



DOI: 10.15593/2224-9826/2019.2.03

УДК 624.131.21

ОПЫТ УПЛОТНЕНИЯ СЛАБЫХ ВОДОНАСЫЩЕННЫХ ЛЕССОВЫХ ГРУНТОВ ВЕРТИКАЛЬНЫМИ ПЕСЧАНЫМИ ДРЕНАМИ В СЕЙСМИЧЕСКИХ РЕГИОНАХ

Р.А. Мангушев, Р.А. Усманов

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, Санкт-Петербург, Россия

О СТАТЬЕ

Получена: 27 декабря 2018
Принята: 25 февраля 2019
Опубликована: 28 июня 2019

Ключевые слова:

слабые водонасыщенные лессовые грунты, вертикальные песчаные дренаи, статические воздействия, динамические и сейсмозрывные воздействия, уплотнение.

АННОТАЦИЯ

Приведены результаты исследования особенностей уплотнения слабых водонасыщенных лессовых грунтов вертикальными песчаными дренами при статических и сейсмических воздействиях в условиях Центрально-Азиатского региона. С учетом отсутствия каких-либо экспериментально-теоретических исследований применения этого метода были проведены полевые (натурные) экспериментальные исследования по выявлению возможности и эффективности его применения в условиях слабых водонасыщенных лессовых грунтов Республики Таджикистан. В статье рассмотрены изменения основных физико-механических характеристик грунтов экспериментальных площадок до и после их уплотнения, конструкции поверхностных и глубинных марок для измерения общих и послойных деформаций грунтовой толщи, методика загрузки площадок статическими (весом грунтовой насыпи) и сейсмическими (имитированными сейсмозрывными воздействиями) нагрузками. На экспериментальной площадке были подготовлены три участка размером 10×10 м, где участок № 1 загружался без устройства вертикальных песчаных дрен, на участке № 2 дренаи устраивались по сетке 2×2 м на глубину 6,0 м, а на участке № 3 – по сетке 3×3 м на глубину 6,0 м. Статическое нагружение экспериментальных участков производилось путем послойной отсыпки грунтового материала с измерением общих и послойных деформаций уплотняемой толщи. Имитация сейсмического воздействия интенсивностью 8 баллов была осуществлена с помощью короткозамедленных взрывов зарядов взрывчатого вещества. Проведенные исследования позволили установить эффективность применения вертикальных песчаных дрен для уплотнения слабых водонасыщенных лессовых грунтов. Выявлены основные недостатки загрузки толщи слабых грунтов весом грунтовой насыпи, даны рекомендации по использованию энергии взрывов для повышения качества уплотнения грунтов.

© ПНИПУ

© Мангушев Рашид Абдуллоевич – доктор технических наук, профессор, e-mail: geotechnica@spbgasu.ru
Усманов Рустам Алимджанович – доктор технических наук, профессор, e-mail: geotechnica@spbgasu.ru

Rashid A. Mangushev – Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: geotechnica@spbgasu.ru
Rustam A. Usmanov – Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: geotechnica@spbgasu.ru

EXPERIENCE OF SEALING WEAK WATER-SATURATED LOESS SOILS WITH VERTICAL SAND DRAINS IN SEISMIC REGIONS

R.A. Mangushev, R.A. Usmanov

Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering,
Saint-Petersburg, Russian Federation

ARTICLE INFO

Received: 27 December 2018
Accepted: 25 February 2019
Published: 28 June 2019

Keywords:

weak water-saturated loess soils, vertical sand drains, static effects, dynamic and seismic explosion effects, compaction.

ABSTRACT

The article presents the results of studies relating to compaction of weak water-saturated forest soils and vertical sandy drains under static and seismic effects in the conditions of the Central Asian region. Considering the absence of any experimental and theoretical studies of the application of this parameter, field (in-situ) experimental studies were carried out to identify the possibilities and effectiveness of its use in conditions of weak water-rich loess soils of the Republic of Tajikistan. The article discusses changes in the basic physical and mechanical characteristics of soils and experimental structures. At the experimental site, three plots with a size of 10·10 m were prepared, where the plot was loaded without the installation of vertical sand drains; 3·3 m to a depth of 6.0 m. Static loading of experimental plots by a derivative by layer-by-layer dumping of ground material with measurement of total and layer-by-layer deformations of the packed thickness. Imitation of seismic impact with an intensity of 8 points was carried out using short-delayed explosions of explosive charges. Studies have shown the effectiveness of the use of vertical sandy drains for compaction of weak water-saturated loess soils. Recommendations are given on the use of explosion energy to improve the quality of soil compaction.

