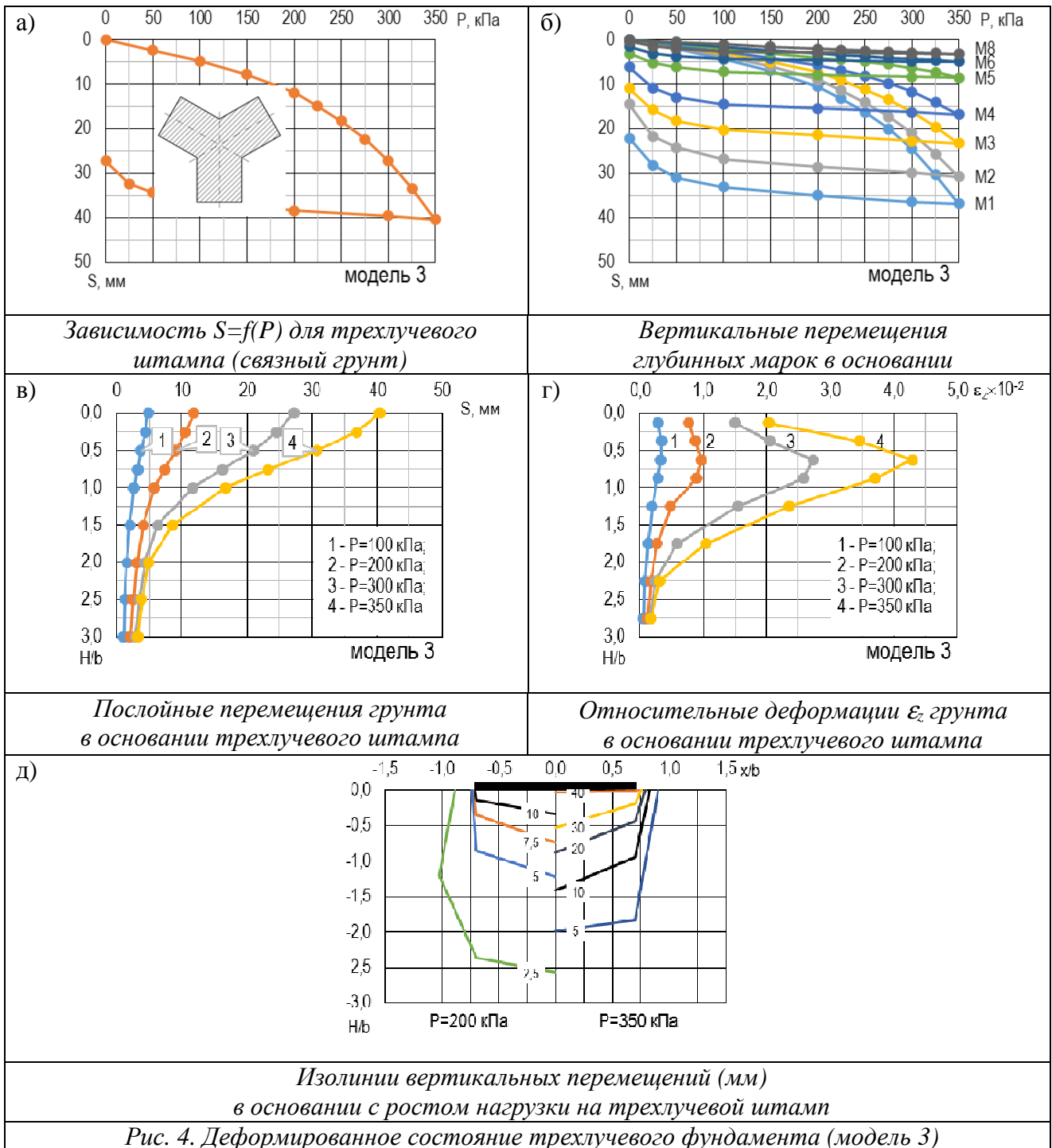
Из графиков видно, что наибольшие относительные деформации ε_z для квадратного фундамента (модель 1) при $P = 350$ кПа наблюдаются на глубине $(0,7-0,8)b$ и составляют 0,048 (рис. 3г). Для трехлучевого (модель 3) и крестообразного (модель 4) фундамента наибольшие относительные деформации ε_z зафиксированы на глубине $0,625b$ и соответственно составляют 0,043 и 0,036 (рис. 4г, 5г).

