

Калачук Т. Г., канд. техн. наук, доц.,
Юрьев А. Г., д-р техн. наук, проф.,
Карякин В. Ф., канд. техн. наук, проф.
Выскребенцев В. С., аспирант

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

О НАЧАЛЬНОМ ДАВЛЕНИИ ПРОСАДОЧНЫХ ГРУНТОВ

gkadast@mail.ru

В статье изложены результаты полевых исследований по изучению характера деформаций просадочных грунтов в основании фундаментов. Приведена методика определения начальной просадочной влажности в лабораторных условиях, полученные величины начальной просадочной влажности исследуемого грунта.

Ключевые слова: грунты, начальное просадочное давление, полевые исследования, лессовые грунты, напряжения.

На юге России и Украины широкое распространение имеют слабопросадочные ($S_{pbw} = 15$ см) и среднепросадочные ($15 \leq S_{pbw} \leq 50$ см) грунты лессовых толщ. Для этих грунтов характерно развитие значительных просадок в активной зоне от нагрузок сооружений. У транспортных и гидротехнических сооружений с ленточными и отдельно стоящими фундаментами при $b \leq 2,0$ м и $P = 0,2$ МПа – просадки от нагрузки сооружения $S_{pw} = 15 \div 20$ см, а активная (деформируемая) зона – $Hq = 1,7 \div 0,15$ м; со сплошной плитой при $P = 0,12 \div 0,15$ МПа – $S_{pw} = 25 \div 33$ см, $Hq = 4,0 \div 6,0$ м. Меньшие значения просадки от нагрузки сооружения соответствуют слабопросадочным лессовым толщам, а большие – среднепросадочным.

Согласно [7], недоуплотненное состояние грунтов является показателем просадочности:

$$П = \frac{e_L - e}{1 + e}, \quad (1)$$

где e – коэффициент пористости грунта природного сложения и влажности; e_L – коэффициент пористости, соответствующий влажности на границе текучести и определяемый по формуле:

$$l_L = W_L \frac{\rho_s}{\rho_w}, \quad (2)$$

где ρ_s – плотность грунта; ρ_w – плотность воды, равна 1.

К просадочным относятся лессы и лессовидные грунты, для которых при числе пластичности $0,01 \leq I_p < 0,1$; $0,01 \leq I_p < 0,14$ и $0,14 \leq I_p < 0,22$ показатель просадочности $П$ соответственно меньше 0,1; 0,17 и 0,24.

Степень изменения прочности при увлажнении просадочных грунтов через их прямые прочностные характеристики следует оценивать коэффициентом K_c , представляющий собой произведение отношений сцепления и угла внутреннего трения при естественной влажности и в водонасыщенном состоянии:

$$K_c = \frac{C_L \cdot \varphi_c}{C_b \cdot \varphi_b} \quad (3)$$

K_c может служить и количественной характеристикой прочности. На рис.1 приводится его зависимость от относительной просадочности, которая может быть принята линейной.

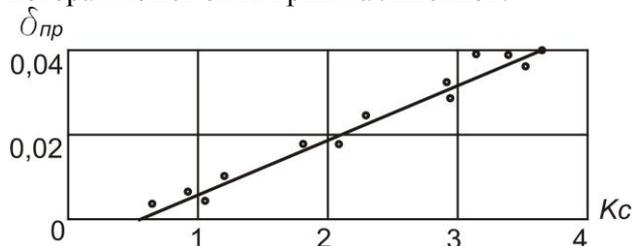


Рис. 1. Зависимость относительной просадочности $\delta_{пр}$ от степени снижения прочности лессовидных суглинков K_c .

Начальное просадочное давление в полевых условиях, когда напряженное состояние грунта в основном зависит от нагрузки фундаментов, определяем комбинированным способом, суть которого состоит в том, что на каждом участке испытания проводят двумя штампами стандартных размеров, установленных на расстоянии 4 м один от другого.

В первом пункте штампы устанавливаются на просадочный грунт естественной влажности, отдельными ступенями загружают до заданного давления на грунт (0,3 МПа), после чего грунт в основании штампа замачивают до стабилизации просадки. Во втором пункте грунт предварительно водонасыщают на глубину 0,8-1,0 м и в дальнейшем штамп нагружают ступенями по 0,025-0,05 МПа до заданной нагрузки с непрерывным замачиванием.

