

## Работа фундамента с оболочкой в условиях стесненного бокового распора

УДК 69.059

### Евтушенко Сергей Иванович

Профессор, д.т.н., почетный работник высшего образования Российской Федерации, советник РААСН, член РОМГТиФ, профессор кафедры «Информационные системы, технология и автоматизация строительства», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (г. Москва);  
e-mail: evtushenkosi@mgsu.ru

### Калафатов Джафер Амитьевич

к.т.н. ФГАОУ ВО «Крымский Федеральный Университет им. В.И. Вернадского» (г. Симферополь);  
e-mail: jaffer90@mail.ru

**Аннотация.** В статье приводятся анализ результатов экспериментальных исследований фундаментов с оболочкой на песчаном основании. Авторами проанализированы параметры напряженно деформирования состояния основания. В конце статьи приведены задачи и направления дальнейших исследований.

**Ключевые слова:** фундамент в оболочке, напряженно деформированное состояние, ограничение боковой деформации, экспериментальные исследования несущая способность основания

Основная серия опытов на модели фундамент с оболочкой (рис. 1.б) проводились при диаметре фундамента  $D_f = 0,4$  м, а диаметр оболочки  $D_{об}$  варьировался с увеличением соотношения  $= D_f/D_{об}$  1,05; 1,3; 1,8 и 2,5. Оптимальным оказалось отношение  $= 1,2 - 1,4$ , при котором несущая способность была в 4,5 - 5,5 больше чем фундамента по схеме рис. 1.а., что объясняется ограничением бокового распора. Оптимальным соотношением высоты оболочки  $H_{об}$

к ее диаметру  $D_{об}$  принято Борликовым Г.М. равным 0,5. После уплотнения грунта в оболочке при увеличении нагрузки до 0,2 пр, фундамент и оболочка работают как единое целое, т.е. песчаное заполнение практически не уплотняется и осадка фундамента совпадает с осадкой оболочки. Далее фундамент работает как равновеликий по площади фундамент с диаметром равным  $D_{об}$ , в том числе, как показали дальнейшие опыты, это справедливо при заглублении оболочки в грунт основания (Рис. 1.в). Кроме этого за счет улучшенного контакта песчаного заполнителя оболочки и песчаного основания несущая способность такого фундаменты на 20 процентов больше. Нормальные напряжения вдоль вертикальной оси фундамента достигают максимума на уровне середины высоты оболочки. Сжимающие вертикальные и растягивающие горизонтальные напряжения в оболочке плавно возрастают с увеличением глубины и достигают наибольших значений в нижней части оболочки. Более детально анализ НДС автором не приведен. Выводы, сделан-

### THE WORK OF THE FOUNDATION WITH THE SHELL IN THE CONDITIONS CRAMPED LATERAL STRUT

Evtushenko Sergey Ivanovich

Doctor of engineering, Professor, honorary worker of higher education of the Russian Federation, Advisor to the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (RAASN); Member of the Russian Society for Soil Mechanics, Geotechnics and Foundation engineering (RSSMGFE), Professor of the Department of Information Systems, Technology and Automation of Construction; National Research University Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Moscow, Russia;  
e-mail: evtushenkosi@mgsu.ru

Kalafatov Jafer Amitevich

Ph.D. Krimian Federal University, Simferopol, Russia;  
e-mail: jaffer90@mail.ru

**Abstract:** The article presents an analysis of the results of experimental studies of foundations with a shell on a sandy base. The authors analyzed the parameters of the stress-strain state of the base. Overview of foundation structures with sand filling. At the end of the article, the tasks and directions of further research are given.

**Key words:** foundation in a shell, stress-strain state, limitation of lateral de-formation, experimental studies bearing capacity of the base

Анализ результатов экспериментальных исследований фундаментов с оболочкой на песчаном основании проведенные Борликовым Г.М. [1-5] показал следующее. В качестве контрольных опытов автор ставил круглый фундамент на поверхность песчаного массива (Рис. 1.а) и исследовал НДС основания, построил поля плотности и определил несущую способность фундамента. За несущую способность системы «круг-лый фундамент-песчаное основание» принята нагрузка, когда осадка фундамента при постоянной нагрузке не затухала и происходил выпор грунта из-под модели.

