

УДК 69.05(075)

А. А. Кисляков, кандидат технических наук, доцент;
В. П. Грахов, доктор экономических наук, профессор;
Ю. Г. Кислякова, кандидат педагогических наук, доцент
Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

ПРИМЕНЕНИЕ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ДРЕН ПРИ УПЛОТНЕНИИ СЛАБЫХ ВОДОНАСЫЩЕННЫХ ГРУНТОВ

Рассматриваются вопросы применения вертикальных дрен при уплотнении слабых водонасыщенных грунтов.

Ключевые слова: вертикальные дренажи, дренажное устройство, водонасыщенные грунты, консолидация грунтов

В том случае, если предполагается возведение постройки, отличающейся особой сложностью, все технические условия и специфические моменты архитектурно-строительного проектирования, последующего строительства и использования должны разрабатываться заказчиком совместно с соответствующими научно-исследовательскими и специализированными организациями [10].

В настоящее время нехватка земельных участков заставляет строить на грунтах, ранее считавшихся непригодными. К ним относятся насыпные грунты, слабые водонасыщенные пылевато-глинистые грунты, илы, торфы. Для их уплотнения под воздействием собственного веса и даже пригрузочной насыпи требуется значительное время, которое может исчисляться десятками лет. При современных высоких темпах строительства необходимо ускорение процесса уплотнения для обеспечения устойчивости строящегося сооружения и его последующей нормальной эксплуатации. Сегодня актуально применение вертикальных песчаных и ленточных дрен для ускорения процессов консолидации грунтов [2].

Вертикальное дренажное устройство широко применяется во многих странах мира (Швеция, Япония, Франция, Англия, США, Италия, Финляндия и др.) [7–9]. В целях обеспечения надежности эксплуатации сооружений с использованием вертикальных дрен были построены, например, международные аэропорты в Сингапуре и Ираке, высотные здания в Хельсинки, морской порт Сибари (Италия), защитные дамбы в Японии. При строительстве комплекса защитных сооружений Санкт-Петербурга от наводнений ввиду малого опыта применения в Российской Федерации ленточных вертикальных дрен для уплотнения оснований, представляющих сложное напластование слабых водонасыщенных пылевато-глинистых грунтов значительной мощности, проводились экспериментальные исследования по оценке эффективности дренажного устройства в данных геологических условиях и назначении оптимального расстояния между дренажами [6].

На настоящий момент получили развитие новые методы устройства песчаных дрен. К ним относятся заглубление с применением открытой трубы, при помощи бурения сплошным или спиральным буром, намывом и др. Кроме того, разработан целый ряд конструкций вертикальных дрен. Сюда входят тра-

диционные круглого сечения песчаные дренажи, песчаные щели, песчаные дренажи предварительного изготовления типа «sandwicks» и большая группа плоских дрен с фильтрами из различных материалов (картонные, пластмассовые, нетканые и др.) и сердечниками различной формы при наличии соответствующих технологий монтажа [4, 5].

В последнее время плоские дренажи получили более широкое распространение, продемонстрировав свои явные преимущества – низкую стоимость, простоту и, самое главное, технологичность установки при достаточной эффективности. Так, по ряду публикаций бумажные дренажи по своему эффекту эквивалентны одной песчаной дрене диаметром 400 мм, а по стоимости устройства одна бумажная дрена составляет 25 % от стоимости устройства песчаной дрены.

Однако несмотря на большое число и масштабы дренажных работ, проводимых во многих странах каждый год, и на многочисленные случаи успешного использования вертикальных дрен для ускорения процесса уплотнения слабых водонасыщенных грунтов при строительстве дорожных насыпей, дамб, аэродромов и в случаях уплотнения намытых территорий нет полной картины механизма работы дрен. Существует много неясностей в вопросах преимущества различных типов дрен и способов их установки, а предварительная оценка скорости уплотнения грунта остается труднорешаемой задачей, зачастую сопровождающейся неудачей. Известны случаи, когда применение вертикальных дрен было не столь успешным, как ожидалось по расчету.

Механизм работы дрены в грунте еще недостаточно изучен. При анализе существующей литературы по применению вертикальных дрен для ускорения консолидации оснований сооружений были отмечены некоторая осторожность авторов в оценке эффективности используемых вертикальных дрен и требования проводить натурные испытания на каждой большой стройке с целью определения реального расстояния между дренажами. При этом отмечается, что анализ осадки дренажного основания не может полностью охарактеризовать действительную эффективность вертикальных дрен и что необходимо по возможности проводить сравнительные испытания по схеме «различные типы дрен – разный шаг размещения дрен в основании – контрольная зона без дрен».

Ими было установлено, что оптимальный размер ячейки материала фильтра, когда не происходит заиливание дрены и сохраняется фильтрующая способность дрены, составляет от 10 до 20 мкм. На скорости консолидации грунтов отражается также эффект гидравлического сопротивления дрены, который рас-

смастеривался многими авторами. Этот эффект является ничтожным и им можно пренебречь, если расстояние между дренами эквивалентно половине толщины дренируемого слоя грунта. В большинстве же случаев расстояние между дренами значительно меньше. Однако применение дренах длиной до 50 м для консолидации грунтов большой толщи заставляет принимать во внимание фактор гидравлического сопротивления дренах.