© PNRPU

Опыт строительства показывает, что при значительной толщине слабого водонасыщенного слоя грунта ($h > 10$ м), показателе текучести $I_L \geq 0,8$ и модуле деформации грунтов $E \leq 5,0$ МПа широко используется метод предпостроечного уплотнения грунтов вертикальными песчаными дренами с последующей пригрузкой уплотняемой толщи весом насыпи или другими материалами, полезная нагрузка от которых равна или превышает нагрузку от проектируемого сооружения.

В сейсмически активных районах Республики Таджикистан, как и в ряде других Центрально-Азиатских стран, в связи с подтоплением территорий площадки строительства зачастую могут быть представлены большими толщами слабых водонасыщенных лессовых грунтов ($h = 12...20$ м) с весьма низкими значениями физико-механических характеристик ($I_L \geq 0,8$; $e \geq 0,8$; $R \leq 100$ кПа; $E \leq 5,0$ МПа). Проектирование и обеспечение эксплуатационной надежности зданий в указанных условиях связано с применением различных методов подготовки искусственных оснований (уплотнением, закреплением, заменой слабого грунта и др.) или устройством фундаментов глубокого заложения, в том числе свайных. Существующий опыт показывает, что одним из эффективных, а иногда и единственным, может быть метод предпостроечного уплотнения этих грунтов вертикальными песчаными дренами и пригрузкой территории [1–6]. Об эффективности уплотнения слабых водонасыщенных лессовых грунтов весом пригрузки свидетельствует опыт уплотнения оснований металлических резервуаров на одном из объектов в южной части Республики Таджикистан [7]. Наблюдения за развитием осадок резервуаров при их гидроиспытаниях показали, что при однократном загрузке основания резервуаров весом воды и последующей разгрузке были выбраны до 80 % от их общей осадки, и при этом более 90 % их величины составляли остаточные деформации. Следует отметить, что в практике резервуаростроения

перед сдачей их в эксплуатацию проводят испытание водой (гидроиспытание) с целью проверки водонепроницаемости сварных швов. При этом строители параллельно проводят еще одно важное мероприятие – дополнительно уплотняют слабые водонасыщенные грунты до введения резервуаров в постоянную эксплуатацию [8, 9].

Необходимо отметить, что опыта проектирования и материалов исследований по уплотнению слабых водонасыщенных лессовых грунтов пригрузкой территории с устройством вертикальных песчаных дрен в условиях республики и других стран нами не установлено. Поэтому для изучения возможности и эффективности применения этого метода были проведены полевые (натурные) экспериментальные исследования, целью которых являлось изучение возможности и особенностей уплотнения слабых водонасыщенных лессовых грунтов вертикальными песчаными дренами при статических и динамических (сейсмических) воздействиях.

Исследования были проведены на экспериментальном участке, сложенном большой толщиной слабых водонасыщенных грунтов со следующими физико-механическими свойствами: плотность сухого грунта $\rho_d = 1,54 \text{ т/м}^3$, природная влажность $w = 32 \%$, степень влажности $S_r = 0,98$, коэффициент пористости $e = 0,79$, показатель текучести $I_L = 0,8$, модуль деформации $E = 2...2,7 \text{ МПа}$. Уровень подземных вод находится на глубине 1,5 м от дневной поверхности, а на глубине более 16 м грунты представлены водонасыщенными лессовыми суглинками.

До начала устройства песчаных дрен были проведены статические испытания естественных оснований с помощью круглых жестких штампов площадью $A_{шт} = 1,0 \text{ м}^2$ ($d_{шт} = 1,13 \text{ м}$), которые были установлены непосредственно на слое слабого грунта (на отметке уровня подземных вод). По результатам испытаний значение расчетного сопротивления грунтов основания составило $R = 90 \text{ кПа}$, а модуля деформации – $E = 2...2,7 \text{ МПа}$.

Затем на экспериментальном участке был вырыт котлован размером $10 \times 30 \text{ м}$ до уровня подземных вод, на поверхности которого была устроена песчаная подушка толщиной $h = 0,5 \text{ м}$ из крупнозернистого отмытого песка. Эта подушка обеспечивала возможность передвижения механизмов на поверхности котлована, а в дальнейшем служила горизонтальным дренажом для отвода отжимаемой воды из толщи грунта. Подготовленная площадка была разделена на 3 отдельных участка размерами $10 \times 10 \text{ м}$ каждый. План и разрез экспериментальной площадки приведены на рис. 1.