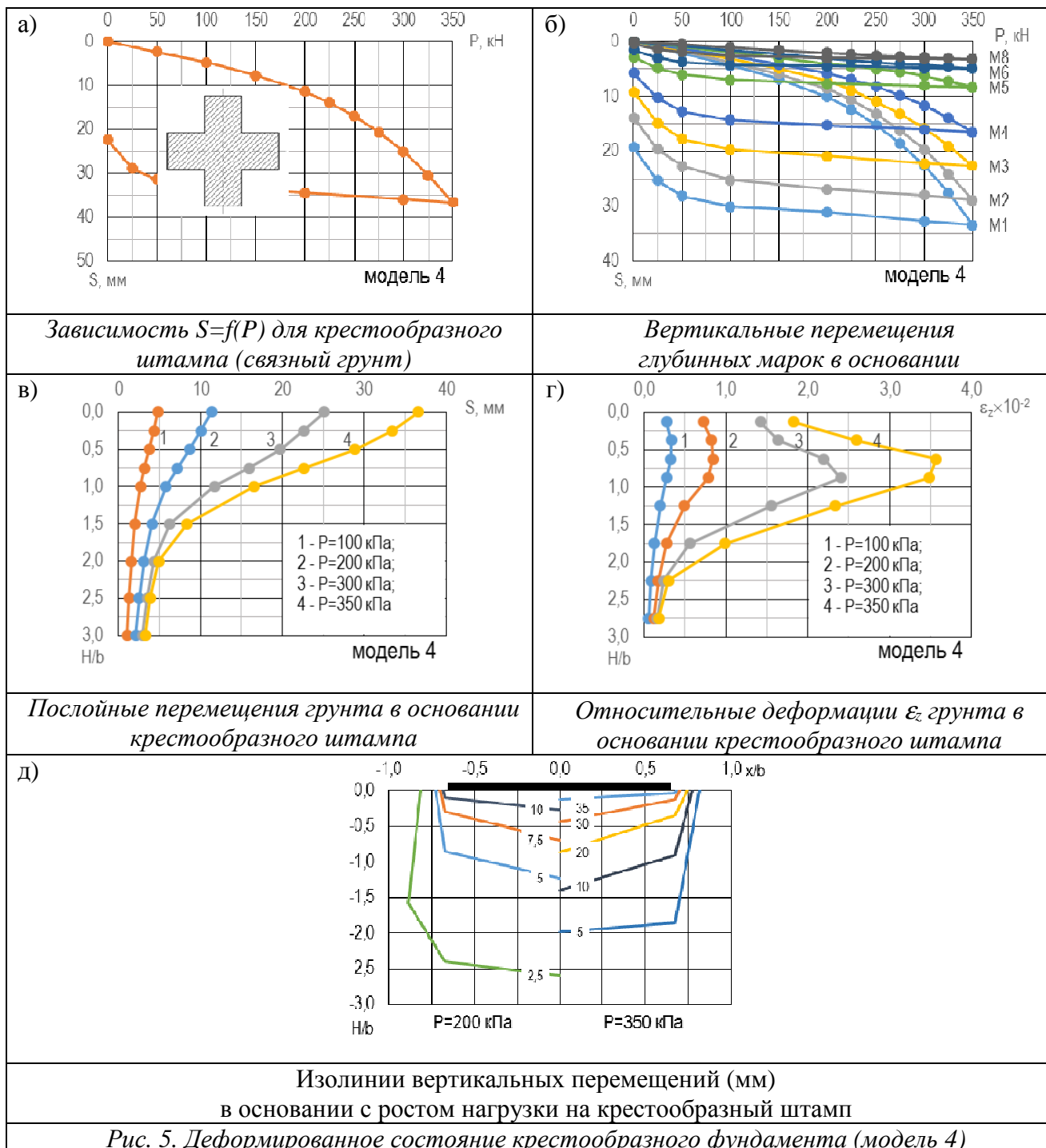
Установлено, что для квадратного штампа (модель 1) нижняя граница зоны деформаций при $P = 350$ кПа находится на глубине $1,6b$, ширина зоны деформаций составляет $1,3b$ (рис. 3д). Результаты исследований свидетельствуют, что для трехлучевого штампа (модель 3) и крестообразного штампа (модель 4) при $P = 350$ кПа нижняя граница зоны деформаций находится на глубине $1,6b$ и $1,65b$ (рис. 4д, 5д). Ширина зоны деформаций для трехлучевого и крестообразного фундамента составляет $1,72b$ и $1,61b$.