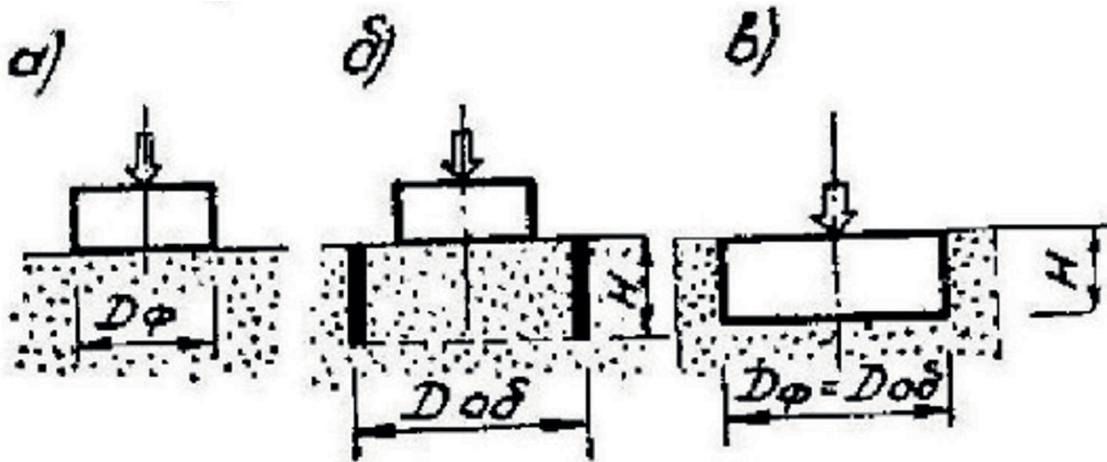


Рис. 1. Схемы проведения опытов

ные в работе Борликова Г.М., привели к тому, что появилось около 50 новых конструктивных решений фундаментов, защищенных патентами, в которых используется песчаный заполнитель.

В настоящей работе, на основании общих законов механики грунтов [6] и механики сплошной среды [7], проанализированы параметры напряженно деформирования состояния песчаного основания. Песчаное основание является прекрасной моделью грунтового массива при проведении экспериментальных исследований т.к. позволяет многократно проводить опыты в идентичных условиях. Это позволяет обеспечить повторность измерения параметров НДС и увеличивает достоверность полученных результатов. На первых этапах экспериментальных исследований НДС особое внимание уделялось изучению контактных давлений, а анализ фактически сводился к одноосному напряженному состоянию Рис. 2.а. Расчетные схемы по модели упруго деформируемых тел (гипотеза Винклера) фактически также выделяют лидирующее значение вертикальным давлениям. По вертикальной оси  $z$  фундамента в оболочке напряженное состояние близко к одноосному сжатию. При этом вдоль оси горизонтальные нормальные напряжения (распор) одинаковые по величине, но противоположные по знаку слева и справа от оси. На вертикальной оси касательные напряжения равны нулю. В модели грунта Пастернака уже учитывается распределительная способность грунта и при постановке плоской задачи учитывает горизонтальные напряжения распора, связанные с вертикальными напряжениями коэффициентом бокового давления (для деформаций используют коэффициент относитель-

ной поперечной деформации грунта аналогичный коэффициенту Пуассона для упругих тел). При проведении экспериментальных исследований на моделях круглых и ленточных (условно бесконечных) фундаментов фактически рассматривают плоскую задачу с двумя главными напряжениями рис. 2.б. В последнее время большое распространение получили стабилметры (приборы трехосного сжатия), но наиболее распространенные позволяют получить равномерное обжатие с двумя равными главными напряжениями соответствующими напряженному состоянию по вертикальной оси фундамента проходящей по центру. Для напряжений в продольном направлении и поперечном, за счет появления касательных напряжений и не только вертикальных, но и горизонтальных деформаций. Прибор трехосного сжатия с независимо регулируемыми главными напряжениями, разработанный Крыжановским А.Л., Воронцовым Э.И., Музафаровым А.А. (а.с. № 302665), позволяет приблизиться к объемному напряженному состоянию, возникающему в песчаном грунте заполнителя оболочки.

Для анализа НДС фундамента с оболочкой грунт в оболочке находится в неоднородном напряженном состоянии. При этом напряжения в разных точках одного сечения неодинаковы и в сечении, параллельном данному, они другие. Если из тела, находящегося в неоднородном напряженном состоянии, выделить бесконечно малый элемент, то по граням этого элемента напряжения можно считать распределенными равномерно, то есть бесконечно малый элемент тела, находящегося в неоднородном напряженном состоянии, находится в условиях однородно-

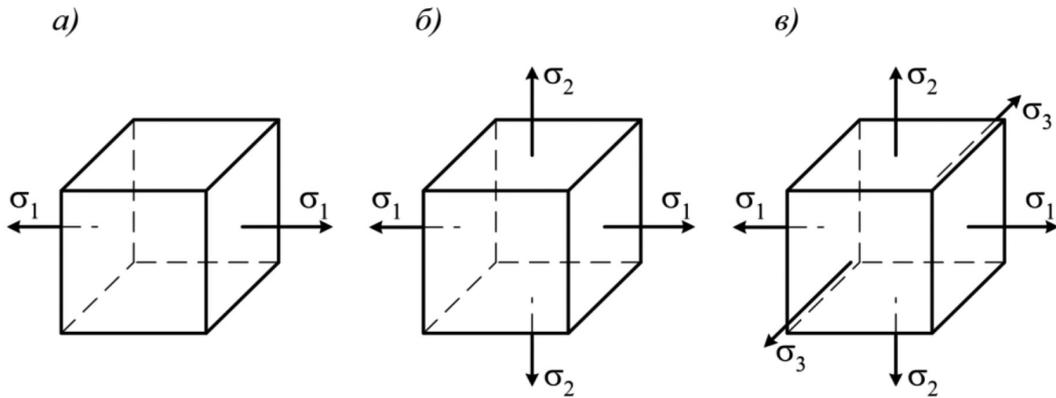


Рис. 2. Виды напряженного состояния

го напряженного состояния. Напряженно деформированное состояние тонкого слоя грунта вдоль оболочки не может расширяться в сторону от вертикальной оси и его моделирование затруднено.

Рассматривая внутри оболочки малый параллелепипед, нагруженный главными напряжениями 1, 2, 3 (рис. 3), мы можем определить напряжения на наклонной площадке с внешней нормалью  $n$ , составляющей с напряжениями 1, 2, 3 соответственно углы 1, 2, 3, и построить эллипсы инерции.

Для определения нормального и касательного напряжений на наклонной площадке мы можем записать формулы:

$$\sigma_\alpha = \sigma_1 \cdot \cos^2\alpha_1 + \sigma_2 \cdot \cos^2\alpha_2 + \sigma_3 \cdot \cos^2\alpha_3;$$

$$\tau_\alpha = \sqrt{\sigma_1^2 \cdot \cos^2\alpha_1 + \sigma_2^2 \cdot \cos^2\alpha_2 + \sigma_3^2 \cdot \cos^2\alpha_3 - \sigma_\alpha^2}.$$

В этих формулах величины называются направляющими косинусами. Они связаны соотношением

$$\cos^2\alpha_1 + \cos^2\alpha_2 + \cos^2\alpha_3 = 1.$$

Согласно закону Ш. Кулона, предельное сопротивление сыпучих грунтов сдвигу прямо пропорционально нормальному давлению рис. 4. Прямая а-в является огибающей кругов предельных напряжений Мора и, по нашему мнению, идентична испытаниям сыпучего грунта на сдвиг. При этом для сыпучих грунтов в СНиП 1962 года вводилось понятие аналогичное сцеплению связных грунтов численно близкое в углу внутреннего трения (сыпучего грунта). Эта особенность сыпучих грунтов приближает их поведению связных грунтов и подтверждает правомоч-