Для возможности сравнения результатов экспериментальных исследований первый участок был пригружен весом грунтовой насыпи без устройства песчаных дрен в основании, на втором были устроены песчаные дренаи по сетке $2 \times 2 \text{ м}$, а на третьем – по сетке $3 \times 3 \text{ м}$. Вертикальные песчаные дренаи диаметром $d = 0,4 \text{ м}$ были устроены на глубину $h = 6,0 \text{ м}$ от дна котлована. Схема вертикальной песчаной дрены показана на рис. 2, а. Для измерения общих и послойных деформаций толщи слабых грунтов по глубине, на всех трех участках были установлены специальные конструкции поверхностных и глубинных марок (схема размещения марок приведена на рис. 1, а их конструкций – на рис. 2, б, в). Поверхностные марки были размещены по сетке $3 \times 3 \text{ м}$, а глубинные марки установлены через каждые 1,5 м до глубины 6,0 м. Наблюдения за перемещениями всех марок осуществлялись с помощью нивелирования относительно двух неподвижных реперов, расположенных на расстоянии 40 м от экспериментальной площадки.

Пригрузка экспериментальных участков статическими нагрузками производилась весом грунтовой насыпи путем отсыпки слоев толщиной по 1,0 м каждая, с выдержкой каждой ступени до условной стабилизации деформаций, принятой равной 1,0 мм/сут. После загрузки толщи грунтов статическими нагрузками также были проведены исследования

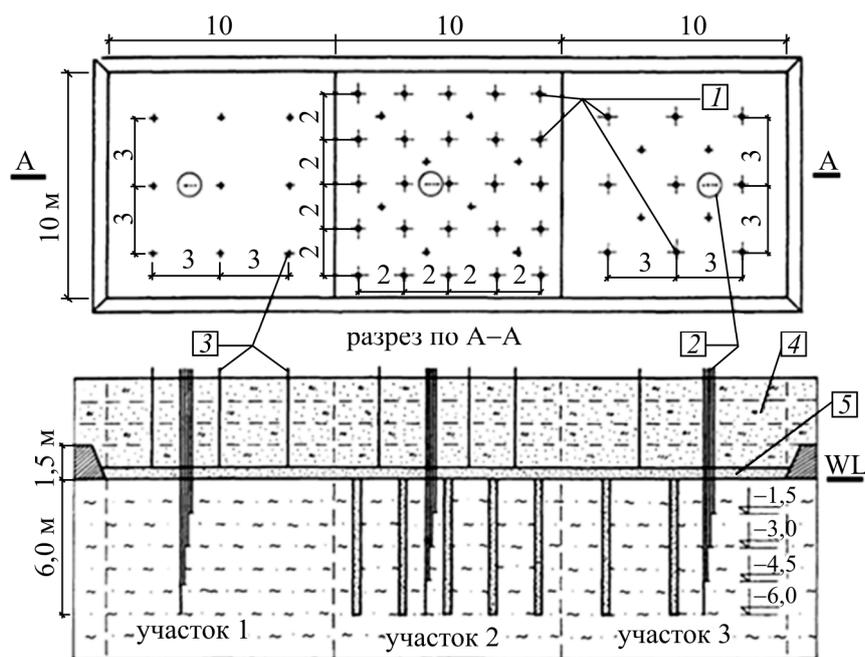


Рис. 1. План и разрез экспериментальной площадки:
1 – песчаные дрены; 2 – глубинные марки; 3 – поверхностные марки;
4 – грунтовая насыпь; 5 – песчаная подушка

Fig. 1. Plan and section of the experimental site: 1 – sand drains;
2 – depth marks; 3 – surface marks; 4 – soil mound; 5 – sand pillow

