



УДК 624.138; 624.131.23

В.Р. Мустакимов – кандидат технических наук, доцент кафедры оснований и фундаментов, динамики сооружений и инженерной геологии

Е.В. Иванова – студент

Р.И. Шафигуллин – студент

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СТЕСНЕННОЙ ПРОСАДКИ КВАЗИПРОСАДОЧНОГО И СЖИМАЕМОСТИ РЫХЛОГО ПЕСЧАНОГО ГРУНТОВ, АРМИРОВАННЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

Достоверность результатов экспериментальных исследований структурно неустойчивых грунтов зависит от выбора модели грунта для экспериментальных испытаний его в лабораторных условиях с сохранением физико-механических свойств ненарушенной структуры. В настоящей работе приведены результаты экспериментальных испытаний двух моделей структурно неустойчивых оснований, включая грунты, проявляющие просадочные свойства при их увлажнении, а также рыхлые, несслежавшиеся песчаные грунты.

Отличительной особенностью просадочных грунтов является их макропористая и не устойчивая к увлажнению структура. При увлажнении просадочные макропористые породы проявляют дополнительную деформацию, называемую просадкой. При отборе образцов просадочного грунта с ненарушенной структурой для проведения штамповых испытаний в условиях объемного лотка не представляется возможным сохранить природную структуру испытуемого грунта. Это является проблемой многих исследователей, решение которой предлагается в настоящей работе.

Целью исследований является искусственное создание макропористой структуры модели грунта с неустойчивыми к увлажнению структурными связями из образца лессовидного суглинка с нарушенной структурой, а также исследование качественных и количественных характеристик деформативности просадочного и рыхлого грунтов, армированных вертикальными элементами.

Для достижения поставленной цели были решены задачи по проектированию, изготовлению и монтажу лабораторного оборудования и приборов, а также проведены испытания грунтов в лабораторных условиях.

Предложен способ и метод создания искусственно структурированного массива грунта в полости объемного лотка или срезного кольца одометра. Искусственно созданный в лабораторных условиях грунт, имеющий макропористую структуру и при увлажнении которого проявляются просадочные свойства, авторами предлагается называть

квазипросадочным грунтом. Исследовалась просадочность и стесненная просадка квазипросадочного грунта без армирования и с армированием вертикальными элементами в одометре с повышенным срезным кольцом и объемном лотке. Эксперименты проводились в два этапа, включая маломасштабные в стандартном одометре и масштабные в объемном лотке.

В объеме настоящей работы приведены исследования первого этапа. Маломасштабные эксперименты включают испытание квазипросадочного грунта в одометре с использованием стандартных колец высотой 25 мм и повышенных колец высотой 150 мм (рис. 1, 2).

