DOI: 10.15593/2224-9826/2015.3.05

УДК 624.159

Е.А. Исакова, В.И. Клевеко

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь, Россия

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА И КОНСТРУИРОВАНИЯ ФУНДАМЕНТОВ НА ПРОСАДОЧНЫХ ГРУНТАХ

Рассмотрены особенности проектирования фундаментов на просадочных (лессовых) грунтах, а именно специфичность расчета по II группе предельных состояний и изменения расчетных положений в новом СП 22.133330.2011 актуализированной редакции СНиП 2.02.01–83* «Основания зданий и сооружений».

На сегодня расчет лессового грунта не совершенен, он не учитывает размера пор, скорости просадок, ее неравномерности и пр. Эту проблему необходимо решать путем использования сложных расчетных комплексов. Также в качестве компенсации этого недостатка актуализированная редакция СНиП 2.02.01–83 ужесточила требования к расчету по просадке. Это является положительным фактором, частично компенсирует не учитываемые в методиках расчета размеры макропор; характер замачивания с динамикой развития деформаций. Такое ужесточение положений приведет к снижению риска появления недопустимых деформаций и аварий при эксплуатации зданий.

Рассмотрены классические конструктивные решения устройства фундаментов и предложена новая конструктивная схема усиления лессового основания. К классическим способам относятся предварительное увлажнение и уплотнение тяжелой трамбовкой лесса под фундаментом, устройство грунтовых подушек, устройство забивных свай, прорезающих просадочную толщу и др. Помимо классических способов, в качестве нового конструктивного решения усиления основания, сложенного лессовыми грунтами, предлагается устройство искусственного геомассива состава смола-песок.

Ключевые слова: лессовые грунты, осадка грунтов природного состояния, просадка грунтов при замачивании, макропоры, расчет по второй группе предельных состояний, конструктивные решения фундаментов на лессовых породах.

E.A. Isakova, V.I. Kleveko

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

FEATURES OF ENGINEERING FOUNDATIONS ON SUBSIDING SOIL

Loess there are all over the world. In Russia Federation expert personnel of Barnaul and Volgograd research physical characteristics and deformation properties of this soil very actively. That's why loess to be well represented in Barnaul and Volgograd. Also expert personnel of Uzbekistan research physical characteristics and deformation properties of loess.

In this article we can see features of engineering of foundations on subsiding soil (loess). Also we can see specificity of calculation limit design and changes of calculation limit design.

There are gaps in the calculation of limit design when we are counting yielding of loess. Calculation of limit design ignore pore size, rate of settlement, relative settlement and other. This problem needs to be solved by use of difficult settlement complexes. Also revised edition SNiP 2.02.01-83 the book contains the toughened requirements. It is positive factor because it is compensates ignoring of the size of macropore, ignoring of the soaking soil and other. The toughened requirements give risk reduction of limit deformation. Accidents won't happen.

In this article we can see classical structural schemes of consolidation of the loess are showed. A new structural of reduction settlement scheme is showed. Classical structural schemes are tamping by a pneumatic ram, device of soil bedding. Also we can see a new structural of reduction settlement scheme. This is manufactured plane element what contains a resin.

Keywords: Loess, yealding of base, contractions, macropores, changes of calculation limit design, classical structural schemes of consolidation of the loess, manufactured plane element, structural scheme of reduction settlement.

Просадочным называется грунт, который под действием внешних факторов (замачивания, внешней нагрузки и/или нагрузки от собственного веса) изменяет свою структуру и перемещается в вертикальном направлении. К ним относятся лессовые грунты (лессы), а также лессовидные суглинки [1].

Лессовые породы распространены по всему миру. Активно вопросами просадочных лессовых грунтов занимаются в Российской Федерации специалисты Барнаула и Волгограда, что связано с широким распространением лесса на этих территориях. Также изучению лессовых грунтов уделяется внимание в Узбекистане.