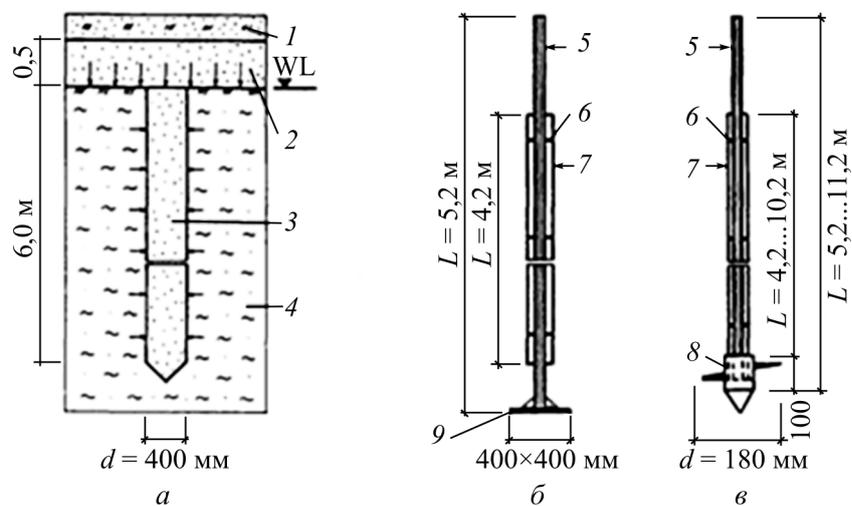


Рис. 2. Схема песчаной дрены (а), конструкции поверхностных (б) и глубинных марок (в):
1 – пригрузочная насыпь; 2 – песчаная подушка; 3 – песчаная дрена; 4 – слабый грунт; 5 – реперная труба; 6 – сальники; 7 – обсадная труба; 8 – труба, $d = 76$ мм; 9 – металлическая пластина
Fig. 2. Scheme of sand drainage (a), surface (b) and depth marks (c): 1 – loading embankment;
2 – sand pillow; 3 – sand drain; 4 – weak ground; 5 – reference tube; 6 – glands; 7 – casing pipe;
8 – pipe, $d = 76$ mm; 9 – metal plate

влияния сейсмических сил, имитированных сейсмозрывными воздействиями, на процесс уплотнения слабых грунтов [10–13]. Имитация сейсмического воздействия была осуществлена с помощью короткозамедленных камуфлетных взрывов зарядов взрывчатого вещества массой 8–10 кг, которые устанавливались в специальные металлические контейнеры

и погружались в буровые скважины на глубину 8–10 м от поверхности земли (общим весом 384 кг). Взрывные скважины в количестве 40 шт. были расположены тремя concentрическими рядами (13+13+14 скважин) на расстоянии 20, 25 и 30 м от экспериментальных участков.

После завершения всех работ были проведены исследования изменения физико-механических свойств грунтов уплотненной толщи в лабораторных и полевых условиях. Полевые исследования также включали проведение статических испытаний с помощью металлических круглых жестких штампов и статического зондирования.

Перед началом пригрузки территории были зафиксированы положения всех поверхностных и глубинных марок относительно неподвижных реперов. Пригрузка территории статическими нагрузками была произведена путем послойной отсыпки грунтовой насыпи из смеси гравийно-галечникового и суглинистого грунта плотностью $\rho = 1,8 \text{ т/м}^3$. При отсыпке насыпи возникли большие технические затруднения, в связи с чем было отсыпано только 4 слоя и общая статическая нагрузка на уплотняемую толщу грунта составила $p = 75 \text{ кПа}$. Зависимости деформаций уплотняемой толщи s от времени t и веса пригрузки p для всех экспериментальных участков приведены на рис. 3.

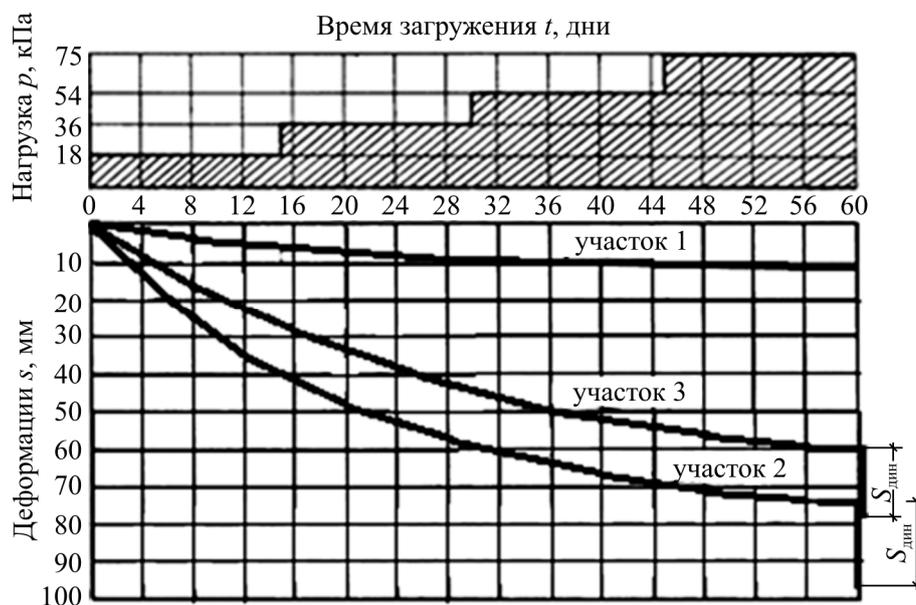


Рис. 3. Развитие деформаций экспериментальных участков во времени
Fig. 3. The development of deformations of experimental sites in time