Слабопросадочные толщи лессовых грунтов в основном составляют от 16 до 28 м при пористости $n = 38-44\%$ и относительной просадочности при природных нагрузках $\delta_{p\delta w} = 0,01-0,031$. Для среднепросадочных толщ лессовых грунтов $H = 20-30$ м – $n = 39-48\%$, $\delta_{p\delta w} = 0,01-0,044$. Для среднепросадочных толщ лессовых грунтов ($S_{p\delta w} > 50$ см) – $H = 14-39$ м, $n = 40-51\%$, $\delta_{p\delta w} = 0,01-0,065$.

Начальное давление просадочности P_{np} для слабopосадочных толщ лессовых грунтов составляет $0,085 \div 0,125$ МПа, для среднепросадочных – $0,06 \div 0,08$ МПа, для сильнопросадочных – $0,035 \div 0,05$ МПа, но чаще P_{np} находится в пределах от 0,07 до 0,012 МПа. Следует особо подчеркнуть, что приведенные числовые значения по просадке имеют место при инфильтрации. При подъеме подземных вод абсолютная просадка лессовых грунтов часто оказывается меньше. Это объясняется тем, что при подъеме подземных вод происходит повышение влажности грунта до полного водонасыщения, препятствующего проявлению просадочных свойств грунтов. Также не образуется расклинивающее упругое ядро, которое имеет место при инфильтрации.

Полевые исследования позволили изучить характер деформации просадочных грунтов в основании фундаментов. Выявлено, что в общем случае просадочные грунты основания подразделяются на 3 характерные зоны.

Зона I – деформируемая (активная), в которой просадка проявляется при совместном действии нагрузки фундамента и собственного веса грунта; распространяется от подошвы фундамента до глубины, где вертикальное напряжение от нагрузки, передаваемой сооружением и весом грунта равно величине начального просадочного давления ($P_{сум} = P_{np}$). При суммарном давлении на грунт с меньшей величиной начального просадочного давления и при недостаточном увлажнении, когда влажность оказывается меньше начальной (W_n) влажности, просадки фундаментов не проявляются.

При определении величины начальной просадочной влажности в лабораторных условиях за критерий принималась относительная просадочность $\delta_{pw} = 0,01$.

Методика определения начальной просадочной влажности в лабораторных условиях основывалась на компрессионных испытаниях грунта по методу двух кривых (из монолита вырезали 4-5 образцов). Один образец испытывали при природной нагрузке с нагружением отдельными ступенями до максимального давления. Остальные образцы испытывались в компрессионном приборе после предварительного повышения их влажности от исходной величины до полного водонасыщения на более или менее равные интервалы. Предварительно влажность образцов грунта повышалась путем заливки в них расчетного количества воды. По полученным результатам компрессионных испытаний строились графики зависимости относительного сжатия от нагрузки при различных значениях влажности. На эти же графики нанесены вспо-

могательные кривые (пунктирные линии), параллельные кривым относительного сжатия при влажности $\delta_{pw} = 0,01$. По точкам пересечения этих кривых с кривыми относительного сжатия лессового грунта при различной влажности определялось давление на грунт, при котором величина начальной просадочной влажности равнялась влажности исследуемого грунта. Полученные величины начальной просадочной влажности и соответствующего им давления на грунт, использованы для построения графика зависимости относительной просадочности при этих давлениях от степени повышения влажности и величины начальной просадочной влажности от давления.

На рис. 2 приводится график зависимости начальной просадочной влажности от давления при различной пористости грунтов.

Необходимо знать вид структуры лессового грунта. Величины давления, соответствующие меньшему значению изменений ϵ , когда структурные связи преодолены, названы структурной прочностью сжатия – $P_{сmp}$. Деформируемая зона ограничивается глубиной, где $P_z + P_{\sigma z} = P_{сmp}$, либо глубиной лабораторной, когда $P_z = P_{сmp}$.

