УДК 692.115

С.А. Сазонова, А.Б. Пономарев

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, Россия

ПРИМЕНЕНИЕ ЭКСПРЕСС-МЕТОДА ПРИ ОЦЕНКЕ СВОЙСТВ ТЕХНОГЕННЫХ ГРУНТОВ

Описаны основные свойства техногенных грунтов, поставлена проблема их использования в качестве основания зданий и сооружений. В связи с этим проведено сравнение двух методов определения коэффициента уплотнения: лабораторные испытания и испытания с использованием динамического плотномера.

Ключевые слова: техногенные грунты, основания зданий и сооружений, коэффициент уплотнения, лабораторные испытания грунтов, динамический плотномер, модуль деформации.

S.A. Sazonova, A.B. Ponomarev

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

THE USE OF EXPRESS-METHOD IN ASSESSING PROPERTIES OF TECHNOGENIC SOILS

The article describes the basic properties of technogenic soils and posed problem using them as the Foundation of buildings and constructions. In this regard, the comparison of two methods for determination of compaction factor: laboratory tests and trials using dynamic density meters.

Keywords: made ground, bases of buildings, coefficient of consolidation, soil laboratory testing, dynamic density, deformation module.

На территории г. Перми развиты различные виды специфических грунтов, такие как просадочные, набухаемые, органоминеральные и минеральные (илы, грунты с растительными остатками, грунты различной степени заторфованности, торфы), техногенные и элювиальные грунты. Все площадки, где наблюдается распространение специфических грунтов, отнесены к территориям, условно благоприятным для строительства по грунтовым условиям. Из всех вышеперечисленных грунтовых условий наиболее актуальным для центральной части горо-

да является наличие техногенных грунтов, непригодных в качестве надежного основания для зданий и сооружений.

Согласно ГОСТ 25100–2012 техногенные грунты – естественные грунты, измененные и перемещенные в результате производственной и хозяйственной деятельности человека, и антропогенные образования – твердые отходы производственной и хозяйственной деятельности человека, в результате которой произошло коренное изменение состава, структуры и текстуры природного минерального или органического сырья. Техногенные грунты также называют насыпными, грунтами городских несанкционированных свалок, техногенными насыпными грунтами строительных отвалов и свалок, свалочными грунтами и т.д. [1]. Таким образом, можно сделать вывод о том, что к техногенным грунтам возможно отнести любой тип грунта, свойства которого были изменены в результате деятельности человека, например грунты обратной засыпки, грунты основания под пол и т.д.

В крупных городах наблюдается тенденция увеличения плотности городской застройки в центральной части города, и, как следствие, техногенные грунты все чаще вовлекаются в сферу инженерного воздействия [2].

На основании работы с материалами геологических изысканий прошлых лет, предоставленными «ВерхнекамТИСИЗ», в застроенной части города фиксируется распространение техногенных грунтов, обладающих специфическими свойствами.

Техногенные отложения г. Перми представлены в основном насыпным грунтом, отсыпанным сухим способом, который представляет собой смесь строительного и бытового мусора, битого кирпича, котельного шлака, кокса, гравийной отсыпки, глины, песка, суглинка, нередко остатки фундаментов разрушенных домов, заваленных выгребных ям, характеризуется неоднородным составом и сложением, неравномерной плотностью и сжимаемостью. Ниже уровня грунтовых вод техногенный грунт насыщен водой (необходимо отметить, что довольно часто встречается верховодка, происхождение которой имеет техногенный характер) [3–5].

Применения техногенных грунтов в качестве оснований для фундаментов зданий и сооружений, как показывает практика, пытаются избежать ввиду неоднородности свойств. Согласно требованиям СП 22.13330.2011 инженерно-геологические изыскания техногенных

грунтов предусматривают в дополнение к общим требованиям изучение их состава, способа и давности отсыпки, толщины насыпи и ее изменение на застраиваемом участке, степени изменчивости сжимаемости и т.д., что значительно увеличивает стоимость изысканий.

Дополнительные требования также предъявляются и к расчетам оснований, сложенных техногенными грунтами. Полная деформация основания должна определяться суммированием осадок основания от внешней нагрузки и дополнительных осадок от самоуплотнения насыпных грунтов и разложения органических включений, а также осадок (просадок) подстилающих грунтов от веса насыпи и нагрузок от фундамента [6].