Несмотря на то, что термин «лесс» (нем. Löß) впервые введен в начале 1820-х гг. и с тех пор его физические и деформационные свойства активно исследуются, проблема лессовых пород не исчерпана на сегодняшний день. Во-первых, вопросом активных исследований до сих пор является происхождение породы. Во-вторых, ввиду просадочности, специалисты в области геологии и строительства активно изучают вопросы проектирования оснований и фундаментов на толщах, образованных лессовыми грунтами, что является очень серьезной проблемой. Так, например, в г. Барнауле при поднятии уровня грунтовых вод произошли просадки лесса и деформации несущих конструкций зданий [2]. Просадка толщи возможна даже до 2,5 м.

Стоит отметить, что на данный момент имеются недостатки расчетных моделей лессового грунта [3]: методика, определенная строительными нормами и правилами, сводами правил и учебно-методической литературой, не учитывает расположения макропор и несхоже-

сти их размеров, а также характер изменения структуры грунта при просадке.

Отмеченное выше, а также тот факт, что устройство фундаментов на лессовых грунтах по сравнению с грунтами без специфических свойств приводит к удорожанию производства работ практически на 50 %, оставляет вопрос о проектировании фундаментов и оснований при наличии толщи лессовых пород открытым и актуальным [4, 5].

Механизм просадки лесса представлен на рис. 1. Грунт увлажняется, вода размягчает и растворяет кристаллизационные связи и вызывает расклинивающее напряжение пленочной воды. Это снижает прочность связей между частицами, грунт под давлением уплотняется – макропоры уменьшаются, происходит вертикальное перемещение.

Рис. 1. Схема просадки лессового грунта

Лессовые грунты по проявлению просадочных свойств делятся на два типа – I и II [3] в соответствии с рис. 2.

При проектировании фундаментов на лессовых породах существует два основных направления, особенности которых необходимо учитывать:

Направление № 1. Исключение недопустимых осадок при расчете фундаментов по II группе предельных состояний.

Направление № 2. Конструктивные мероприятия по исключению (ограничению) просадок.

Рис. 2. Типы проявления просадки лёссового грунта

В рамках первого направления производится расчет оснований и фундаментов с учетом суммарной осадки грунтов природного состояния и просадки при воздействии влаги. В рамках второго направления исключают или сохраняют просадочные свойства основания конструктивными методами [1]. Сохранение просадочных свойств лесса ограничено в применении в связи с опасностью просадок и используется при надлежащем обосновании, чем может служить строи-

тельство малоэтажных зданий индивидуальной застройки при весомой сметной стоимости мероприятий, направленных на исключение просадочности лесса. При этом необходимо сохранять природный рельеф рядом со зданием, проектировать отмостку по всему периметру шириной более 2 м с уклоном в сторону железобетонных лотков, а под подземными трубопроводами канализации и водоснабжения устраивать непроницаемые для воды лоточки с отводом воды от просадочной толщи.

Расчет оснований по II группе предельных состояний, в отличие от грунтов без специфических свойств, ведется с учетом осадок s_p грунтов природного состояния и просадок s_{sl} грунтов при замачивании в соответствии с рис. 3.

Расчет производится из условия непревышения суммарной деформации допустимого значения:

$$s = s_p + s_{sl} \leq s_u. \quad (1)$$

Все формулы определения осадок приведены в разделах 5 и 6 актуализированной версии СНиП «Основания зданий и сооружений». В сравнении с разделом 3 СНиП 2.02.01–83* в разд. 6.1. СП 22.13330.2011 расчеты оснований, образованных лессовыми породами, претерпели некоторые изменения. Так, например, из перечня основных параметров, характеризующих лессы (а именно: ε_{sl} –

относительная просадочность и p_{sl} – начальное просадочное давление), была исключена минимальная влажность w_{sl} , при которой происходит просадка.

Рис. 3. Схема расчета оснований по деформациям для не специфических грунтов и лёссовых грунтов

Вероятно, это произошло из-за исключения из актуализированной версии деления относительной просадочности основания в зависимости от полного ϵ_{sl} и неполного ϵ'_{sl} водонасыщения грунта, а также исключения формулы расчета относительной просадочности грунта при его неполном водонасыщении. СП 22.13330.2011 приводит единую формулу для определения ϵ_{sl} . Это упрощает вариации расчета и обеспечивает надежность при проектировании основания, исключая ошибку неверного определения грунта как не полностью водонасыщенного.