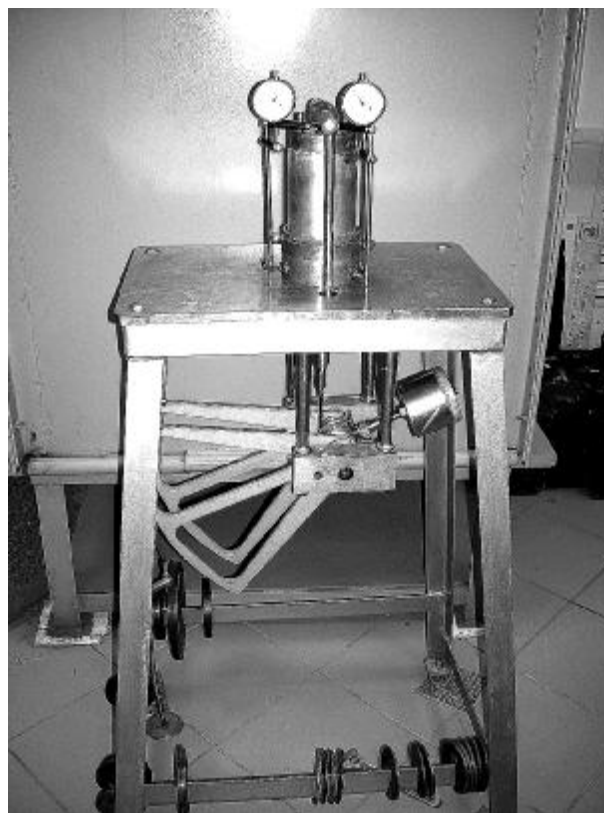


Рис 1. Прибор для испытания грунтов в одометре с повышенным кольцом

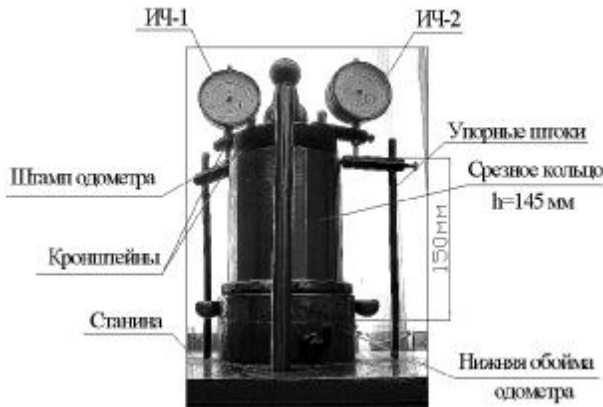


Рис. 2. Одометр с повышенным срезным кольцом высотой $h_k = 150$ мм

Для приготовления образцов квазипросадочного грунта использовалась сухая смесь лессовидного суглинка нарушенной структуры и комовая негашеная известь СаО по ГОСТ 9179-77. Тщательно перемешанная смесь этих компонентов при различном их дозировании в сухом состоянии засыпалась в полость срезного кольца одометра без уплотнения, и производилось замачивание смеси сверху. В результате замачивания сухой смеси суглинка и негашеной извести (кипелки) происходил экзотермический процесс гашения извести со значительным увеличением объема образца грунтово-известковой смеси в кольце (рис. 3.). Увеличение объема образца, искусственно созданного при гашении извести, составило от 1,7 до 2 раз. Это происходит за счет образования макропор при использовании быстрогащейся извести. После просушивания в сушильном шкафу и охлаждения кольцо с образцом квазипросадочного грунта устанавливалось в одометр и проводились компрессионные испытания.

Испытания проводились для серии образцов при различном соотношении компонентов квазипросадочного грунта (суглинок - негашеная



Рис.3. Увеличение объема образца квазипросадочного грунта после гашения грунтово-известковой смеси водой

известь). Для описания просадочности квазипросадочного грунта использовался коэффициент

$$e_{sl} = \frac{h_{n.p.} - h_{sat.p.}}{h}$$

относительной просадочности e_{sl} , определенный экспериментально по стандартной методике при помощи одометра. Результаты компрессионных испытаний квазипросадочного грунта в условиях одноосного сжатия с замачиванием образцов приведены на графиках $h=f(p)$ (рис.4.).