Из приведенных данных видно, что при взаимодействии трехлучевого (модель 3) и крестообразного (модель 4) фундамента с основанием в работу включается больший объем грунта, создается «арочный эффект» между выступами штампа, что приводит к снижению осадки и повышению несущей способности фундамента. Результаты экспериментальных исследований согласуются с опытами проф. Е.А. Сорочана [6].

При рассмотрении контактных напряжений в плоскости подошвы квадратного штампа (модель 1) можно обнаружить, что с ростом нагрузки форма эпюры контактных напряжений изменяется от прямоугольной к седлообразной с увеличением ординат σ_z к краям. Эпюра вертикальных напряжений σ_z имеет максимум до глубины $0,5b$, наибольшие значения напряжений σ_z при $P=350$ кПа составляют 314 кПа. Максимальные напряжения σ_z при $P=350$ кПа возникают в области, примыкающей к подошве фундаментов, и достигают значений 287 кПа (трехлучевой штамп) и 282 кПа (крестообразный штамп).







С изменением формы подошвы от квадратной до трехлучевой и крестообразной происходит более быстрое затухание напряжений σ_z с глубиной в активной зоне. Установлено, что контактные напряжения σ_z имеют минимальные значения под центром подошвы фундаментов и концентрацию значений напряжений по краям.

Таким образом, использование эффективных конструкций фундаментов с трехлучевой крестообразной формой подошвы позволяет включить в работу больший объем грунта в

основании, перераспределить контактные напряжения по подошве фундамента и качественно улучшить совместную работу с основанием.

Список литературы

1. Баданин А.Н., Демченко Ю.К. Анизотропные фундаменты мелкого заложения // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2014. – №3. – С. 117–134.
2. Глушков В.Е, Глушков А.В. Оптимизация формы подошвы фундаментов // Материалы V международной конференции «Городские агломерации на оползневых территориях». – Волгоград, ВолгГАСУ, 2010. – С. 49–52.
3. Глушков А.В., Глушков В.Е. Напряженно-деформированное состояние оснований фундаментов сложной формы подошвы // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 3.
4. Патент на полезную модель № 108053 «Крестообразный фундамент с выступом по подошве». – М., Роспатент, 2011 г.
5. Патент на изобретение № 2529977 Российская Федерация. Фундамент с выступами по подошве / Глушков А.В., Бартоломей Л.А., Глушков В.Е. — № 2529977. 2013. – 3 с.
6. Сорочан Е.А. Фундаменты промышленных зданий. – М.: Стройиздат, 1986. – 303 с.
7. Тетиор А.Н. Фундаменты. – М.: Издательский центр «Академия», 2010. – 400 с.

Рецензенты:

Поздеев А.Г., д.т.н., профессор кафедры строительных конструкций и водоснабжения ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола;

Салихов М.Г., д.т.н., профессор кафедры строительных материалов и автомобильных дорог ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола.