

УДК 624.131

А. А. Иванов, А. Н. Богомолов, О. А. Богомолова, М. Ю. Нестратов, Р. Е. Донсков

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ ОБЛАСТЕЙ ПРЕДЕЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ В ОСНОВАНИИ ЩЕЛЕВОГО ФУНДАМЕНТА НА МОДЕЛЯХ ИЗ ЭКВИВАЛЕНТНОГО МАТЕРИАЛА

Приведены результаты лабораторного исследования процесса образования и развития областей предельного состояния в основании щелевого фундамента на моделях из желатино-геля ХС. Модели изготавливались в разборных формах из органического стекла из желатино-геля, имеющего три различные концентрации желатина, а затем выдерживались для дубления в растворе формальдегида. Нагружение моделей до появления признаков зарождения областей предельного состояния проводилось в тех же формах. В результате получены графические зависимости величины интенсивности равномерно распределенной нагрузки, соответствующей моменту начала разрушения, от величины отношения ширины модели фундамента к глубине ее заложения при различных концентрациях желатина в моделиобразующем материале. Сопоставление экспериментальных данных с данными расчета, выполненного при помощи компьютерной программы «Устойчивость. Напряженно-деформированное состояние» и на основе разработанного в ВолгГАСУ инженерного метода, показало их удовлетворительную сходимость.

К л ю ч е в ы е с л о в а: модели из эквивалентных материалов, желатино-гель ХС, области предельного состояния, первая критическая нагрузка, сопоставление результатов расчета и экспериментальных данных.

The results of laboratory research of formation and development process of limit state areas in the basis of box-shaped foundation on the models made of XC gelatin-gel are provided in the article. The models have different forms and they are made of organic glass from gelatin-gel that has three different gelatin concentration, and then these forms were put into formaldehyde solution for tanning. Loading of models until the time when limit state areas appear is carried out in the same forms. Graphic dependences of the intensity of evenly distributed loading corresponding to the moment of the beginning of destruction, on the relation of the width of the foundation model to the depth of its location at various gelatin concentration in the material used for models are received. The comparison of the experimental data to the data of calculations performed with the help of the computer program "Stability. Stress-Strain State" and on the basis of the developed in VSUACE engineering method showed their satisfactory convergence.

К e y w o r d s: models made of the equivalent materials, XC gelatin-gel, limit state areas, first critical loading, comparison of the results of calculation and the experimental data.

В Волгоградском государственном архитектурно-строительном университете разработан инженерный метод расчета несущей способности однородного основания щелевого фундамента [1].

Для подтверждения его адекватности выполнены эксперименты по определению величины интенсивности равномерно распределенной нагрузки, соответствующей моменту зарождения областей предельного состояния в активной зоне основания щелевого фундамента.

При выборе материала для изготовления моделей мы руководствовались тем, что этот материал должен отвечать определенному набору требований, а именно: обладать физическими свойствами, обеспечивающими возможность формирования модели; подобно связным грунтам характеризоваться внутренним трением и сцеплением, которые могут быть определены

стандартными методами; физико-механические свойства материала должны быть такими, чтобы его разрушение происходило при малых нагрузках, т. е. начало процесса разрушения можно было четко зафиксировать.

Всем перечисленным выше требованиям отвечает желатино-гель ХС [2—4]. Использование этого материала позволяет изготавливать модели отливкой раствора желатина в специальные разъемные формы, которые в дальнейшем служат приспособлениями для проведения опытов. После завершения процесса желирования форма разбирается, а модель помещается в широкий сосуд, заполненный раствором формальдегида (формалина) для осуществления процесса дубления (рис. 1).



Рис. 1. Дубление желатиновой модели в растворе формальдегида

После завершения процесса дубления модель вновь помещается в уже собранную форму, стенки которой (в том числе и стенки выреза, куда помещается модель фундамента) предварительно смазаны тонким слоем технического вазелина для исключения влияния на результаты опытов сил трения.

Физико-механические свойства желатино-геля ХС существенным образом зависят от концентрации желатина и времени дубления. Чтобы исключить влияние второго фактора, нами было принято, что процесс дубления во всех случаях будет осуществляться в течение 48 ч.

Для изготовления моделей нами применялись растворы, имеющие три весовые концентрации желатина, — 15; 30 и 45 %.

Испытания специальным образом изготовленных образцов (рис. 2) проведено на сдвиговом приборе ВСВ-25 (рис. 3) по схеме быстрого среза.

На рис. 4 приведены графики зависимостей объемного веса γ , удельного сцепления C и угла внутреннего трения φ от процентной концентрации желатина в образцах, испытанных на сдвиг, а в табл. 1 — соответствующие численные значения.



Рис. 2. Образцы-близнецы из желатино-геля ХС, подготовленные для сдвиговых испытаний



Рис. 3. Сдвиговой прибор ВСВ-25

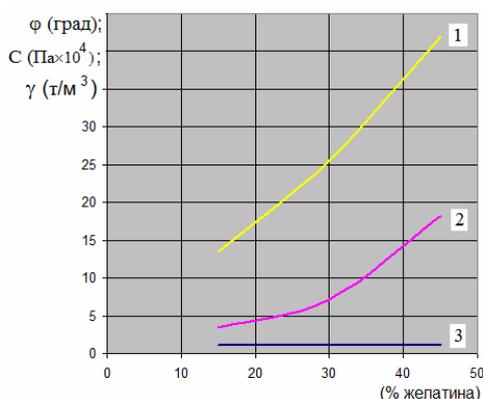


Рис. 4. Графики зависимости угла внутреннего трения ϕ (1), удельного сцепления C (2) и объемного веса γ (3) от процентной концентрации желатина

Таблица 1

Физико-механические свойства желатино-геля

$n, \%$	$\gamma, \text{т/м}^3$	$C, \text{кПа}$	$\phi, \text{град}$
15	1,078	34,8	13,5
30	1,150	72,0	25,5
45	1,240	183,0	42

Следует отметить, что численные значения удельного веса, угла внутреннего трения и удельного сцепления определены как средние арифметические значения для трех серий образцов-близнецов из десяти штук каждая при гидростатическом взвешивании и быстром сдвиге на сдвиговом приборе ВСВ-25.

Эксперименты по определению величины интенсивности внешнего воздействия, соответствующей моменту зарождения областей предельного состояния грунта под подошвой модели щелевого фундамента, проведены в сборно-разборной форме на установке, фотографии которой изображены на рис. 5.