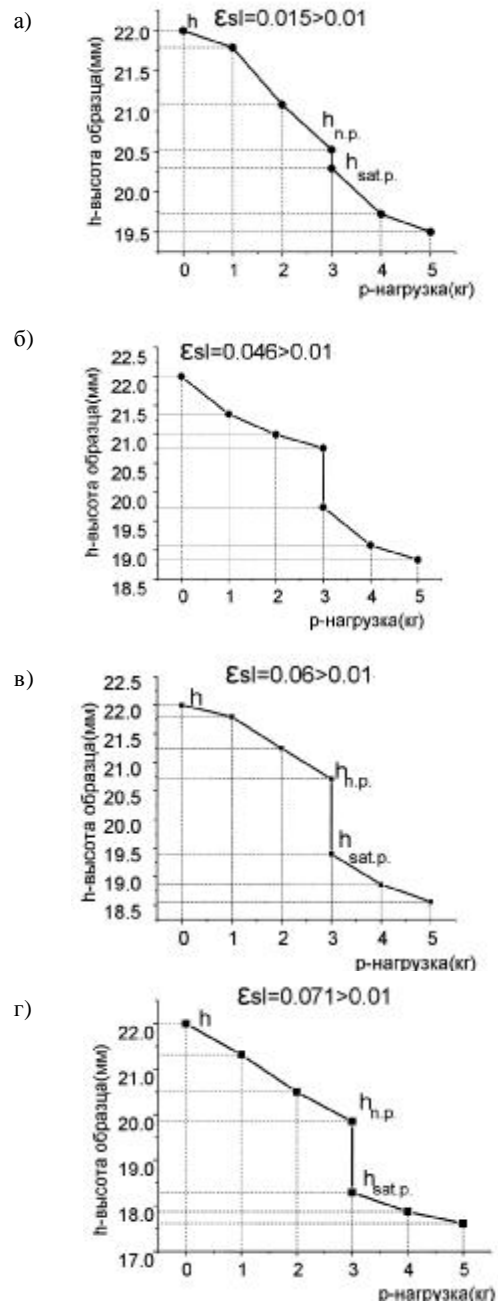


Рис.4. Компрессионные зависимости $h=f(p)$ для модели квазипросадочного грунта в зависимости от дозирования составляющих грунт компонентов (суглинок – негашеная известь): а – суглинок - 60%, СаО - 40%; б – суглинок - 50%, СаО - 50%; в – суглинок - 40%, СаО - 60%; г – суглинок - 30%, СаО - 70%



Таблица 1

№№ образцов грунта на рис. 4	Составляющие компоненты (суглинок - негашеная известь) в сухой смеси модели квазипросадочного грунта, %		Коэффициент относительной просадочности, e_{sl} при нагрузке на штамп одометра $P=3 \text{ кг}$
	Лессовидный суглинок	Негашеная известь (комовая) СаО	
4а	60	40	0,015
4б	50	50	0,046
4в	40	60	0,060
4г	30	70	0,071

Влияние дозирования компонентов при моделировании квазипросадочного грунта на изменение величины e_{sl} приведено в таблице 1.

При нагрузке 3 кг на штамп одометра производилось замачивание грунта до полного водонасыщения по схеме снизу вверх. Из графиков (рис. 4) видно, что при увлажнении квазипросадочного грунта происходит скачкообразная деформация макропористого грунта, аналогичная реальному процессу деформации, происходящему в просадочных грунтах при их замачивании. Следовательно, искусственно созданная макропористая структура грунта, с определенными допущениями, может быть использована в качестве модели при лабораторных исследованиях просадочных грунтов в одометре, стабилометре и объемном лотке, с заданной величиной e_{sl} .

Для исследования квазипросадочного грунта, армированного вертикальными элементами-моделями, был проведен цикл испытаний с использованием срезных колец высотой $h_k=150 \text{ мм}$. Для этого по изложенной выше технологии изготавливался квазипросадочный образец

грунта. В образце квазипросадочного грунта при помощи сверла $d=6 \text{ мм}$ пробуривались шурфы (рис.5). Приготавливался раствор текуче-пластичной консистенции из смеси цемента (60%), строительного гипса (40%) и воды. Свежеприготовленный раствор при помощи технического шприца инъецировался в полость скважин образца до полного их заполнения (рис. 5).

Образцы квазипросадочного грунта с армированием после набора проектной прочности вертикальными армоэлементами были испытаны в одометре с замачиванием. После замачивания нагруженного под штампом одометра образца квазипросадочного грунта, армированного вертикальными элементами, происходила стесненная просадка. Величина стесненной просадки изменялась в зависимости от длины армирования образцов. Проведено испытание грунта в одометре без армирования и три цикла с армированием при длине элементов: 50 мм ($0,3h_k$); 75 мм ($0,5h_k$) и 105 мм ($0,7h_k$) (рис. 6).



Рис. 5. Изготовление армоэлементов в образце квазипросадочного грунта:
а) высверливание шурфов $d=6 \text{ мм}$; б) армированный грунт