Крайняя неоднородность состава, неравномерная сжимаемость, протекающий длительное время процесс самоуплотнения, просадочность, наличие линз льда, засоленность, пониженная прочность – типичные особенности искусственных грунтов изучаемой территории, все чаще используемых в качестве основания различных зданий и сооружений. Однако изученность техногенных грунтов в настоящее время недостаточна, что обусловлено трудностью, значительными объемами и продолжительностью исследований, а также существенной опасностью (риском) строительства в столь сложных, трудно прогнозируемых условиях [1].

Основной проблемой при строительстве на техногенном основании является оценка его деформируемости и прогноз осадки фундаментов. Для улучшения деформационных свойств грунта техногенных оснований, включая основания, устраиваемые под фундаменты, или полы в зданиях, в практике строительства применяется уплотнение грунтов. Необходимость уплотнения грунта вызвана его разрыхлением при технологической разработке. В результате разрыхления происходит ухудшение свойств грунта, повышается его сжимаемость под нагрузкой, водопроницаемость и влагоемкость. [5]

Уплотнение грунтов – это процесс искусственного преобразования свойств грунтов в строительных целях без коренного изменения их свойств. Известно, что уплотнение грунтов представляет собой процесс взаимного перемещения частиц грунта, в результате которого увеличивается число контактов между ними в единице объема вследствие их перераспределения под действием прилагаемых к грунту механических нагрузок [1]. В то же время недоуплотнение грунтов осно-

вания может привести к неравномерным осадкам фундаментов, деформациям конструкции полов, устраиваемых по грунту, нарушению гидроизоляции и, как следствие, нарушению условий нормальной эксплуатации здания вплоть до возникновения аварийной ситуации [7].

Основным контролируемым параметром при подготовке основания является коэффициент уплотнения, требуемое значение которого можно определить в зависимости от нагрузки на поверхность, типа грунта и толщины отсыпки по табл. М.2 СП 45.13330. Существует некая эмпирическая зависимость между коэффициентом уплотнения и модулем деформации грунта, в свою очередь осадка оснований и фундаментов зависит от модуля деформации. Таким образом, задавая коэффициент уплотнения, можно делать прогноз осадки фундаментов зданий и сооружений для определенных грунтовых условий.

Под значением коэффициента уплотнения принято считать отношение достигнутой плотности сухого грунта к максимальной плотности сухого грунта, полученной в приборе стандартного уплотнения по ГОСТ 22733. Данная методика определения коэффициента уплотнения весьма трудоемка, проведение экспериментов занимает длительное время, приблизительно 4 ч. В условиях производства работ необходима быстрая оценка свойств основания или степени уплотнения грунта обратной засыпки, как доказывает строительная практика [8]. Так, бетонирование пола подвала не может быть начато пока не будет проведена проверка качества основания. В связи с этим возрастает роль экспресс-методов при определении коэффициента уплотнения, поскольку применение таких методов позволяет избежать непредвиденных перерывов в работе. Существует ряд методов экспресс-оценки степени уплотнения грунта основания, наибольшую применимость из которых нашел метод с использованием динамического плотномера.

В статье представлены результаты определения коэффициента уплотнения на экспериментальной площадке в г. Перми. Песчаное основание под полы из песка мелкого однородного (масса частиц крупнее 0,1 мм 75 %) выбрано в качестве объекта исследования. Был определен коэффициент уплотнения методом по ГОСТ 22733, а также проведены результаты испытания с использованием динамического плотномера, выполнены анализ и сопоставление получившихся данных для каждой из выбранных точек площадки. За эталонное значение ко-

эффицентов были приняты значения, определенные методом стандартного уплотнения по ГОСТ 22733.

Метод стандартного уплотнения заключается в установлении зависимости плотности сухого грунта от его влажности при уплотнении образцов грунта с постоянной работой уплотнения и последовательным увеличением влажности грунта по ГОСТ 22733. Для проведения эксперимента на каждом исследуемом участке было отобрано 6 кг грунта нарушенного сложения, согласно ГОСТ 22733 при отсутствии частиц крупнее 10 мм, для определения гранулометрического состава, средней плотности частиц грунта и количества воды для доувлажнения отобранной пробы до влажности первого испытания. Также отобраны пробы грунта ненарушенной структуры при помощи колец-пробоотборников для определения плотности сухого грунта (опытной). Плотность сухого грунта ρ_d находилась расчетным методом в зависимости от влажности грунта (определяемой методом высушивания до постоянной массы по ГОСТ 5180–84) и плотности грунта (определяемой методом режущего кольца по ГОСТ 5180–84).