Также актуализированной версией и СНиП определены факторы, которые учитываются при проектировании оснований, сложенных толщей лесса. Это просадки верхней зоны от внешней нагрузки $s_{sl,p}$, просадки нижней зоны от собственного веса грунта $s_{sl,q}$, а также неравномерность просадки грунтов Δs_{sl} и его горизонтальное перемещение u_{sl} . Помимо этих факторов, в СП были включены потеря устойчивости откосов, дополнительные нагрузки от образования в толще «водного купола» и добавочные осадки подстилающих лесс грунтов.

Все это является немаловажным и влияет на значения суммарной осадки при расчете оснований.

Расчетное сопротивление грунта основания определяется в зависимости от возможности/невозможности замачивания, причем в актуализированной версии приводится пояснение коэффициентов условий работы при его определении – они принимаются как для глинистых грунтов с соответствующим показателем текучести. Коэффициент условий работы с ориентацией на глинистые грунты не случаен – лесс по гранулометрическому составу является суглинком.

Важно отметить, что оба норматива устанавливают требование, в соответствии с которым, при условии, что напряжения на грунт от внешней нагрузки и собственного веса не более начального просадочного давления, а лесс по характеру проявления просадочности относится к I типу, расчет с учетом просадки не производится. Причем если относительная просадочность слоев менее 0,01, то расчет также не производится.

Положительным моментом является то, что в СП разработали границы определения присадочной толщи h_{sl} и методику ее деления на отдельные слои.

В актуализированную версию не включено требование п. 3.12 СНиП, в соответствии с которым для грунтов I типа просадочности допускается устранять просадочность только на 2/3 всей толщи при значении просадки и ее неравномерности, не превышающей 1/3 предельно допустимых значений. Это ужесточает расчет и дает запас деформационных свойств.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что в актуализированной редакции СНиП 2.02.01–83* «Основания зданий и сооружений» ужесточены требования к расчету по просадке. Это является положительным фактором и частично компенсирует не учитываемые в методиках расчета размеры макропор; характер замачивания с динамикой развития деформаций. При этом если учитывать вступившее в силу Постановление РФ от 26 декабря 2014 г. № 1512, которое утверждает обязательность выполнения требований разделов 5 и 6 СП 22.133330.2011 при расчетах, такое ужесточение положений приведет к снижению риска появления недопустимых деформаций и аварий при эксплуатации зданий.

Кардинального изменения расчета в утвержденном своде правил не произошло, но ряд положений, который приведен выше, изменился или был аннулирован. Учебная литература, которая существует на сегодняшний день, описывает старую методику расчета, при этом условные обозначения влияющих на просадку факторов и расчетных значений с нормативной литературой сильно расходятся, поэтому проектировщики, инженеры, а также будущие специалисты и бакалавры при расчете лессовых грунтов оснований должны обязательно пользоваться нормативной литературой.

Второе и немаловажное направление при проектировании фундаментов на лессовых породах – это выбор рациональной конструктивной схемы фундаментов и искусственно улучшенных оснований.

Классические схемы устранения просадочных свойств основания (уменьшения) в соответствии с учебной и нормативно-технической литературой в зависимости от типа просадочности приведены в таблице.

Помимо классических способов [7–9], в качестве нового конструктивного решения усиления основания, сложенного лессовыми грунтами, предлагается устройство искусственного геомассива состава смола – песок. Подробное описание модели и характера ее работы в условиях песчаного основания изложено в статье [10]. В ходе проведения эксперимента с использованием геомассива на песчаном уплотненном основании была получена зависимость «давление P , кПа – осадка S , мм», которая наглядно демонстрирует, что осадка усиленного основания примерно в 2 раза меньше, чем основания без элементов усиления. Массив представляет собой выполненную по методу смолизации горизонтальную инъекцию раствора смолы с отвердителем путем смешения его с грунтом под фундаментом. При этом выступ геомассива по ширине подошвы ленточного фундамента по обеим сторонам равен ширине подошвы. Расстояние от подошвы до верха «смолизованного» геомассива грунта составляет 0,15 от ширины подошвы фундамента. Поскольку метод смолизации распространяется на лессовые, песчаные и скальные грунты, предполагается, что данное конструктивное решение позволит ограничить и снизить осадки фундаментов, опирающихся на толщу просадочного грунта. Схема усиления приведена на рис. 4.