Наибольшие значения деформаций были зафиксированы на участке 2, где песчаные дрены расположены по сетке $2,0 \times 2,0 \text{ м}$. Достаточно хороший эффект уплотнения также получен при устройстве дрен по сетке $3,0 \times 3,0 \text{ м}$ (участок 3). Исследованиями было установлено, что основная часть деформаций происходит в первые 5–6 дней после приложения каждой ступени нагрузки. Как видно из рис. 3, применение вертикальных песчаных дрен позволяет значительно повысить качество уплотнения толщи слабых водонасыщенных лессовых грунтов (в 5–8 раз), что свидетельствует об эффективности применения этого метода в условиях слабых водонасыщенных лессовых грунтов.

Характер развития послойных и относительных деформаций грунтов по глубине основания участка 2 приведен на рис. 4.

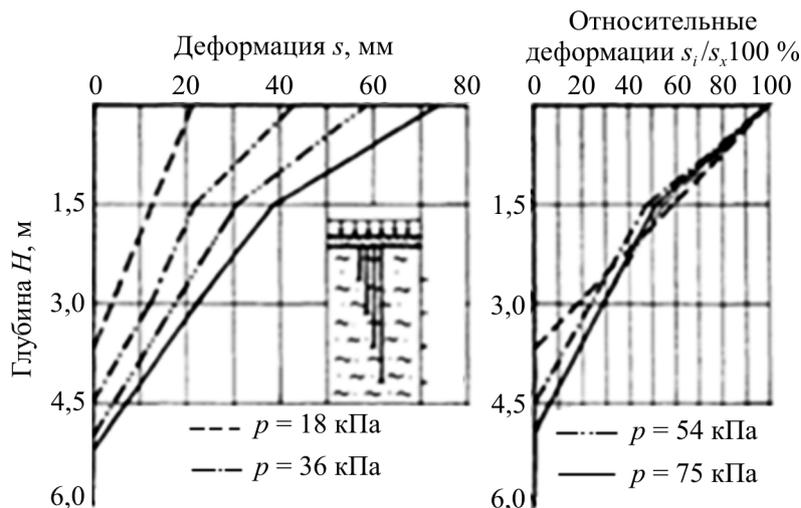


Рис. 4. Развитие послойных и относительных деформаций слоев грунта по глубине основания
 Fig. 4. The development of layer-by-layer and relative deformations of soil layers along the base depth

Анализ эпюры послойных перемещений свидетельствует о том, что основная часть деформаций грунтовой толщи происходит на глубине до $-3,0$ м, где зафиксировано более 70 % общей осадки грунтовой толщи. При этом на глубину $-1,5$ м приходится более 50 % их величины, а глубинная марка, расположенная на отметке $-6,0$ м, практически не перемещалась. Очевидно, это связано с малой величиной действующего давления, а также с тем, что по глубине основания увеличивается структурная прочность сжатия грунтов.

После завершения испытаний на действие статических нагрузок были проведены исследования влияния на массив уплотняемой толщи грунтов динамических (сейсмических) нагрузок, имитируемых сейсмозрывными воздействиями по ранее приведенной методике. При этом интенсивность сейсмического воздействия составила 8 баллов (по 12-балльной шкале MSK-64)¹.

Результаты испытаний, приведенные на рис. 3, показывают, что сейсмозрывные воздействия способствуют развитию значительных дополнительных деформаций ($S_{дин}$) слабого слоя грунта, величина которых может составлять до 30 % от общих деформаций, зафиксированных при статическом нагружении. Очевидно, это обстоятельство связано с повышением избыточного гидродинамического давления в поровой воде, которое приводит к дополнительному их отжатию в тело песчаных дрен и уплотнению толщи грунта.