Испытания проводились с помощью прибора стандартного уплотнения ГТ 1.4.1 (рис. 1).

Рис. 1. Прибор стандартного уплотнения ГТ 1.4.1:
1 – блок управления; 2 – механизм подъемно-сбросной;
3 – форма для формирования образца грунта с поршнем

По результатам испытаний построены графики зависимости плотности сухого грунта от влажности (рис. 2), определена максимальная плотность сухого грунта, оптимальная влажность. Коэффициент уплотнения определялся по формуле

$$K_{\text{com}} = \rho_d / \rho'_{d \text{ max}}, \quad (1)$$

где K_{com} – коэффициент уплотнения; ρ_d – плотность сухого грунта; $\rho'_{d \text{ max}}$ – максимальная плотность сухого грунта.

Рис. 2. График зависимости плотности сухого грунта от влажности

На втором этапе исследований было определен коэффициент уплотнения при помощи динамического плотнмера ДПГ-1.2.

Прибор динамический плотномер ДПГ-1.2 (рис. 3) предназначен для определения динамического модуля упругости E_d и статического модуля упругости E_{st} .

На выбранных участках, в непосредственной близости к местам отбора грунта ненарушенной структуры, проводилась серия измерений модулей упругости. Коэффициент уплотнения K_{com} можно определять в зависимости от вида грунта и модулей упругости по таблице, приведенной в руководстве по эксплуатации ДПГ-1.2. В данной таблице приведены значения коэффициента уплотнения $K_{\text{com}} \geq 0,97$, которые не входят в интервал величин, полученных для данной экспериментальной площадки. В связи с этим было принято решение о построении графиков зависимости найденных модулей от коэффициента уплотнения K_{com} , полученного при испытаниях по ГОСТ 22733.

На заключительном этапе исследования произведен анализ зависимости коэффициента уплотнения $K_{\text{сomp}}$, вычисленного в результате лабораторных испытаний по ГОСТ 22733, от значений динамического модуля E_d , полученных в результате испытаний с использованием динамического плотнмера ДПГ-1.2. Приведенные на рис. 4 зависимости хорошо коррессируется с результатами зарубежных исследований [9].

Рис. 3. Динамический плотномер грунта ДПГ-1.2:

1 – электронный блок; 2 – ручки сброса;
3 – механическое ударное устройство; 4 – круглый штамп

Рис. 4. График зависимости коэффициента уплотнения от динамического модуля

Из графика видно, что при увеличении коэффициента уплотнения K_{com} возрастает значение динамического модуля деформации E_d . В настоящее время точно интерпретировать и описать полученный график зависимости функцией весьма затруднительно. Для повышения достоверности получаемых уравнений в дальнейшем авторами планируется проведение дополнительных экспериментов с использованием большего количества экспериментальных точек.

Библиографический список

1. Сазонова С.А., Пономарев А.Б. О необходимости комплексного изучения свойств техногенных грунтов и использования их в качестве оснований зданий // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2013. – № 2. – С. 98–106.
2. Пономарев А.Б. К вопросу об изменении физико-механических характеристик грунтов в процессе строительства и эксплуатации зданий // Известия Орловского государственного технического университета. Сер.: Строительство и транспорт. – 2007. – № 2-14. – С. 104–109.
3. Пономарев А.Б., Захаров А.В. Анализ строительства на техногенных грунтах в г. Перми // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Строительство и архитектура. – 2013. – № 31-2 (50). – С. 272–278.
4. Калошина С.В., Пономарев А.Б. Наиболее значимые факторы строительства при возведении зданий в стесненных условиях // Изв. Орловского государственного технического университета. Сер.: Строительство и транспорт. – 2007. – № 1–13. – С. 7–10.
5. Пономарев А.Б., Калошина С.В., Салимгариева Н.И. Влияние процесса подтопления на физико-механические свойства грунтов // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. – 2013. – № 1. – С. 67–70.
6. Пономарев А.Б., Кузнецова А.С., Офрихтер В.Г. Применение фиброармированного песка в качестве основания зданий и сооружений // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Строительство и архитектура. – 2013. – № 30. – С. 101–107.
7. Строительство на урбанизированных территориях / А.Б. Пономарев, С.В. Калошина, С.И. Старцева, М.А. Безгоднов. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2012. – 199 с.

