

УДК 624.131.22

Ю.Л. Винников, Н.А. Косточка

Полтавский национальный технический университет
имени Юрия Кондратюка, Украина

ВЛИЯНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ЗАМАЧИВАНИЯ ЛЕССОВОГО МАССИВА НА ПОКАЗАТЕЛИ СЖИМАЕМОСТИ ГРУНТА

Причинами многих аварийных деформаций зданий и сооружений на лессовых массивах являются недостаточно детальные исследования просадочности грунтов и неполный учет при проектировании влияния просадок оснований на надземные конструкции. Приведены результаты натурного эксперимента по изучению влияния предварительного замачивания лессового массива толщиной 10 м на показатели сжимаемости просадочного грунта, для чего его образцы отбирались из шурфов. Определены величины показателя сжимаемости, зависящего от начального коэффициента пористости грунта и его значений после приложения ряда ступеней давления в компрессионном приборе, для лессов природной влажности и в водонасыщенном состоянии. Для генетически и физически одинаковых лессовых грунтов, имевших различные условия предварительного замачивания, сравниваются графики зависимости этого показателя от давления. Установлено, что условия замачивания и соответствующего уплотнения грунтов под собственным весом существенно влияют на деформационные свойства основания. Отмеченный эффект целесообразно учитывать при проектировании объектов на просадочных грунтах.

Ключевые слова: лессовый грунт, просадочность, влажность, замачивание, шурф, деформационные свойства грунта, коэффициент пористости грунта, сжимаемость грунта, относительная сжимаемость грунта, уплотнение грунта.

Проектирование и возведение оснований и фундаментов зданий и сооружений на лессовых просадочных грунтах с обеспечением их прочности и нормальной эксплуатации – достаточно актуальные проблемы современной геотехники. По данным проф. В.И. Крутова [1], в таких грунтовых условиях затраты на фундаменты обычно возрастают в 1,5–2 раза по сравнению с массивами без особых свойств.

Из практики геотехники известен целый ряд аварийных деформаций зданий и сооружений на лессовых просадочных грунтах в Волгодонске, Душанбе, Запорожье, Николаеве, Одессе, Херсоне и других городах [1–3]. Среди их причин – ошибки при анализе результатов инженерно-геологических изысканий и некорректный учет при проектировании влияния просадок оснований на надземные конструкции [1, 4].

В процессе образования (генезиса) грунтов и в последующих условиях существования в зависимости от внешних условий формировались их свойства. За длительное время существования грунтов происходило многократное изменение природной обстановки: уплотнение, разуплотнение, иногда замачивание водой и т.п., – что создало

невоспроизводимые условия формирования природных грунтов, определяющие особенности физических и механических свойств их отдельных видов.

Особенность просадочных грунтов заключена в их способности при повышении влажности (замачивании) под внешней нагрузкой (фундаментом) и (или) собственным весом грунта давать дополнительную осадку, называемую просадкой. Просадочность лессов обусловлена особенностями формирования и существования их толщ, в результате чего они находятся в недоуплотненном состоянии, если не повысится влажность или нагрузка [1–8]. Отметим и способ уплотнения просадочных грунтов предварительным замачиванием, когда на больших площадях последовательно выполняются работы: по подготовке котлованов для замачивания; замачиванию грунтов в котлованах; доуплотнению верхнего слоя грунта в пределах деформируемой зоны от нагрузки фундаментов [1, 5].

Деформационные свойства лессов напрямую зависят от вида грунта, его влажности, пористости и других факторов. Кроме того, даже один и тот же вид грунтового основания может существенно изменять деформационные характеристики в зависимости от предыдущей истории своего существования [4–8]. Отсюда цель настоящего исследования – изучение влияния предшествующих воздействий замачивания и дополнительного уплотнения под действием внешних факторов на деформационные характеристики грунтового основания. Для этого были проанализированы деформационные кривые, полученные в результате компрессионных испытаний образцов лессовых грунтов, отобранных из трех шурфов одной площадки.