Результаты исследований также указывают на эффективное воздействие динамических (сейсмозрывных) воздействий на качество уплотнения слабых грунтов вертикальными песчаными дренами. По нашему мнению, для ускорения процесса консолидации и повышения качества уплотнения слабых водонасыщенных лессовых грунтов целесообразным является использование энергии малых зарядов (микровзрывов) [15], масса которых для сохранения целостности песчаных дрен при производстве взрывов должна приниматься в пределах 0,2–0,4 кг. При этом заряды взрывчатого вещества следует размещать в пространстве между дренами и на втором-третьем уровне по их высоте (на рис. 5 приведены схемы расположения зарядов на примере экспериментального участка 2).

¹ Свод правил совместного предприятия 14.13330.2014 «Строительство в сейсмических странах», актуализированное издание «Строительные нормы и правила II-7-81*» / Фондментпроект. – М., 2013; Санкт-Петербург, 2006.

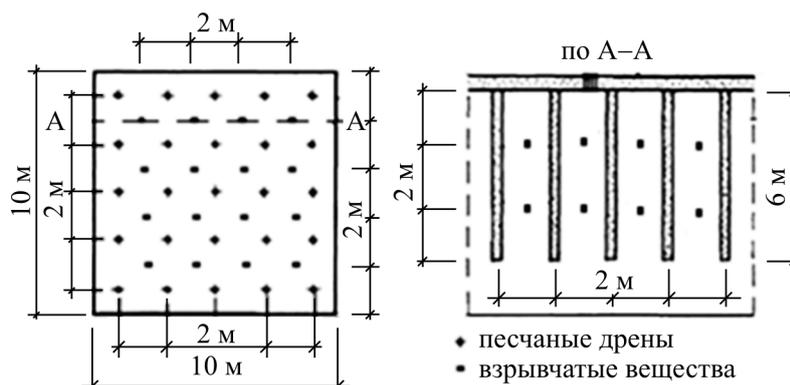


Рис. 5. Схемы расположения зарядов взрывчатого вещества в плане и по высоте между песчаными дренами

Fig. 5. Layout of explosive charges in terms of and the height between the sandy drains

Проведенные исследования позволили установить следующее:

– сейсмические (динамические) воздействия ускоряют процесс фильтрационной консолидации и способствуют повышению качества уплотнения толщи слабых водонасыщенных грунтов при использовании вертикальных песчаных дрен;

– при проектировании указанного метода в условиях слабых водонасыщенных грунтов и высокой сейсмической активности территорий строительства необходимо учитывать возможность дополнительного уплотнения толщи грунта и, следовательно, развития дополнительных деформаций в основании зданий при прохождении сейсмической (динамической) волны. Неучет этого фактора может существенно повлиять на эксплуатационную надежность зданий после сдачи их в эксплуатацию.

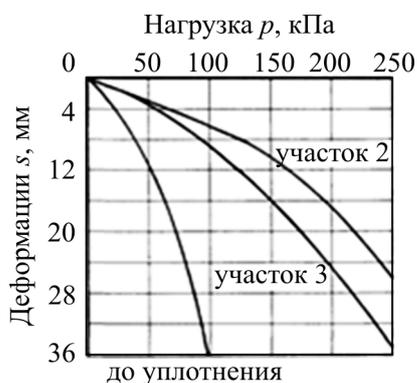


Рис. 6. Зависимость осадок штампов от нагрузки на уплотненных основаниях

Fig. 6. The dependence of the sediment dies from the load on the compacted grounds

После завершения всех исследований, для определения прочностных и деформационных характеристик уплотненных грунтов, на участках 2 и 3 были проведены статические испытания с помощью металлических жестких круглых штампов ($A_{ш} = 1,0 \text{ м}^2$, $d_{ш} = 1,13 \text{ м}$) и статического зондирования. Штамповые испытания проводились одновременным нагружением двух штампов, расположенных на расстоянии не менее $5,0d_{ш}$ друг от друга, через металлическую платформу при помощи железобетонных тарированных блоков ступенями нагрузок по $p = 25...50 \text{ кПа}$. На рис. 6 приведены зависимости деформации штампов s от нагрузки p на участке 2.

Для сравнения полученных результатов на этом же графике приведены результаты штамповых испытаний грунтов до их уплотнения песчаными дренами (на естественном основании). Полученные результаты свидетельствуют о том, что уплотнение толщи слабых грунтов вертикальными песчаными дренами позволяет:

– несмотря на приложенную небольшую статическую нагрузку, увеличить значения расчетного сопротивления (повысить несущую способность) грунтов основания до $R = 250$ кПа, что почти в 3 раза превышает эти значения до уплотнения;

– увеличить значения модуля деформации уплотненных грунтов до 4 раз;

– увеличить значения удельного сцепления уплотненных грунтов в 2 раза (по результатам статического зондирования).