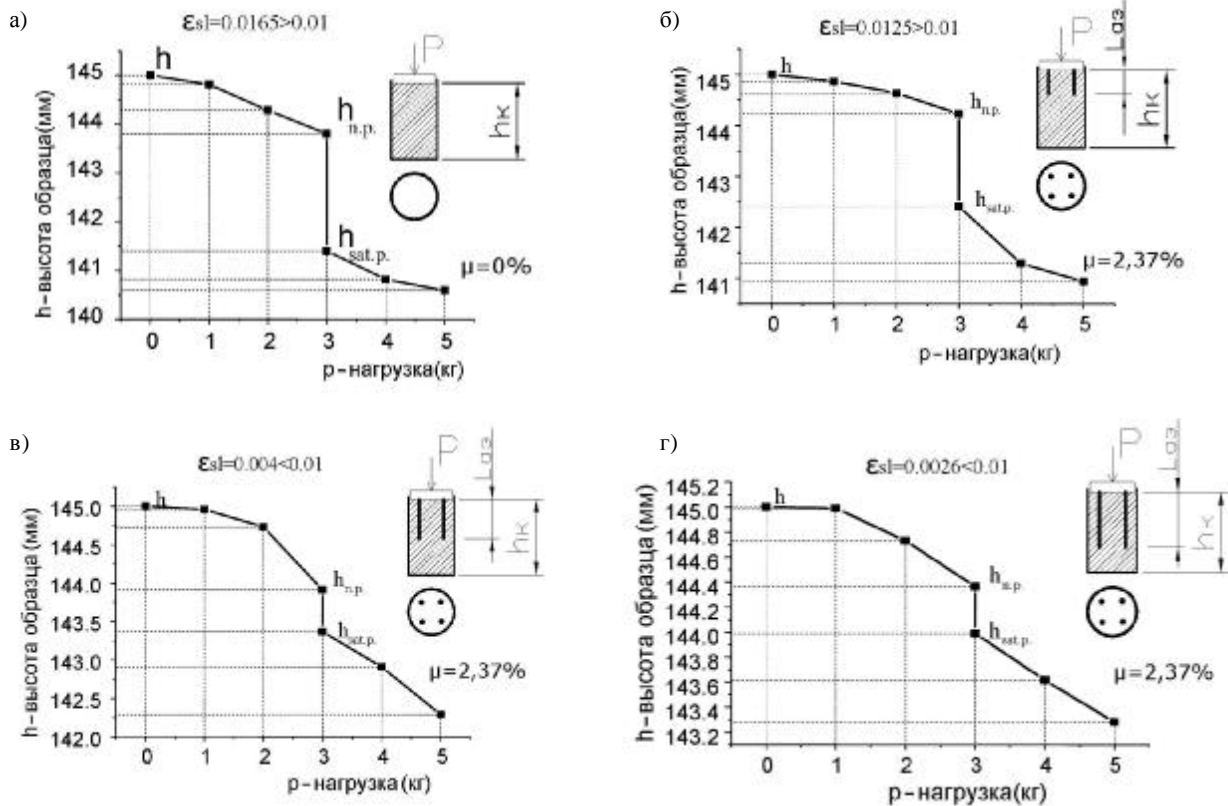


Рис. 6. Зависимость $h=f(p)$ для модели квазипросадочного неармированного и армированного грунта при $m = 2,37\%$, в зависимости от длины армирования кольца одометра $h_k = 150$ мм: а) без армирования; б) армирован элементами длиной $L_{арм} = 50$ мм; в) то же $L_{арм} = 75$ мм; г) то же $L_{арм} = 105$ мм

Результаты экспериментального определения e_s модели грунта, армированного вертикальными элементами-моделями, приведены в таблице 2.

Экспериментальным испытаниям также были подвергнуты рыхлые, несслежавшиеся песчаные грунты, армированные вертикальными элементами, в связи с их недостаточной изученностью. Автором проведен цикл лабораторных исследований деформативности песчаного грунта, армированного различными вертикальными элементами, в одометре. Исследовались качественные и количественные характеристики деформативности рыхлого песка, не армированного и армированного вертикальными элементами. Испытаниям был подвергнут мелкий песок в рыхлом состоянии плотностью $\Gamma = 1,51 \text{ г/см}^3$, с коэффициентом пористости $e = 0,76$ при различном проценте армирования $\mu, \%$; диаметре $d_{ар}$ и длине $l_{ар}$ армоэлементов. В качестве армирующих элементов использовались деревянные модели с шероховатой и шероховатой (спиралевидной) боковой поверхностью. Принимались три характерные длины, армоэлементов: $L_{арм} = 50$ мм; $L_{арм} = 75$ мм; $L_{арм} = 105$ мм. Образцы рыхлого, несслежавшегося песка, приготовленного для проведения компрессионных испытаний под штампом одометра, а также использованные для вертикального армирования

элементы-модели с шероховатой поверхностью приведены на рисунке 7.

Результаты экспериментальных исследований деформативности рыхлых, несслежавшихся песчаных грунтов, армированных вертикальными элементами-моделями, приведены на графиках $e=f(p)$ (рис. 8) и $E=f(\mu)$ (рис. 9).

Анализ графиков зависимости $e=f(p)$ (рис. 8) и $E=f(\mu)$ (рис. 9) позволяет установить влияние вертикального армирования на деформативность рыхлого, несслежавшегося песка. Осадка штампа имеет тенденцию к снижению при увеличении процента армирования грунта m , длины армоэлементов $l_{ар}$, а также шероховатости боковой поверхности армоэлементов.