8. Пономарев А.Б. Татьянаников Д.А., Татьянаников А.Н. К вопросу проведения инженерно-геологических изысканий на урбанизированных территориях // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2013. – № 2. – С. 74–81.

9. M.J. Sulewska. The application of the modern method of embankment compaction control // Journal of civil engineering and management. – 2004. – Vol. X, suppl 1. – P. 45–50.

References

1. Sazonova S.A, Ponomarev A.B. O neobходимosti kompleksnogo izucheniya svojstv tekhnogennykh gruntov i ispol'zovaniya ikh v kachestve osnovanij zdaniy [On the necessity of a comprehensive study of the technogenic soil properties and using it as a base of the buildings]. *Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura* ", 2013, no. 2, pp. 98-106.

2. Ponomarev A.B. K voprosu ob izmenenii fiziko-mekhanicheskikh kharakteristik gruntov v processe stroitel'stva i ekspluatatsii zdaniy [On the variation of physico-mechanical properties of soil during construction and operation of buildings]. *Izvestiya Orlovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i transport*, 2007, no. 2 (14), pp. 104-109.

3. Ponomarev A.B, Zakharov A.V. Analiz stroitel'stva na tekhnogennykh gruntakh v g. Permi [Analysis of construction on industrial soil in perm]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2013, no. 31-2 (50). pp. 272-278.

4. Kaloshina S.V, Ponomarev A.B. Naibolee znachimye faktory stroitel'stva pri vozvedenii zdaniy v stesnennykh usloviyakh [The most significant factors of construction for buildings in cramped conditions]. *Izvestiya Orlovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i transport*, 2007, no. 1-13. pp. 7-10.

5. Ponomarev A.B, Kaloshina S.V, Salimgarieva N.I. Vliyanie protsessa podtopleniya na fiziko-mekhanicheskie svojstva gruntov [The influence of flooding on the physical and mechanical properties of soils]. *Akademicheskij vestnik UralNIIproekt RAASN*, 2013, no. 1. pp. 67-70.

6. Ponomarev A.B., Kuznetsova A.S., Ofrikhter V.G. Otsenka prochnosti fibroarmirovannogo peska po rezul'tatam ispytaniy na trekhosnoe szhatie [Application of fibroreinforced sand as the foundation of buildings and constructions]. *Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura* ", 2013, no. 30. pp. 101-107.

7. Ponomarev A.B., Kaloshina S.V., Startseva S.I., Bezgodov M.A. Stroitel'stvo na urbanizirovannykh territoriyakh [Construction in urban areas]. Perm, 2012, 199 p.

8. Ponomarev A.B., Tat'yannikov D.A., Tat'yannikov A.N. K voprosu provedeniya inzhenerno-geologicheskikh izyskanij na urbanizirovannykh territoriyah [On the engineering-geological surveys in urban areals]. *Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura* , 2013, no. 2, pp. 74-81.

9. M.J. Sulewska. The application of the modern method of embankment compaction control . *Journal of civil engineering and management*, 2004, vol. X, suppl. 1, pp. 45-50.

Сведения об авторах

Сазонова Светлана Александровна (Пермь, Россия) – аспирант кафедры строительного производства и геотехники Пермского национального исследовательского политехнического университета (e-mail: feliks150@mail.ru).

Пономарев Андрей Будимирович (Пермь, Россия) – доктор технических наук, профессор кафедры строительного производства и геотехники Пермского национального исследовательского политехнического университета, советник РААСН, действительный член Академии естественных наук РФ (РАЕН), почетный строитель РФ, почетный работник высшего профессионального образования РФ (e-mail: spstf@pstu.ac.ru).

Сведения об авторах

Sazonova Svetlana Aleksandrovna (Perm, Russian Federation) – Doctoral Student, Department of Construction production and geotechnics, Perm National Research Polytechnic University (e-mail: feliks150@mail.ru).

Ponomarev Andrey Budimirovich (Perm, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Construction production and geotechnics Perm National Research Polytechnic University (e-mail: spstf@pstu.ac.ru).

Получено 09.04.2014