Выводы

1. Проведенные экспериментальные исследования свидетельствуют об эффективности применения вертикальных песчаных дрен для уплотнения оснований, сложенных водонасыщенными лессовыми грунтами, даже при небольших величинах пригружающих (статических) нагрузок.

2. Серьезным недостатком этого метода является сложность отсыпки пригружающей насыпи большой высоты на обширной территории, что требует использования значительного объема грунта, времени и трудовых затрат. Поэтому необходимо найти более эффективные способы пригрузки толщи грунтов (например, использовать загрузку уплотняемой территории весом воды по аналогии с гидроиспытаниями металлических резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов).

3. Сейсмозрывные (динамические) воздействия способствуют увеличению величины общей деформации уплотняемой толщи (до 30 %). Установлено значительное влияние взрывных воздействий на повышение эффективности уплотнения слабых водонасыщенных лессовых грунтов вертикальными песчаными дренами при относительно небольших значениях пригружающего давления. Рекомендуется размещать заряды взрывчатого вещества в пространстве между дренами и на различных уровнях по высоте песчаной дрены, что будет способствовать значительному уменьшению высоты отсыпаемой насыпи (пригрузки).

4. Результаты исследований свидетельствуют о необходимости учета сейсмических и динамических воздействий при уплотнении слабых водонасыщенных лессовых грунтов вертикальными песчаными дренами, так как при этом вполне возможно развитие значительных по величине дополнительных деформаций в основании зданий после сдачи их в эксплуатацию, что может оказать негативное влияние на эксплуатационную надежность зданий.

Библиографический список

1. Абелев М.Ю. Строительство промышленных и гражданских сооружений на слабых водонасыщенных грунтах. – М.: Стройиздат, 1983.

2. Методы подготовки и устройства искусственных оснований: учеб. пособие / Р.А. Мангушев, Р.А. Усманов, В.В. Конюшков, С.В. Ланько. – М.: СПб.: Изд-во АСВ, 2012. – 272 с.

3. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения / под ред. В.А. Ильичева, Р.А. Мангушева. – 2-е изд., доп. и перераб. – М.: Изд-во АСВ, 2016. – 1040 с.

4. Рекомендации по рациональным методам уплотнения слабых водонасыщенных грунтов с помощью песчаных вертикальных дрен и известковых колонн для устройства оснований и фундаментов. – Эспоо, Финляндия, 1984. – 83 с.

5. Рекомендации по предпостроечному уплотнению слабых грунтов временной нагрузкой с применением песчаных и бумажных дрен. – Ярославль, 1978.

6. Рекомендации по предпостроечному уплотнению слабых водонасыщенных грунтов временной нагрузкой с применением ленточных дренажей. – М.: Изд-во Госстроя СССР, 1985.

7. Галицкий В.Г., Попсуенко И.К. Осадки промышленных сооружений на просадочных грунтах Таджикистана // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1985. – № 2. – С. 9–11.

8. Коновалов П.А., Усманов Р.А. Исследование деформаций сильносжимаемых оснований гибких штампов и резервуаров // Труды VII Дунайско-Европейской конференции по механике грунтов и фундаментостроению. – Кишинев, 1985. – С. 107–112.

9. Основания и фундаменты резервуаров / Ю.К. Иванов, П.А. Коновалов, Р.А. Мангушев, С.Н. Сотников. – М.: Стройиздат, 1989.

10. Лекаркин В.К. Методика исследования влияния сейсмозрывных воздействий на несущую способность фундаментов // Современные аспекты развития сейсмостойкого строительства и сейсмологии: сб. тр. междунар. науч. конф. – Душанбе, 2005.

11. Усманов Р.А. Слабые водонасыщенные грунты, образованные обводнением лесов, как основания сооружений в условиях Республики Таджикистан: дис. ... д-ра техн. наук. – Астана, 2009. – 252 с.

12. Рузиев А.Р., Усманов Р.А. Исследование сейсмического эффекта при уплотнении лессовых просадочных грунтов гидрозрывным методом в условиях сложного рельефа // Современные аспекты развития сейсмостойкого строительства и сейсмологии: сб. тр. междунар. науч. конф. – Душанбе, 2005. – С. 224–227.

13. Ишихара К. Поведение грунтов при землетрясениях (перевод с английского) / под ред. А.Б. Фадеева, М.Б. Лисюка. – СПб.: НПО Геореконструкция, 2012.