По результатам проведенных экспериментов по созданию искусственной модели грунта, проявляющего просадочные свойства, а также исследования деформативности структурно неустойчивых грунтов можно сделать следующие выводы:

1. Получена экспериментальная модель и предложена технология изготовления искусственного грунта, способного проявлять просадочные свойства, адекватные деформации просадки грунта природного происхождения при замачивании. Такой грунт получил

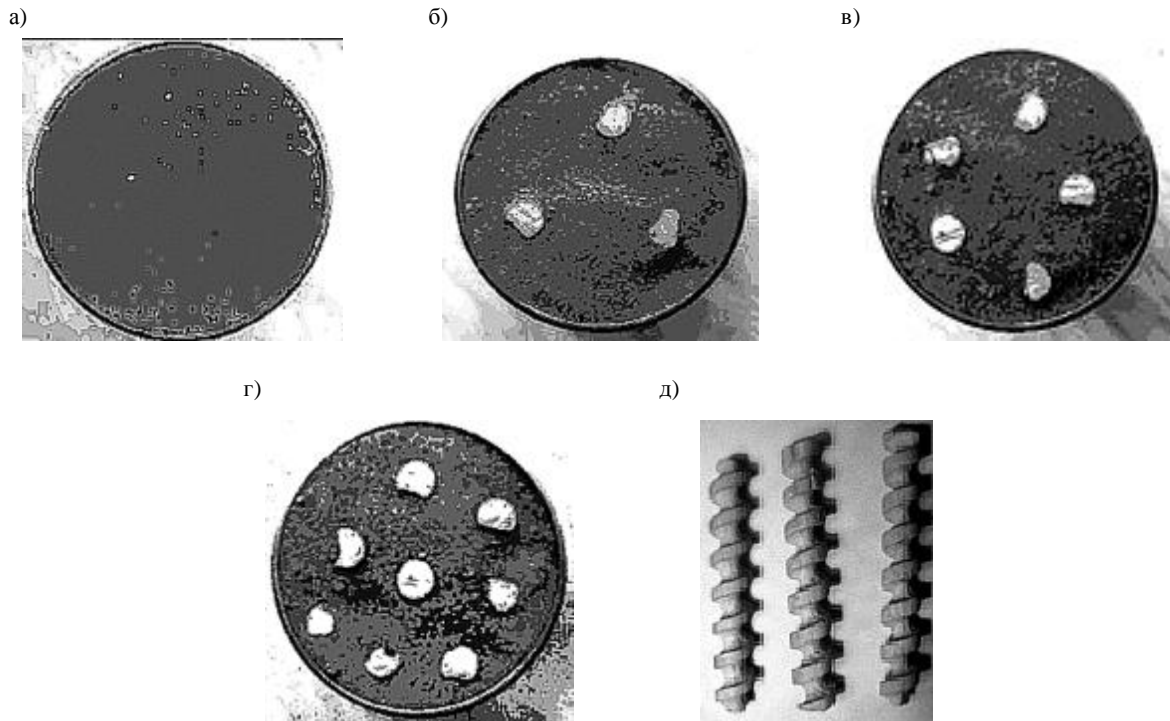


Рис.7. Образцы с рыхлым песком, армированным деревянными элементами-моделями. а) грунт без армирования; б) грунт армированный тремя армоэлементами-моделями; в) то же пятью; г) то же восемью