Грунты, залегающие на этой площадке, идентичны в литологогенетическом отношении по всей ее площади и на всю исследованную глубину (10 м). Шурфы № 1 и № 2 были расположены на расстоянии 50 м друг от друга, а шурф № 3 находился на расстоянии 300 м от шурфа № 2.

Все три шурфа располагались на территории действующего предприятия. В результате технических неисправностей водоносных сетей этого предприятия произошло длительное локальное замачивание массива грунта в месте расположения шурфов № 1 и № 2, что привело к образованию в этом районе купола замачивания грунта и, как следствие, возникновению просадочных явлений.

В районе замачивания находилось здание, основание которого просело на 70 см, получив при этом серьезные деформации.

После устранения источников замачивания уровень грунтовых вод снизился и на момент отрывки шурфов составлял 12,0 м от поверхности грунта.

В районе же шурфа № 3 поднятия уровня грунтовых вод не происходило, наблюдалось лишь замачивание на некоторую глубину верхних слоев грунта. В частности, атмосферные осадки, собираясь на асфальтированных площадках и дорогах, благодаря уклону местности, стекали на открытую площадку, на которой в процессе строительства и эксплуатации предприятия складировались строительные материалы и тяжелое оборудование, которые оказывали давление на верхние слои замоченного грунта. Под этой нагрузкой замоченный грунт уплотнялся.

Впоследствии на этом участке был отрыт шурф. Уровень грунтовых вод в момент отрывки шурфа № 3 находился на глубине 22,4 м.

В каждом из шурфов с глубин $h = 2,0; 4,0; 6,0; 8,0; 10,0$ м отбирались компрессионные кольца с грунтом (не менее 12 с каждой глубины). Затем в лабораторных условиях по нормативной методике [9] выполнялись компрессионные испытания этих грунтов природной влажности и в замоченном состоянии (по методу «двух кривых») до величины давления $p = 0,3$ МПа.

Сравнения кривых сжимаемости одних и тех же грунтов, находившихся в различных условиях, позволили выявить влияние внешних факторов на их деформационные свойства. Кривые сжимаемости грунта отражают изменения показателя сжимаемости грунта N_{pw} [10] от изменения компрессионного давления p .

Показатель сжимаемости грунта N_{pw} ¹ определяется по результатам компрессионных испытаний грунта по формуле

$$N_{pw} = \frac{e_0 - e_p}{e_0} 100 \% = \frac{\Delta e_p}{e_0} 100 \%, \quad (1)$$

где e_0 и e_p – коэффициенты пористости грунта, соответственно начальный и после сжатия грунта давлением p .

¹ ГОСТ 12248–96. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости. – М.: МНТКС, 1996. – 56 с.

Показатель сжимаемости грунта N_{pw} ² отражает относительное изменение коэффициента пористости e при его сжимаемости от давления p . Сжимаемость зависит от пористости грунта и начального коэффициента пористости e_0 . Поэтому для того чтобы исключить влияние пористости отдельных образцов грунта на характеристику сжимаемости, его величина определяется как относительное уменьшение коэффициента пористости при сжатии образца грунта. Показатель сжимаемости грунта вычисляли как среднюю арифметическую величину.

На графиках (рисунок) приводятся кривые сжатия грунтов, которые получены по результатам компрессионных испытаний, проведенных по методу «двух кривых». На каждом графике изображены кривые сжимаемости $N_{pw} = f(p)$ грунта природной влажности W_0 и в водонасыщенном (замоченном) состоянии $W_{зам}$.

Кривые сжимаемости образцов грунта, отобранные из шурфов № 1 и № 2, на рисунок изображены сплошной линией, а из шурфа № 3 – пунктирной линией.