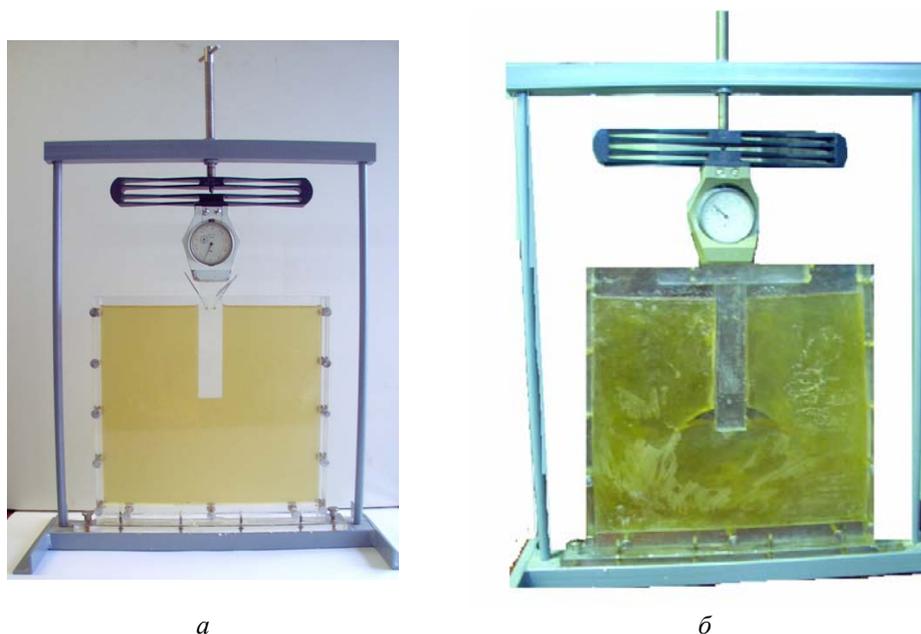


Рис. 5. Вид экспериментальной установки: *a* — общий; *б* — во время проведения эксперимента

Внешние размеры формы 30×30 см, а ширина 3,4 см. Внутренние размеры соответственно 28×28 см и 2 см.

Форма выполнена из оргстекла толщиной 7 мм, а ее элементы скреплены между собой 13 металлическими болтами.

Вставки-штампы из органического стекла, представляющие собой модели щелевых фундаментов, изготовлены высотой 15 см, шириной 1,2 см и толщиной 2 см, т. е. последний размер равен толщине изготавливаемой модели.

Модели формировались с переменной глубиной выреза, чтобы можно было имитировать щелевой фундамент с величиной отношения его ширины к глубине заложения $2b / h_3 = 0,1; 0,15; 0,2; 0,25$ и $0,3$.

Часть вставки-штампа, расположенная выше поверхности модели, служит для опирания динамометра ДОСМ-3-1, измеряющего величину передаваемого на модель основания усилия, создаваемого вертикально расположенным винтом.

Вся вставка-штамп перед проведением опыта тщательно смазывалась техническим вазелином для исключения влияния сил трения.

Суть эксперимента заключалась в следующем. Из желатино-геля ХС с весовой концентрацией желатина равной 15, 30 и 45 % последовательно изготавливались пять партий по пять моделей оснований щелевого фундамента (см. рис. 1), с величиной отношения ширины $2b / h_3 = 0,1; 0,15; 0,2; 0,25$ и $0,3$.

Затем эти модели нагружались через вставку-штамп вертикальной равномерно распределенной нагрузкой до того момента, пока у нижних краев вставки-штампа не начинали отчетливо проглядываться крошечные трещинки — признак начала разрушения (рис. 6). Соответствующие значения

нагрузки фиксировались и принимались за величину, при которой начинают образовываться области предельного состояния в материале модели щелевого фундамента, т. е. за величину первой критической нагрузки.

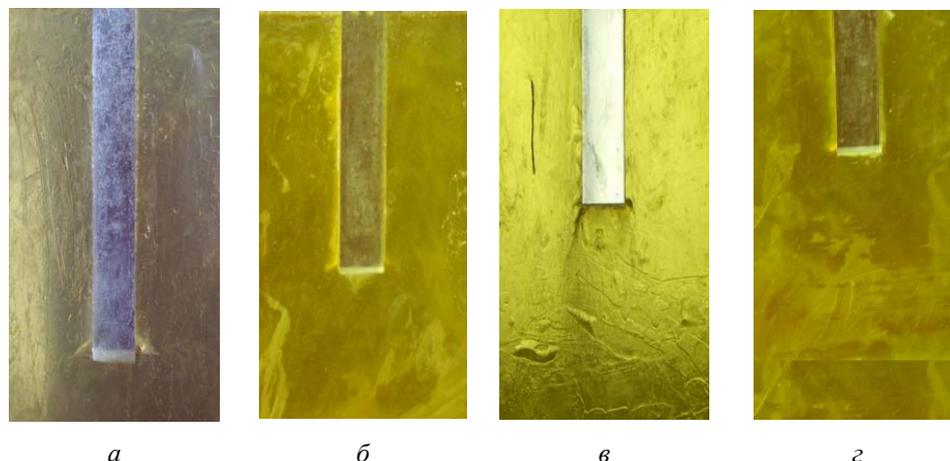


Рис. 6. Момент образования областей пластических деформаций в основании моделей щелевого фундамента при величинах отношения его ширины к глубине заложения: а — $2b/h_3 = 0,1$; б — $0,15$; в — $0,2$; г — $0,3$

Среднее арифметическое из пяти (для каждой партии моделей с одинаковым значением $2b/h_3$) значение q_3 принималось в качестве результата эксперимента для данной партии. Таких экспериментальных значений получено пять, они представлены в табл. 2.