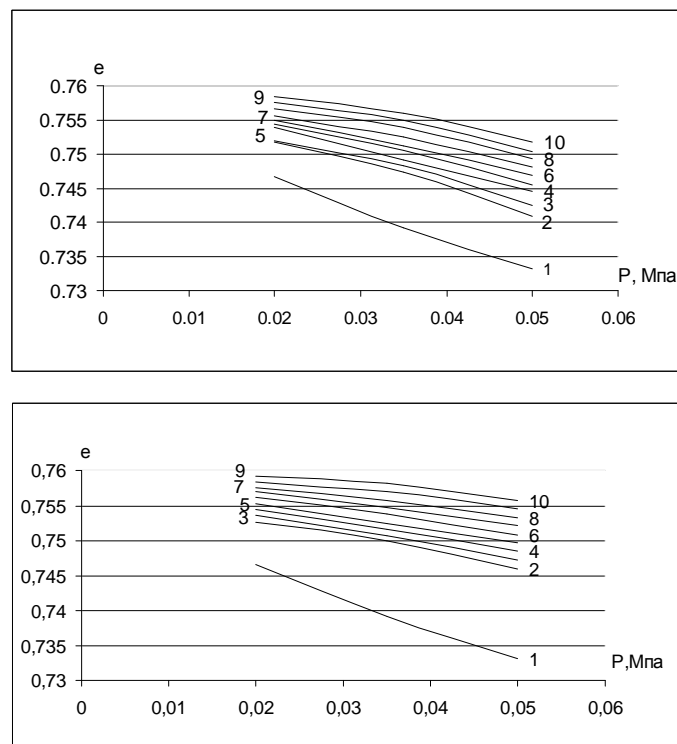


Рис.8. Зависимость $e=f(P)$ при различном проценте армирования рыхлого песка вертикальными элементами-моделями с нешероховатой (а) и шероховатой (б) боковой поверхностью: 1 – грунт не армирован $m=0,000\%$; 2 – грунт армирован тремя элементами, $laэ.=50\text{мм}$, $m=3,1\%$; 3 – то же пятью, $m=5,2\%$; 4 – то же восемью, $m=8,4\%$; 5 – грунт армирован тремя элементами, $laэ.=75\text{мм}$, $m=3,1\%$; 6 – то же пятью, $m=5,2\%$; 7 – то же восемью, $m=8,4\%$; 8 – грунт армирован тремя элементами, $laэ.=100\text{мм}$, $m=3,1\%$; 9 – то же пятью, $m=5,2\%$; 10 – то же восемью, $m=8,4\%$

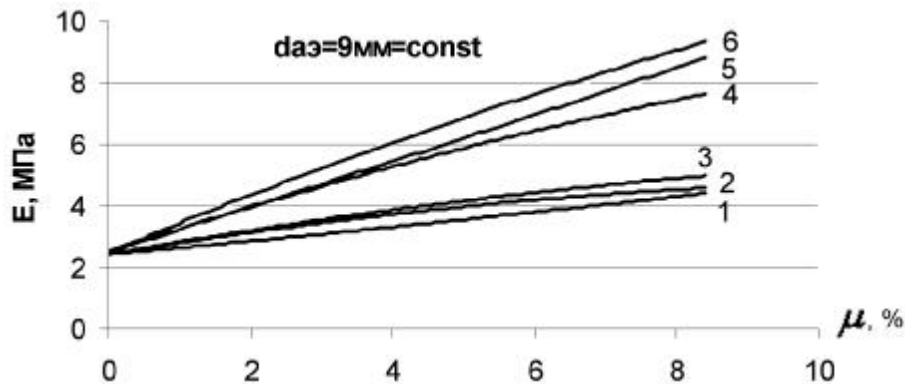


Рис.9. Зависимость $E=f(\mu)$ при различном проценте армирования рыхлого песка вертикальными элементами с шероховатой (кривые 1-3) и шероховатой боковой поверхностью (кривые 4-6) 1, 4 – грунт армирован элементами $laэ=1/3hк=50$ мм; 2, 5 – грунт армирован элементами $laэ=2/3hк=75$ мм; 3, 6 – грунт армирован $laэ=3/2hк=100$ мм

название квазипросадочного грунта. Использование квазипросадочного грунта позволяет моделировать работу просадочного грунта, его можно испытывать не только в одометре, стабилометре и приборе объемного сжатия, но и в плоских и объемных лотках больших размеров.

2. Экспериментально установлено, что в условиях стесненной просадки вертикально армированного грунта без возможности бокового расширения минимальной глубиной армирования массива, при которой $e_{sl} < 0,01$, является величина, равная $0,6h_k$, где h_k – высота кольца одометра или мощность просадочной толщи ниже подошвы фундамента.

3. Полученные результаты позволяют приступить к исследованию напряженно-деформированного состояния квазипросадочного грунта в условиях штамповых испытаний в объемном лотке.

4. Армирование вертикальными элементами-моделями рыхлого, несслежавшегося песка без возможности бокового расширения при различном проценте его армирования ($\mu=0,000-8,4\%$) и шероховатости боковой поверхности позволяет повысить величину модуля общей деформации от 30 до 50% (см. график $E=f(\mu)$, рис. 9).

Литература

Мустакимов В.Р. Прочность и деформативность просадочных грунтов оснований, армированных вертикальными армоэлементами. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. – М.: МГСУ, 2004. – 24 с.