Из приведенных графиков, в частности, следует, что на глубине $h = 2,0$ м грунт естественной влажности, отобранный из шурфа № 3, обладает менее выраженными деформационными свойствами, чем грунты шурфов № 1 и № 2 (рисунок, а).

На остальных глубинах, кривые сжимаемости неводонасыщенных грунтов, с близкими значениями влажности, отобранные из всех трех шурфов, практически совпадают. На глубинах $h = 2,0$ м и $4,0$ м грунт из шурфов № 1 и № 2 оказался более просадочным, чем грунт, отобранный из шурфа № 3 (см. рисунок, а, б).

На больших глубинах просадочность грунта, залегающего в районе шурфа № 3, выше, чем вокруг шурфов № 1 и № 2.

Полученные закономерности возможно объяснить следующим:

– замачивание грунта с поверхности и уплотнения его в районе шурфа № 3 вызвало частичную потерю его просадочных свойств до глубины $h = 4,0$ м и привело к соответствующему уплотнению грунта на глубину до $h = 2,0$ м при естественной влажности W_0 ;

² ГОСТ 12248–96. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости. М.: МНТКС, 1996. 56 с.

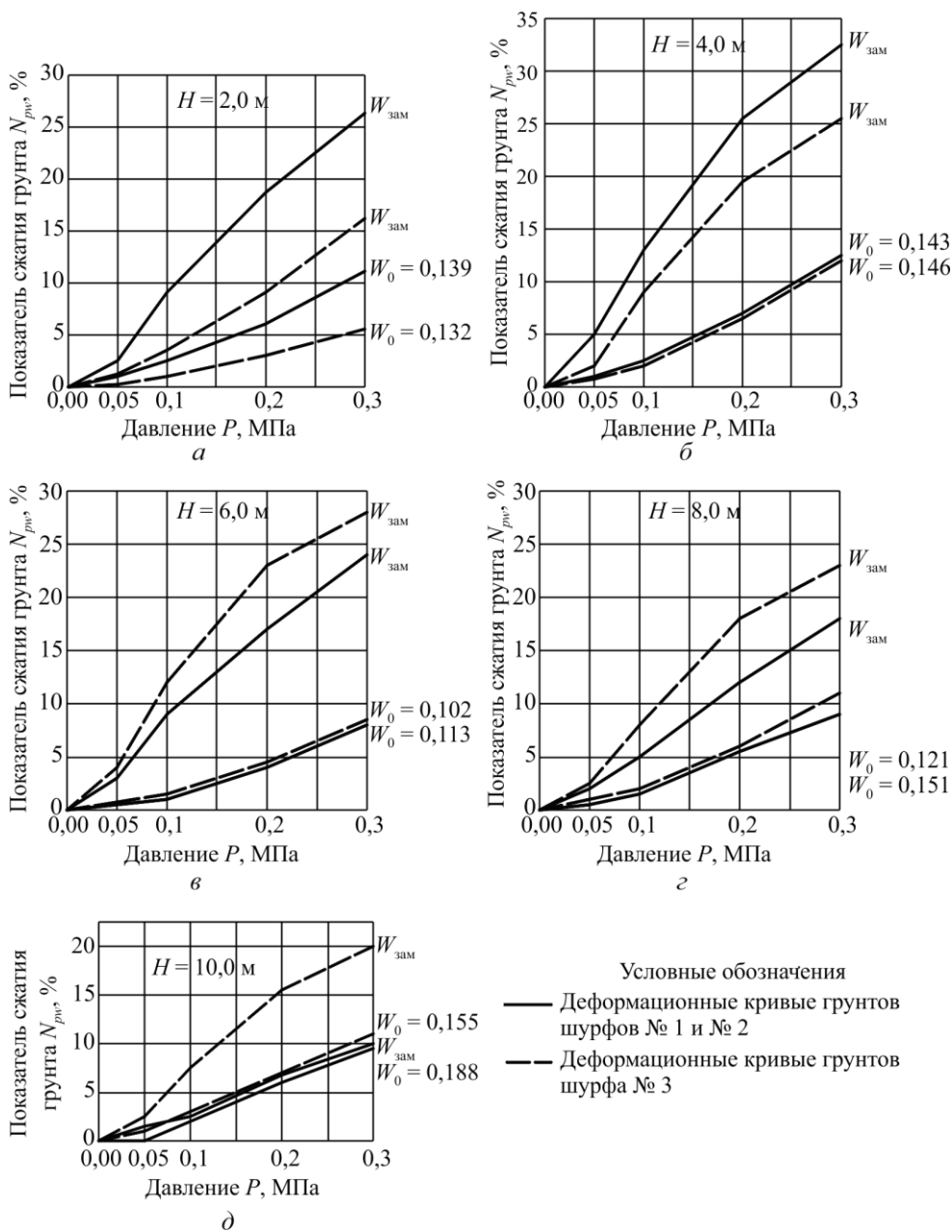


Рис. Графики кривых сжимаемости $N_{pw} = f(p)$ грунтов естественной влажности W_0 и в водонасыщенном состоянии $W_{зам}$: а – грунт с глубины $h = 2,0$ м; б – то же с $h = 4,0$ м; в – то же с $h = 6,0$ м; г – то же с $h = 8,0$ м; д – то же с $h = 10,0$ м

– поднятие в свое время уровня грунтовых вод в районе шурфов № 1 и № 2 вызвало тогда просадочные явления, в результате которых

грунт на глубине $h = 10,0$ м полностью потерял свои просадочные свойства (рисунок, δ);

– в связи с повышением влажности на глубине $h = 6,0$ м и $8,0$ м грунты этих слоев под воздействием давления верхних слоев уплотнились, что вызвало снижение их просадочных свойств по сравнению с такими же грунтами, отобранными из шурфа № 3 (рисунок, ϵ, ζ);