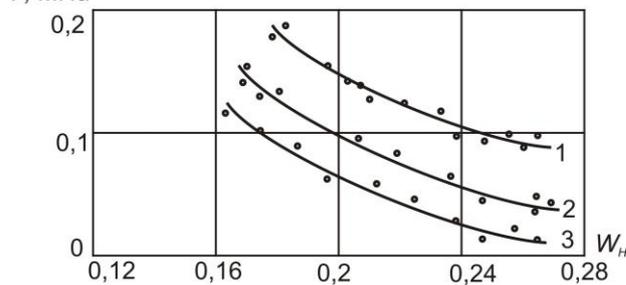


Рис. 2 График зависимости начальной просадочной влажности от давления для грунтов с пористостью n : 1 – 40-44%; 2 – 44-46%; 3 – 48-50%

В пределах активной зоны лессовые грунты деформируются не только в вертикальном, но и в горизонтальном направлениях. На данное явление указывает ряд авторов [1,2,5,6], С.С. Саватеевым установлено, что при замачивании под штампами имеет место параболическая или даже колоколообразная эпюра контактных напряжений. По мере затухания деформаций и упрочнения грунта, эпюры контактных напряжений постепенно возвращаются к первоначальному виду. Такие изменения напряжения над штампами (фундаментами) скажутся в первую очередь на проявлении боковых деформаций. Данное обстоятельство подтверждается и нашими опытами. Глубина деформируемой зоны зависит от размеров фундаментов, глубины их залегания, передаваемого давления на грунт и величины его начального просадочного давления. Размеры деформируемой зоны в горизонтальном направлении зависят от тех же величин. Зависи-

мость $\frac{h_{\text{деф}}^b}{b}$, где b – размер подошвы фундамента, от удельного давления для вертикального направления представлена на рис. 3, а для горизонтального – $\frac{h_{\text{деф}}^2}{b}$ – на рис. 4.

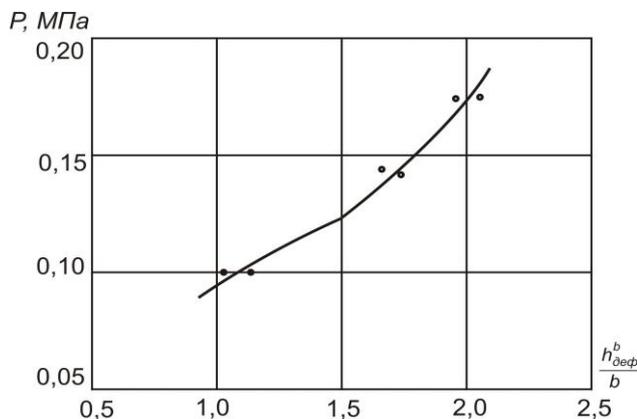


Рис. 3. Зависимость $\frac{h_{\text{деф}}^b}{b}$ от удельного давления на штамп.

Зона II – нейтральная (пассивная) зона, в которой практически отсутствуют деформации грунта при замачивании, так как вертикальное напряжение в ней меньше начального просадочного давления, при котором начинается просадка. Для сооружений, у которых $b \geq 2$ м $P = 0,15 \div 0,2$ МПа.

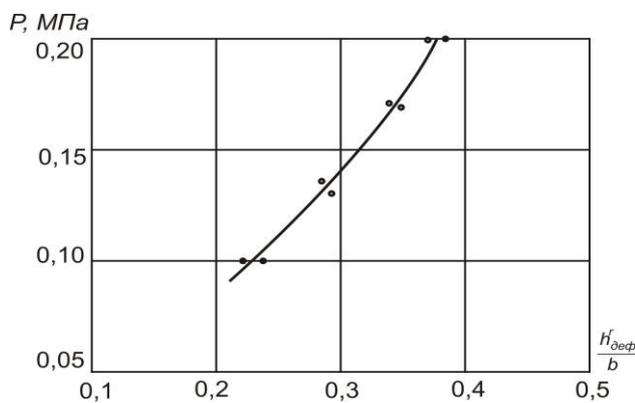


Рис. 4. Зависимость $\frac{h_{\text{деф}}^2}{b}$ от удельного давления на штамп

С глубиной заложения фундаментов $h_{\text{ф}} \geq 2$ м, а для транспортных и гидротехнических сооружений (при $b = 2$ м и $P = 0,12$ МПа) – $h_{\text{ф}} = 3,5 \div 4,0$ м вторая зона практически отсутствует.

Зона III – зона просадки от собственного веса грунта (когда $P_{\text{дз}} = P_{\text{нр}}$). В упомянутых регионах процесс просадки от собственного веса протекает очень медленно. Так, для слабопросадочных грунтов при интенсивном замачивании, равном 21-24 м, условная стабилизация деформаций наступает на 250-300 сутки, а для средне-

просадочных грунтов при аналогичной толщине – на 220-240 сутки.