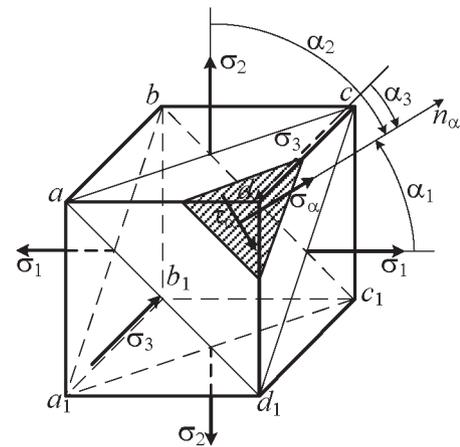


Рис. 3. Объемное напряженное состояние

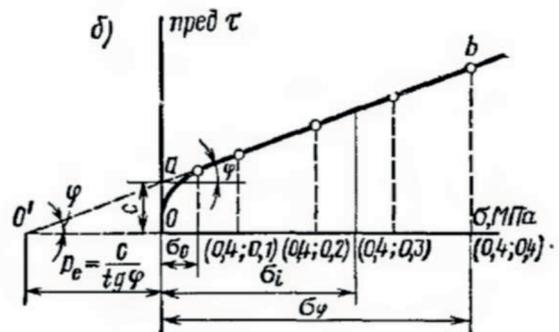
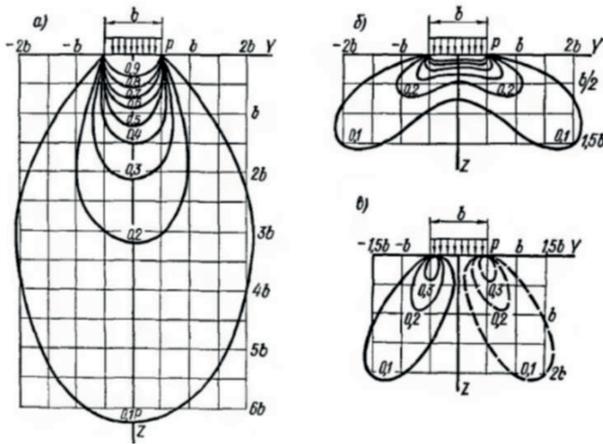


Рис. 4. Кривая предельных сопротивлений сдвигу связного грунта

ность использования песка для моделирования работы грунтового основания фундаментов.



**Рис. 5.** Линии равных напряжений в плоской задаче: *a* – изобары вертикальных напряжений  $z$ , *б* – изобары горизонтальных нормальных напряжений (распор)  $u$ , *в* – изобары сдвиговых касательных напряжений  $uz$

Анализируя рис. 5 (приведен рис. 3.11 [6]) видно, что напряжения аналогичны напряжениям в песчаном заполнении внутри оболочки фундамента.

Распределение распора распространяется в стороны на ширину больше площади подошвы фундамента. Обзор конструкций фундамен-тов с песчаным наполнением и анализ параметров соответствующих де-формаций будет приведен следующей работе.

## Выводы.

Анализ результатов экспериментальных исследований фундамен-тов с оболочкой на песчаном основании позволяет сделать вывод об их эффективности. Анализ параметров напряженно деформирования состо-яния основания показал хорошую сходимость с результатами опытов. Приведены задачи и направ-ления дальнейших исследований.

## Литература

1. Борликов Г.М. Экспериментальные исследования совместной работы фундамента с оболочкой и песчаного основания. - Автореферат дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук. - Новочеркасск, 1971. - 27 С.
2. Мурзенко Ю.Н., Борликов Г.М. Экспериментальные исследования фундамента с пес-чаной подушкой в цилин-дрической оболочке Матер. ко II симпозиуму «Экспери-ментальные исследования инженерных сооружений» (Ленинград), Новочеркасский поли-технический инсти-тут, 1969. - с. 124-133.
3. Борликов Г.М. Исследование несущей способности под фундаментом с оболочками. // Тр. Новочеркасского политехнического института. Том № 216, «Исследования основа-ний, фундаментов и гидротехнических сооруже-ний», Новочеркасск, 1970. - с. 49-57.
4. Борликов Г.М. Натурные испытания железобетонного фундамента с оболочкой. // Тр. Новочеркасского политехнического института. Том № 216, «Исследования основа-ний, фундаментов и гидротехнических сооруже-ний», Новочеркасск, 1970. - с. 158-162.
5. Борликов Г.М. Работа песчаного основания при стеснен-ных боковых деформациях. // Тр. Новочеркасского поли-технического института. Том № 238, «Исследования основа-ний, фундаментов и гидротехнических сооруже-ний», Новочеркасск, 1970. - с. 44-52.
6. Цытович Н.А. Механика грунтов. М.: Высшая школа, 1970. - 638 С.
7. Волосухин В.А., Логвинов В.Б., Евтушенко С.И. Спро-тивление материалов. М.: ИН-ФРА-М, 2014. - 543 С.