– кривые сжимаемости грунтов, отобранных из одного горизонта разных шурфов, имеют одинаковые формы как при естественной влажности, так и в замоченном состоянии (это подтверждает идентичность грунтов одного горизонта), однако в зависимости от условий предыдущего существования деформационные свойства этих грунтов могут варьироваться в широких пределах, что подтверждает разница параметров сжимаемости грунтов, отобранных из шурфов № 1 и № 2 и из шурфа № 3.

Таким образом, анализ приведенных на рисунке графиков зависимости показателя сжимаемости от давления $N_{pw} = f(p)$ для лессовых грунтов естественной влажности W_0 и в водонасыщенном состоянии $W_{зам}$ позволяет сделать следующий вывод: на деформационные свойства грунта существенное влияние оказывает история существования массива. Поэтому при прогнозе деформационных свойств грунтового основания следует учитывать влияние предшествующих внешних факторов (условия предварительного замачивания, соответствующее уплотнение грунтов под собственным весом и т.п.) на величину характеристик. Особенно значимо влияние предыдущей истории существования основания на деформационные характеристики просадочности грунта. Отмеченный эффект целесообразно учитывать при проектировании объектов на лессовых просадочных грунтах.

Библиографический список

1. Крутов В.И., Ковалев А.С., Ковалев В.А. Проектирование и устройство оснований и фундаментов на просадочных грунтах. – М.: Изд-во АСВ, 2012. – 560 с.
2. Коханенко М.П., Поляков Г.П., Шевелев В.Б. Восстановление гражданских зданий на просадочных грунтах. – М.: Стройиздат, 1990. – 184 с.
3. Пономарев А.Б., Офрихтер В.Г. Проблемы создания системы мониторинга эксплуатируемых сооружений // Проблемы механики

грунтов и фундаментостроения в сложных грунтовых условиях: тр. междунар. науч.-техн. конф. / ГУП Институт «БашНИИСтрой». – Уфа, 2006. – Т. 3. – С. 84–89.