В. А. Флорин, Н. Л. Банников, О. А. Шулятьев, Д. Х. Шилдс (D. H. Shields), П. У. Роу (P. W. Rowe) и другие по результатам наблюдений пришли к выводу о значительном влиянии фильтрационной анизотропии грунтов на развитие деформаций во времени. Применение вертикальных дренах в анизотропных грунтах наиболее эффективно [1]. Профессор З. Г. Тер-Мартirosян считает, что применение дренах для ускорения процесса уплотнения бесполезно, и нет необходимости рассматривать задачу консолидации грунта при коэффициенте фильтрации $k_f \geq 10^{-5}$ м/сек и при $\mu_k \leq 10^{-3}$ [2], где безразмерный параметр μ_k определяется по формуле

$$\mu_k = \eta \left(\frac{L^2}{c_v} \right), \quad (1)$$

в которой η – параметр ползучести скелета грунта, 1/сек; L – мощность уплотняемого слоя, м; c_v – коэффициент консолидации, м²/сек.

Учет ползучести скелета грунта необязателен для грунтов, обладающих низким значением коэффициента фильтрации $k_f \leq 10^{-8}$ м/сек и при $\mu_k \geq 10$. Для таких грунтов процесс уплотнения определяется в основном фильтрационными свойствами грунта.

На основании теоретических и экспериментальных исследований М. Ю. Абелев и С. Ш. Нуридджанян пришли к выводу, что существенными факторами, характеризующими процесс консолидации слабых водонасыщенных грунтов с коэффициентом пористости $e > 1$, являются нелинейная деформируемость и водопроницаемость грунтов. В случае коэффициента пористости грунта $e < 1$ наиболее существенными оказываются ползучесть скелета грунта и учет содержания заземленного газа [2].

Как показали многочисленные исследования, наилучшее совпадение теоретических и экспериментальных результатов получается при рассмотрении глинистого грунта как пористой среды, заполненной сжимаемой жидкостью при упруго-ползучей работе скелета грунта [1].

Следует отметить, что скорость приложения нагрузки, под воздействием которой происходит уплотнение основания, связана не только с технологическими требованиями, но и с возможной потерей устойчивости основания. Поэтому слишком быстрая отсыпка слоями большой мощности территории, сложенной слабыми водонасыщенными грунтами, может привести к выпору грунтов основания.

Проведение полевого эксперимента с разным шагом дренах и определение показателя консолидации, а затем использование его в расчетах процесса консолидации дренированного основания сооружения позволит достоверно определить оптимальное расстояние между дренами в исследуемых грунтах.

Библиографические ссылки

1. Натурные исследования поведения слабых пылеватоглинистых грунтов основания дамбы в целях управления процессом их консолидации / П. Л. Иванов, А. В. Голли, Л. Ш. Горелик и др. // Использование натурных наблюдений для совершенствования проектирования фундаментов и изысканий в условиях слабых грунтов : материалы науч.-техн. семинара, 4–5 июля / под ред. С. Н. Сотникова / Ленингр. Дом науч.-техн. пропаганды. – [S. l. : s. n.], 1989.
2. Кисляков А. А. Консолидация водонасыщенных пылеватоглинистых грунтов при вертикальном дренировании : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.02. – Л., 1990. – 21 с.
3. Гейдт В. Д. Стабилизация водонасыщенных затопленных оснований самоформирующимися дренами : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.02. – М., 2002. – 23 с.
4. Рекомендации по предпроектному уплотнению слабых водонасыщенных грунтов временной нагрузкой с применением ленточных дренах / НИИ оснований и подзем. сооружений им. Н. М. Герсеванова. – М. : НИИОСП, 1985. – 46 с.
5. Усманов Р. А. Экспериментальные исследования эффективности уплотнения слабых водонасыщенных лесовых грунтов вертикальными песчаными дренами // Изв. Том. политехн. ун-та. – 2008. – Т. 313, № 1 : Науки о Земле. – С. 88–91.
6. Зиновьева Л. Г. Консолидация оснований с учетом переменности характеристик грунтов в условиях дренирования и переменных нагрузок : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.02. – Л., 1989.
7. Hansbo, S. Consolidation of clay with special reference to influence of vertical sand drains // Swedish Geot. Institute. Proc. No. 18. – Pp. 1-160.
8. Hansbo, S. Consolidation of Clay by Band-Shaped Prefabricated Drains // Ground Engineering. – 1979. – Vol. 12. – No. 5. – Pp. 16-25.
9. Hansbo, S. Geodrains in Theory and Practice : Geotechnical Report from Terrafigo. – Stockholm, 1979. – No. 5.
10. Организация и управление градостроительной деятельности : моногр. : в 2 ч. / В. П. Грахов [и др.]. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2010. – Ч. 2. – 168 с.

A. A. Kislyakov, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University
V. P. Grakhov, DSc in Economics, Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University
Y. G. Kislyakova, PhD in Education, Associate Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

Application of vertical drains when compacting low water-saturated soils

Questions of application of vertical drains when compacting weak water-saturated soils are considered in the paper.

Keywords: vertical drains, drainage, water-saturated soils, soil consolidation