В зависимости от размеров фундаментов, нагрузки на них, толщи просадочных грунтов и других факторов из общего случая могут быть выделены пять частных случаев:

Случай а – при небольшой толщине слоя зоны II и III могут отсутствовать, и просадка фундаментов будет происходить только в деформируемой зоне от совмещенного действия нагрузки фундамента и собственного веса грунта.

Случай б – при сравнительно небольших размерах фундаментов и ограниченной толщине слоя просадочных грунтов зона III может отсутствовать, и просадка грунта происходит только в деформируемой зоне.

Случай в – при больших размерах фундаментов и нагрузок на них, зоны I и III сливаются.

Случай г – при сравнительно небольшой нагрузке от фундаментов или его отсутствии и ограниченной толщине слоя просадочного грунта зоны I и III отсутствуют, и просадка грунта при его замачивании не наблюдается.

Случай д – при сравнительно небольшой нагрузке от фундаментов или его отсутствии зона I отсутствует, и просадка грунта происходит только от собственного веса грунта.

Грунтовые условия строительных площадок в зависимости от проявления просадки грунтов от собственного веса и при их замачивании подразделяется на два типа [3, 4].

I тип – толщи просадочных грунтов, в которых просадка от собственного веса грунтов отсутствует или возможные величины просадки не превышают 5 см, и просадка грунта происходит в основном в пределах деформируемой зоны основания от нагрузки фундамента.

II тип – толщи просадочных грунтов, в которых возможны просадки грунта от его собственного веса, преимущественно в нижней части просадочной толщи, и величина просадки больше 5 см, а при наличии внешней нагрузки возможна также просадка в пределах деформируемой зоны.

Тип грунтовых условий по просадочности широко используется при общей оценке условий строительства, выборе противопросадочных мероприятий, расчете и проектировании оснований сооружений и самих сооружений на просадочных грунтах.

В таком разделении на типы просадочности есть определенная схематичность, в первую очередь в том, что нет необходимости проводить переработку грунтов (при I типе просадоч-

ности), а можно только ограничиться конструктивными мероприятиями.

Сооружения, построенные на слабopросадочных грунтах (при увлажнении нижней части просадочных толщ), как правило, не получали повреждений при проявлении просадки от собственного веса грунта. При неравномерном замачивании толщи грунта, непосредственно прилегающей к подошве фундаментов, что в большинстве случаев и наблюдается, просадка носит неравномерный характер и достигает 20-25 см. Такие деформации основания приводят к значительным повреждениям конструкций.

Сооружения, построенные на среднепросадочных грунтах, при проявлении просадки от собственного веса грунта получали значительные деформации в основании, что приводило к нарушению режима водных потоков на транспортных и гидротехнических объектах, а также к разрушению оголовков дюкеров и, как следствие, – к переливам через дорожное полотно. У промышленных и гражданских сооружений в этом случае нарушались коммуникации. В связи с утечкой воды из коммуникаций проявлялись неравномерные просадки, достигающие 25-30 см.

У транспортных и гидротехнических сооружений неравномерные просадки, достигающие до 25-30 см, проявлялись из-за утечки воды из швов подпора селевых потоков, а просадки от собственного веса грунта достигали 40-45 см. При таких деформациях сооружения полностью разрушались и выходили из строя.

Для сооружений, проектируемых на лессовых просадочных грунтах, основное внимание должно быть уделено расчету по второму предельному состоянию – по деформациям.

Если просадочность лессовых грунтов устранена только в деформируемой зоне, то основание можно рассматривать двухслойным, состоящим из уплотненного слоя и подстилающего его лессового слоя грунта природного сложения. В связи с этим требуется проверка подстилающего слоя, которая означает выполнение следующего неравенства:

$$P_{Sh} + \alpha(P - P_{\delta}) \leq R_c \quad (4)$$

где P_{δ} – природное давление на кровле подстилающего слоя; P – давление на кровлю подстилающего слоя уплотненного лессового грунта от нагрузки сооружения; α – коэффициент уменьшения напряжений от фундамента на глубину, соответствующую кровле неуплотненного слоя грунта; R_c – расчетное сопротивление на подстилающий лессовый грунт для условий строительства.