4. Гольдштейн М.Н. Некоторые результаты новых исследований просадочных грунтов и способов строительства на них // Геотехника в строительстве. Сер.: Геотехника в строительстве. – 1996. – Вып. 1. – С. 3–12.

5. Interaction of the artificial bases with Collapsing Soils / V. Shokarev, V. Shapoval, A. Tregub, V. Grechko, A. Shokarev, A. Serdyuk, G. Rozenvasser, M. Kornienko, E. Petrenko, N. Zotsenko, Y. Vynnykov // Geotechnical Engineering in Urban Environments: Proc. of 14th European Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (Madrid, 2007). – Rotterdam: Millpress Science Publish, 2007. – P. 481–486.

6. Тугаенко Ю.Ф. Трансформация напряженно-деформируемого состояния грунтов основания и ее учет при проектировании фундаментов: монография. – Одесса: Астропринт, 2011. – 120 с.

7. Усманов Р.А. Изменение строительных свойств лессовых просадочных грунтов в результате их обводнения в условиях республики Таджикистан // Геотехника: научные и прикладные аспекты строительства надземных и подземных сооружений на сложных грунтах: межвуз. тематич. сб. тр. / СПбГАСУ. – СПб., 2008. – С. 229–237.

8. Винников Ю.Л. К определению модуля деформации лессовых грунтов // Геотехнические проблемы нового строительства и реконструкции: сб. тр. Всерос. науч.-техн. сем. / Новосиб. гос. архит.-строит. ун-т (Сибстрин). – Новосибирск, 2011. – С. 193–197.

9. Винников Ю.Л., Косточка Н.А. Підвищення достовірності показників стисливості основи за даними компресійних випробувань ґрунтів // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. пр. – Вип. 27. – Рівне: НУВГП, 2013. – С. 407–414.

References

1. Krutov V.I., Kovalev A.S., Kovalev V.A. Proektirovanie i ustroistvo osnovanii i fundamentov na prosadochnykh gruntakh [Designing and making of the bases and the foundation on soils subsidence]. Moscow: Asotsiatsiya stroitel'nykh vuzov, 2012, 560 p.

2. Kokhanenko M.P., Poliakov G.P., Shevelev V.B. Vosstanovlenie grazhdanskikh zdaniy na prosadochnykh gruntakh [Restoration of civil buildings on soils subsidence]. Moscow: Stroizdat, 1990, 184 p.

3. Ponomarev A.B., Ofrikhter V.G. Problemy sozdaniia sistemy monitoringa ekspluatiruemykh sooruzhenii [Problems of creation of a monitoring system of maintained buildings]. *Trudy mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii "Problemy mekhaniki gruntov i fundamostroeniia v slozhnykh gruntovykh usloviakh"*. Ufa: Institut "BashNIIstroi", 2006, vol. 3, pp. 84–89.

4. Gol'dshtein M.N. Nekotorye rezul'taty novykh issledovaniia prosadochnykh gruntov i sposobov stroitel'stva na nikh [Some results of new researches soils subsidence and ways of building on them]. *Geotekhnika v stroitel'stve. Seriia: Geotekhnika v stroitel'stve*. Moscow: Stroizdat, 1966, no. 1, pp. 3–12.

5. Shokarev V., Shapoval V., Tregub A., Grechko V., Shokarev A., Serdyuk A., Rozenvasser G., Kornienko M., Petrenko E., Zotsenko N., Vynnykov Y. Interaction of the artificial bases with Collapsing Soils. *Geotechnical Engineering in Urban Environments. Proc. of 14th European Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (Madrid, 2007)*. Rotterdam: Millpress Science Publish, 2007, pp. 481–486.

6. Tugaenko Iu.F. Transformatsiia napriazhenno-deformiruemogo sostoianiia gruntov osnovaniia i ee uchet pri proektirovanii fundamentov [Transformation of deflected mode of soils and its account at designing of the foundations]. Odessa: Astroprint, 2011, 120 p.