Конструктивные решения проектирования фундаментов на лессовых грунтах

№ п/п	Графическое изображение	Описание
I тип по просадочности		
1.1		Предварительно увлажненный, уплотненный тяжелой трамбовкой лесс под фундаментом
1.2		То же, с устройством подушки из местного непучинистого грунта
1.3		Забивные сваи, прорежающие просадочную толщу
1.4		Устройство набивных фундаментов в вытрамбованных «котлованчиках»
1.5	—	Предварительное замачивание

Окончание таблицы

№ п/п	Графическое изображение	Описание
II тип по просадочности		
2.1		Прорезка просадочной толщи буронабивными сваями с уширенной пятой
2.2	То же, см. п. 3 для I типа по просадочности	То же
2.3		Создание искусственного геомассива основания путем химзакрепления методами смолизации и силикатизации и сруйных геотехнологий [7]
2.4		Уплотнение лесса путем создания грунтовых свай
2.5		Предварительное замачивание со взрывами толщи лесса
2.6	—	Термическое закрепление просадочной толщи
2.7	—	Предварительное замачивание

Рис. 4. Схема усиления толщи лесса путем создания искусственного геомассива под подошвой фундамента в масштабе

Таким образом, можно сделать вывод, что на сегодня расчет лесового грунта существует, он стал ужесточеннее расчета в соответствии со СНиПом [5], но тем не менее не совершенен, не учитывает размера пор, скорости просадок и т.д. и т.п. Эти недостатки можно исключить при проектировании фундаментов в расчетных комплексах, совершенствуя их день ото дня. Проблемы конструктивных решений фундаментов и усиления основания также не полностью решены. Предлагаются все новые и новые экономичные решения, что немаловажно, так как существуют регионы в России, которые по сей день активно сталкиваются с проблемами проектирования и строительства фундаментов на лессах.

Библиографический список

1. Далматов Б.И. Механика грунтов, основания и фундаменты: учебник для вузов. – 2-е изд. – Л.: Стройиздат, 1988. – 415 с.
2. Швецов Г.И. Лессовые породы Западной Сибири и методы устройства оснований и фундаментов: моногр. – М.: Высшая школа, 2000. – 244 с.

3. Халтурина Л.В., Криворотов А.П., Кусковский В.С. Определение глубины сжимаемой толщи основания с учетом характеристик грунтов // Ползуновский вестник. – 2012. – № 1–2. – С. 121–125.
4. Соколов Н. Проблема лессов // Соросовский образовательный журнал. – 1996. – № 9. – С. 86–93.
5. Lavrusevich A.A., Lavrusevich S.A., Gorshkova O.G. Technogenesis and behavior of the loessial rocks // In book: Proceedings of International Scientific Conf. – Vladivostok: Dalnauka, 2009. – P. 130–131.
6. Лютов В.Н., Швецов Г.И., Куликов С.К. Исследование и анализ возможности использования современных струйных геотехнологий для укрепления лессовых грунтов в условиях Западной Сибири // Ползуновский вестник. – 2014. – № 1. – С. 95–100.
7. Лютов В.Н., Куликов С.К. Исследования и выбор оптимальных вариантов механизированных способов укрепления лессовых грунтов оснований зданий и сооружений в условиях Западной Сибири // Ползуновский вестник. – 2013. – № 4–1. – С. 135–140.
8. Швецов Г.И., Меренцова Г.С. Основные методы устройства оснований и фундаментов на лессовых просадочных грунтах Алтайского края // Горная промышленность. – 2009. – № 5 (87). – С. 66–68.
9. Пантюшина Е.В. Лессовые грунты и инженерные методы устранения их просадочных свойств // Ползуновский вестник. – 2011. – № 1. – С. 127–130.
10. Исакова Е.А., Бочкарева Т.М. Исследование работы усиленного основания путем создания плоскостного геомассива по методу смолизации // Геология в развивающемся мире: сб. науч. тр. – 2015. – Т. 2. – С. 40–43.