Ширина условного фундамента определяется по формуле:

$$B = \sqrt{\Delta^2 + A_y} - \Delta; A_y = \frac{P^H}{Z(P - P_{\delta})} \quad (5)$$

где A_y – площадь условного прямоугольного фундамента; $\Delta = \frac{l - b'}{2}$, где l и b' – соответственно большая и меньшая стороны фундамента; P^H – начальное просадочное давление.

Расчетное сопротивление R_n на уплотненный или закрепленный грунт по условию устранения просадки подстилающего слоя определяется по формуле:

$$R_n = \frac{P_{np} - P_{\delta z} + \alpha P_{\delta}}{\alpha} \quad (6)$$

где P_{np} – величина начального просадочного давления подстилающего слоя; $P_{\delta z}$ – природное давление на кровле подстилающего слоя, залегающего ниже уплотненного слоя, на глубине Z от уровня планировки;

Известно, что просадка протекает в результате увлажнения грунта, и имеет место его уплотнение, вызванное фильтрацией. Просадка лессового грунта – процесс быстротечный, но не мгновенный, и поэтому одновременно зарождаются и развиваются процессы, связанные с перестройкой структуры грунта при фильтрации воды. При длительной фильтрации происходит снижение прочностных характеристик грунта (при этом почти пропорционально времени фильтрации).

Для установления зависимости изменения величины, начального просадочного давления грунта от сроков фильтрации воды была проведена серия лабораторных опытов (образцы отбирали в разных шурфах на глубине от 2 до 15 м).

Испытания проводились в стандартных компрессорно-фильтрационных приборах. Часть образцов обжималось давлением по величине менее начального просадочного давления. Определяемое начальное уплотнение грунта при фильтрации воды (по физическому смыслу соответствует понятию начального просадочного давления, по определению при длительной фильтрации через грунт), проводилось через 5, 10, 15, 20 и 30 суток. За начальное давление уплотнения грунта при фильтрации принималась величина, при которой относительное уплотнение грунта было равным 0,01.

Для среднепросадочных грунтов просадка от собственного веса грунта $S_{s,l,q} = 15-50$ см, начальное давление просадочности в пределах $P_{Sl} = 0,06-0,085$ МПа, среднее значение $P_{Sl} = 0,07$ МПа получено: $P_{Sl} = 0,065$ МПа; $0,058$ МПа; $0,05$

МПа; 0,040 МПа на 5-е, 10-е, 20-е, 30-е сутки замачивания соответственно.

Средняя величина снижения начального давления уплотнения грунта при фильтрации воды составляет 30-40% (на основании 60 определений).

Учет данного процесса снижения P_{SI} позволяет более точно прогнозировать размеры зоны деформации грунта в массиве в зависимости от сроков фильтрации воды (под толщей фундамента и в нижней части просадочной толщи, где проявляется просадка от собственного веса грунта).

Величина просадки – $S_{s,t,q}$ следует увеличивать при выполнении расчетов на 25-30%, особенно при проектировании и строительстве транспортных и гидротехнических сооружений, если имеет место длительная фильтрация воды. Повышение влажности лессовых грунтов при застройке территорий (нарушение естественного стока, устройство планировочных насыпей, изменение условий аэрации, утечка и др.) приводит к дополнительной осадке (замедленной просадке). Нередко наблюдается длительная осадка фундаментов на лессовых грунтах или при отсутствии источников замачивания до 80-100 мм.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гольдштейн М.Н., Шугаев В.В. О характере деформаций лессовых грунтов под фундаментами в процессе замачивания. Вопросы строительства на лессовых грунтах. Доклады Межвузовской научной конференции. Воронеж, 1961.
2. Джетенов А.К., Куликов Г.В. Исследования просадочных лессовых грунтов в лабораторных и полевых условиях. Труды ТПИ, вып. IX, Ашхабад, 1971.
3. Крутов В.И. Расчет фундаментов на просадочных грунтах. М.: Стройиздат, 1972.
4. Раевский И.Е. Влияние размеров штампов на характер просадки лессовых грунтов. – Основания, фундаменты и механика грунтов, №5, 1962.
5. Саватеев С.С. Некоторые вопросы проектирования гидротехнических сооружений и расчета лессовых подпорных оснований. Диссертация на соискание ученой степени к.т.н. М., 1969.
6. Черныш А.С., Карякин В.Ф., Ашихмин П.С. Исследование работы висячей сваи в массиве закрепленного грунта// Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2008. №3. С. 22-27.
7. Руководство по проектированию оснований зданий и сооружений. М.: Стройиздат, 1977.