14. Иванов П.Л. Уплотнение малосвязных грунтов взрывами. – М.: Недра, 1983.

References

1. Abelev M.Yu. Stroitel'stvo promyshlennykh i grazhdanskikh sooruzheniy na slabykh vodonasyschennykh gruntakh [Construction of industrial and civil structures on weak water-saturated soils]. Moscow, Stroiizdat, 1983.

2. Mangushev R.A., Usmanov R.A., Konyushkov V.V., Lanko S.V. [Methods for the preparation and design of artificial bases]. Moscow, Saint Petersburg, ASV, 2012, 272 p.

3. Spravochnik goetekhnika. Osnovaniia, fundamenty i podzemnye sooruzheniia [Reference geotechnics. Bases, foundations and underground structures]. Eds. V.A. Illichev, R.A. Mangushev. 2nd ed. Moscow, ASV, 2016, 1040 p.

4. Rekomendatsii po ratsional'nym metodam uplotneniya slabykh vodonasyschennykh gruntov s pomoshch'yu peschanykh vertikal'nykh dren i izvestkovykh kolonn dlya ustroystva osnovaniy i fundamentov [Recommendations for rational methods of compaction of weak water-saturated soils with the help of sandy vertical drains and lime columns for the construction of bases and foundations]. Espoo, Finland, 1984, 83 p.

5. Rekomendatsii po predpostroyechnomu uplotneniyu slabykh gruntov vremennoy nagruzkoy s primeneniym peschanykh i bumazhnykh dren [Recommendations for pre-compaction of weak soils with a temporary load using sand and paper drains]. Yaroslavl, 1978.

6. Rekomendatsii po predpostroyechnomu uplotneniyu slabykh vodonasyschennykh gruntov vremennoy nagruzkoy s primeneniym lentochnykh dren [Recommendations for the pre-compaction of weak water-saturated soils with temporary load using tape drains]. Moscow, Gosstroi, 1985.

7. Galitsky V.G., Popsuenko I.K. Osadki promyshlennykh sooruzheniy na prosadochnykh gruntakh Tadjikistana [Precipitation of industrial structures on subsiding soils of Tajikistan]. Bases, foundations and soil mechanics, 1985, no. 2, pp. 9-11.

8. Konovalov P.A., Usmanov R.A. Issledovaniye deformatsiy sil'noszhimayemykh osnovaniy gibkikh shtampov i rezervuarov [Investigation of the deformations of strongly compressible bases of flexible dies and tanks]. *Proceedings of the VII Danube-European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*. Chisinau, 1985, pp. 107–112.

9. Ivanov Yu.K., Konovalov P.A., Mangushev R.A., Sotnikov S.N. Osnovaniya i fundamenty rezervuarov [Grounds and foundations of tanks]. Moscow, Stroizdat, 1989.

10. Lekarkin V.K. Metodika issledovaniya vliyaniya seysmovzryvnykh vozdeystviy na nesushchuyu sposobnost' fundamentov [Methods of studying the effects of seismic effects on the bearing capacity of foundations]. *Collection of works of the international scientific conference "Modern aspects of the development of seismic resistant construction and seismology"*, Dushanbe, 2005.

11. Usmanov R.A. Slabye vodonasyshchennyye grunty, obrazovannyye obvodneniyem lessov, kak osnovaniya sooruzheniy v usloviyakh Respubliki Tadjikistan [Weak, water-saturated soils formed by watering of loess as bases of structures in the Republic of Tajikistan]. Doctor's degree dissertation. Astana, 2009, 252 p.

12. Ruziev A.R., Usmanov R.A. Issledovaniye seysmicheskogo effekta pri uplotnenii lessovykh prosadochnykh gruntov gidrovzryvnym metodom v usloviyakh slozhnogo rel'yefa [Investigation of the seismic effect during the compaction of loess subsided soils with a blast method in complex relief conditions. *Collection of works of the international scientific conference "Modern aspects of the development of seismic resistant construction and seismology."* Dushanbe, 2005, pp. 224-227.

13. Ishihara K. Povedeniye gruntov pri zemletryasenyakh [Soil behavior during earthquakes]. Eds. A.B. Fadeev, M.B. Lisyuk. Saint Petersburg, NPO Georeconstruction-Foundation project, 2006.

14. Ivanov P.L. Uplotneniye malosvyaznykh gruntov vzryvami [Sealing slightly moist soils explosions]. Moscow, Nedra, 1983.