References

1. Dalmatov B.I. Mekhanika gruntov, osnovaniia i fundamenti [Soil mechanics, bases and foundations]. Leningrad: Stroiizdat, 1988. 415 p.
2. Shvetsov G.I. Lessovyye porody Zapadnoi Sibiri i metody ustroystva osnovanii i fundamentov [Loess soils of West Siberia and methods of the device of the bases and foundations]. Moscow: Vysshaya shkola, 2000. 244 p.
3. Khalturina L.V., Krivorotov A.P., Kuskovskii V.S. Opredelenie glubiny szhimaemoy tolschi osnovaniya s uchetom harakteristik gruntov [Determining the depth of the compressible stratum at the base taking into account characteristics of soils]. *Polzunovskii vestnik*, 2012, no. 1–2, pp. 121–125.

4. Sokolov N. Problema lessov [The problem of loess]. *Sorosovskii obrazovatel'nyi zhurnal*, 1996, no. 9, pp. 86-93.

5. Lavrusevich A.A., Lavrusevich S.A., Gorshkova O.G. Technogenesis and behavior of the loessial rocks. *Proceedings of International Scientific Conf.* Vladivostok: Dalnauka, 2009, pp. 130-131.

6. Liutov V.N., Shvetsov G.I., Kulikov S.K. Issledovanie i analiz vozmozhnosti ispolzovaniia sovremennykh struinykh geotekhnologii dlia ukrepleniia lessovykh gruntov v usloviakh Zapadnoi Sibiri [Research and analysis of the possibilities of using modern inkjet geotechnologies to strengthen loess soils in West Siberia]. *Polzunovskii vestnik*, 2014, no. 1, pp. 95-100.

7. Liutov V.N., Kulikov S.K. Issledovaniia i vybor optimal'nykh variantov mekhanizirovannykh sposobov ukrepleniia lessovykh gruntov osnovanii zdaniy i sooruzhenii v usloviakh Zapadnoi Sibiri [Research and selection of optimal variants of mechanical ways to strengthen loess soil bases of buildings and constructions in the conditions of Western Siberia]. *Polzunovskii vestnik*, 2013, no. 4-1, pp. 135-140.

8. Shvetsov G.I., Merentsova G.S. Osnovnye metody ustroistva osnovanii i fundamentov na lessovykh prosadochnykh gruntakh Altaiskogo kraia [The main methods of the device of the bases and foundations on collapsible loess soils of the Altai]. *Gornaia promyshlennost'*, 2009, no. 5 (87), pp. 66-68.

9. Pantiushina E.V. Lessovye grunty i inzhenernye metody ustraneniia ikh prosadochnykh svoistv [Loess soils and engineering approaches to eliminate them subsiding properties]. *Polzunovskii vestnik*, 2011, no. 1, pp. 127-130.

10. Isakova E.A., Bochkareva T.M. Issledovanie raboty usilennogo osnovaniia putem sozdaniia ploskostnogo geomassiva po metodu smolizatsii [Research of the yielding of base which was consolidated by manufactured plane element]. *Sbornik nauchnykh trudov "Geologiya v razvivaiushchemsia mire"*, 2015, vol. 2, pp. 40-43.

Получено 27.06.2015

Об авторах

Исакова Елена Александровна (Пермь, Россия) – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29), инженер ОАО «Нью Граунд» (614089, г. Пермь, ул. Кронштадтская, 35, e-mail: can_88@list.ru).

Клевеко Владимир Иванович (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительное производство и геотехника» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: vlivkl@mail.ru).

About the authors

Elena A. Isakova (Perm, Russian Federation) – Master student, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation), Engineer, OJSC “New Ground” (35, Krondshtatskaya st., Perm, 614089, Russian Federation, e-mail: can_88@list.ru).

Vladimir I. Kleveko (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Building Production and Geotechnics, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: vlivkl@mail.ru).