Таблица 2

Экспериментальные и расчетные значения первой критической нагрузки q_3

Концентрация желатина, %	Глубина заложения				
	$2b/h_3$	0,1	0,15	0,2	0,3
15	$q_{3(\text{экспер})}$	9,25	7,00	5,35	5,30
	$q_{3(\text{расчет})}$	9,50	6,75	5,00	5,60
30	$q_{3(\text{экспер})}$	15,50	11,50	8,50	8,41
	$q_{3(\text{расчет})}$	15,00	10,76	7,60	9,00
45	$q_{3(\text{экспер})}$	27,00	20,00	14,80	14,77
	$q_{3(\text{расчет})}$	28,00	17,00	11,00	12,12

В табл. 2 также приведены значения соответствующих нагрузок, полученные на основании расчета, выполненного при помощи компьютерной программы «Устойчивость. Напряженно-деформированное состояние», разработанной в ВолгГАСУ [5]. Отметим, что все расчеты проведены при величине коэффициента бокового давления грунта $\xi_0 = 0,75$, что является средним значением для глинистых грунтов [6].

Графическая интерпретация экспериментальных и теоретических данных в виде зависимостей типа $q_3 = f(2b / h_3)$, приведенный на рис. 7.

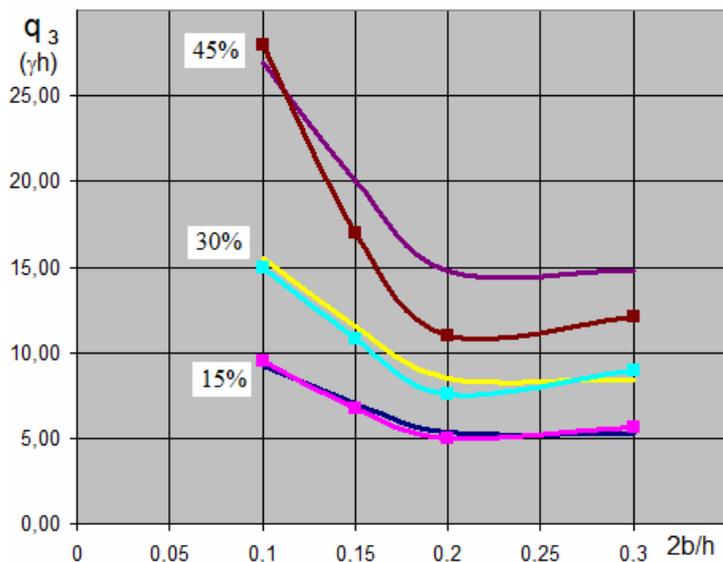


Рис. 7. Графические зависимости вида $q_3 = f(2b / h_3)$, построенные по экспериментальным и расчетным данным (помечены квадратным символом) для моделей оснований щелевого фундамента при различных значениях процентной концентрации желатина в моделиобразующем материале

Как видно из табл. 2, экспериментальные и теоретические данные отличаются друг от друга не более чем на 26 %, причем отличия тем меньше, чем меньше величина отношения $2b / h_3$, и чем меньше процентная концентрация желатина в моделиобразующем материале.

Последнее обстоятельство может быть объяснено тем, что при увеличении процентной концентрации желатина в моделиобразующем материале последний приобретает механические свойства, не характерные для глинистых грунтов, например, угол внутреннего трения $\varphi = 42^\circ$. А выше было отмечено, что расчеты проведены при величине коэффициента бокового давления грунта $\xi_0 = 0,75$, что является средним значением для глинистых грунтов [6].