7. Usmanov R.A. Izmenenie stroitel'nykh svoistv lessovykh prosadochnykh gruntov v rezul'tate ikh obvodneniia v usloviakh respubliki Tadzhiqistan [Change of building properties loessial soils subsidence as a result of them water blockage in the event of republic Tajikistan]. *Mezhvuzovskii tematicheskii sbornik trudov "Geotekhnika: nauchnye i prikladnye aspekty stroitel'stv nadzemnykh i podzemnykh sooruzhenii na slozhnykh gruntakh"*. St.-Petersburg: Sankt-Peterburgskii gosudarstvennyi arkhitekturno-stroitel'nyi universitet, 2008, pp. 229–237.

8. Vinnikov Yu.L. K opredeleniiu modulia deformatsii lessovykh gruntov [To definition of the module of deformation of loessial soils]. *Sbornik trudov Vserossiiskogo nauchno-tekhnicheskogo seminar "Geotekhnicheskie problemy novogo stroitel'stva i rekonstruktsii"*. Novosibirsk: Novosibirskii gosudarstvennyi arkhitekturno-stroitel'nyi universitet (Sibstrin), 2011, pp. 193–197.

9. Vinnikov Yu.L., Kostochka N.A. Pidvishchennia dostovirnosti pokaznikov stislivosti osnovi za danimi kompresiiinikh viprobuvan' gruntiv. *Resurso-ekonomni materialy, konstruktsii, budivli ta sporudi: Zb. nauk. pr.* Rivne, NUVGP, 2013, no. 27, pp. 407–414.

Yu.L. Vinnikov, N.A. Kostochka

**INFLUENCE OF PRELIMINARY ARTIFICIAL
SATURATION OF LOESS SOLID
ON THE COMPRESSIBILITY GROUND INDICES**

Insufficiently detailed researches of soil collapsibility and incomplete account during design influence of soil collapse settlement on overground structures are reasons of many accidents of buildings and structures deformations on the loess soil. There are given the results of field experiment on researching the effect of preliminary artificial saturation of loess solid thickness of 10 m on parameters of the compressibility of collapsible soil, for which its samples have been taken from pits. The values of compressibility index are determined, which depends from initial porosity coefficient of the soil and its value after the application of a series of the pressure steps in the compression apparatus for loess in natural moisture and water-saturated condition. For genetically and physically similar loess soils which are having various conditions of preliminary artificial saturation compared diagrams of dependence this indicator on the pressure. There is found that soaking conditions and proper soil consolidation under its own weight significantly affect on the deformation properties of the base. This effect advisable consider during designing of objects on the collapsible soil.

Keywords: loess solid, soil collapsibility, moisture, artificial saturation, pit, compressibility of soil, porosity coefficient, compressibility of soil, relative compressibility of soil, consolidation of soil.

Сведения об авторах

Винников Юрий Леонидович (Полтава, Украина) – доктор технических наук, профессор кафедры добычи нефти и газа и геотехники Полтавского национального технического университета имени Юрия Кондратюка, действительный член Академии строительства Украины (e-mail: vynnykov@yandex.ru).

Косточка Наталья Аркадьевна (Полтава, Украина) – аспирант кафедры добычи нефти и газа и геотехники Полтавского национального технического университета имени Юрия Кондратюка (e-mail: marsel_kot@mail.ru).

About the authors

Vinnikov Yuriy Leonidovich (Poltava, Ukraine) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Oil and gas and geotechnics, Poltava Jurii Kondratiuk National Technical University, member of the Ukrainian Academy of building (e-mail: vynnykov@yandex.ru).

Kostochka Natalia Arkadevna (Poltava, Ukraine) – Postgraduate student, Department of Oil and gas and geotechnics, Poltava Jurii Kondratiuk National Technical University (e-mail: marsel_kot@mail.ru).

Получено 10.01.2014