Следовательно, можно утверждать, что полученные экспериментальные данные с достаточной для инженерной практики степенью точности совпадают с расчетными. Это дает основание полагать, что разработанный в ВолгГАСУ инженерный метод расчета несущей способности щелевого фундамента может быть рекомендован для практического использования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Богомолов А. Н., Иванов А. А., Богомолова О. А.* Инженерный метод и компьютерная программа для расчета несущей способности основания щелевого фундамента // Информационный листок № 34-045-13. Волгоградский ЦНТИ, 2013. 3 с.

2. *Трумбушев В. Ф., Молодцова Л. С.* Применение оптического метода для исследования напряженного состояния пород вокруг горных выработок. М. : АН СССР, 1963. 95 с.

3. *Трумбушев В. Ф., Славин О. К.* Методика моделирования массива горных пород методами фотомеханики. Ч. I—II. М. : ИГД им. А. А. Скочинского, 1975. 50 с.

4. *Малкис Н. И.* Методическое руководство по изготовлению и испытанию хрупкого оптически чувствительного материала желатино-геля ХС. М. : ИГД им. А. А. Скочинского, 1978. 39 с.

5. Устойчивость (Напряженно-деформированное состояние): свидетельство о гос. регистрации программ для ЭВМ № 2009613499 / А. Н. Богомолов и др. № 2009612297 ; заявл. 19.05.2009 ; зарег. в Реестре программ для ЭВМ 30.06.2009. 1 с.

6. *Вялов С. С.* Реологические основы механики грунтов. М. : Высшая школа, 1978. 447 с.

1. *Bogomolov A. N., Ivanov A. A., Bogomolova O. A.* Inzhenernyy metod i komp'yuternaya programma dlya rascheta nesushchey sposobnosti osnovaniya shchelevogo fundamenta // Informatsionnyy listok № 34-045-13. Volgogradskiy TsNTI, 2013. 3 s.

2. *Trumbachev V. F., Molodtsova L. S.* Primenenie opticheskogo metoda dlya issledovaniya napryazhennogo sostoyaniya porod vokrug gornyykh vyrabotok. M. : AN SSSR, 1963. 95 s.

3. *Trumbachev V. F., Slavin O. K.* Metodika modelirovaniya massiva gornyykh porod metodami fotomekhaniki. Ch. I—II. M. : IGD im. A. A. Skochinskogo, 1975. 50 s.

4. *Malkis N. I.* Metodicheskoe rukovodstvo po izgotovleniyu i ispytaniyu khрупкого opticheski chuvstvitel'nogo materiala zhelatino-gelya KhS. M. : IGD im. A. A. Skochinskogo, 1978. 39 s.

5. Ustoychivost' (Napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie): svidetel'stvo o gos. registratsii programm dlya EVM № 2009613499 / A. N. Bogomolov i dr. № 2009612297 ; zayavl. 19.05.2009 ; zareg. v Reestre programm dlya EVM 30.06.2009. 1 s.

6. *Vyalov S. S.* Reologicheskie osnovy mekhaniki gruntov. M. : Vysshaya shkola, 1978. 447 s.

© *Иванов А. А., Богомолов А. Н., Богомолова О. А., Нестратов М. Ю., Донсков Р. Е., 2013*

*Поступила в редакцию
в сентябре 2013 г.*

Ссылка для цитирования:

Экспериментальное исследование процесса образования областей предельного состояния в основании щелевого фундамента на моделях из эквивалентного материала / А. А. Иванов, А. Н. Богомолов, О. А. Богомолова, М. Ю. Нестратов, Р. Е. Донсков // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. 2013. Вып. 2(27). URL: [http://vestnik.vgasu.ru/attachments/IvanonBogomolovBogomolovaNestratovDonskov-2013_2\(27\).pdf](http://vestnik.vgasu.ru/attachments/IvanonBogomolovBogomolovaNestratovDonskov-2013_2(27).pdf)