

Литература

1. Системы дорожных ограждений. Часть 1. Термины и общие требования к методам испытаний: СТБ EN 1317-1-2009. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2009. – 68 с.
2. Системы дорожных ограждений. Часть 2. Барьеры безопасности. Классификация по рабочим характеристикам, приемка по ударным испытаниям и методы испытаний: СТБ EN 1317-2-2009. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2009. – 30 с.
3. Effect of various W-beam guardrail post spacings and rail heights on safety performance. First Published November 11, 2015 Mode of access: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1687814015615544>. – Date of access: 15.10.2020.

УДК 625.73

Перспективные схемы устройства вертикального дренирования слабых грунтов

Шишко Н.И., Гатальский Р.К.

Белорусский национальный технический университет

Современные подходы к проектированию транспортных объектов, а также перспективные технологии возведения с использованием широкого спектра дорожно-строительной техники различного назначения позволяют использовать в качестве строительной площадки или основания практически любые имеющиеся геолого-гидрологические условия, в том числе площади с залеганием слабых грунтов.

Транспортное строительство в силу своих особенностей: значительная линейная протяженность объектов, зачастую сталкивается с задачами учета различных часто изменяющихся геолого-гидрологических условий на строительной площадке объекта. Залегание слабых грунтов, имеющих прочность на сдвиг в условиях природного залегания менее 0,075 МПа или модуль осадки более 50 мм/м при нагрузке 0,25 МПа, может оказывать существенное влияние на сроки строительства. К слабым грунтам относят торф и заторфованные грунты, илы, сапропели, глинистые грунты с коэффициентом консистенции более 0,5, а также техногенные отложения.

Земляное полотно автомобильных дорог и транспортных объектов на слабых грунтах следует проектировать в комплексе с дорожной одеждой с

учетом общих требований, а также дополнительных требований, обусловленных особенностями слабых грунтов:

устойчивости – не допускается возможность выпора (или выдавливания) слабого грунта из-под насыпи в период ее эксплуатации;

стабильности – не допускается устройство дорожной одежды до завершения консолидации слабого грунта в основании насыпи;

прочности – упругие прогибы и колебания дорожной одежды и насыпи, вызываемые действием транспортной нагрузки, не должны превышать значений, допустимых для принятого типа покрытия.

Возведение земляного полотна транспортных объектов при наличии участков залегания со слабыми грунтами требует специализированного расчета режима возведения для реальной оценки сроков строительства с учетом консолидации слабых грунтов.

Зачастую время консолидации слабых оснований в силу физико-механических характеристик и свойств этих грунтов существенно может затягивать сроки строительства и сдачи объектов в эксплуатацию. В таком случае необходимо предусматривать мероприятия по ускорению процесса консолидации и повышению устойчивости слабых оснований.

Перспективным направлением, решающим задачи по использованию слабых грунтов, является применение вертикального дренирования слабой толщи.

Ускорение консолидации основания вертикальными дренами или дренажными прорезями происходит за счет значительного сокращения пути фильтрации воды, отжимаемой из грунтовой массы при уплотнении весом насыпи. Вертикальные дренаи позволяют ускорить осадку по сравнению с плавающей насыпью в десятки раз.

Вертикальные дренаи или дренажные прорези быстро снимают напор, возникающий в порах водонасыщенного грунта после приложения внешней нагрузки. Поэтому сопротивление сдвигу основания с дренами возрастает значительно быстрее, чем без дренирования.

Вертикальные дренаи или дренажные прорези изменяют общую упругость массы болотного грунта, поэтому упругие просадки на поверхности земляного полотна с вертикальными дренами примерно в 3 раза ниже, чем без дренаи.

Вертикальные дренаи устраивают в слабых водонасыщенных грунтах с целью ускорения консолидации основания за счет сокращения пути фильтрации воды, отжимаемой из слабой толщи при консолидации. Вертикальные дренаи способствуют ускорению уплотнения слабого грунта с соответствующим повышением его сопротивляемости сдвигу, поэтому их можно устраивать также в целях повышения устойчивости основания.

Вертикальные дрены эффективны в водонасыщенных органических и минеральных сильносжимаемых грунтах мощностью не менее 4 м с коэффициентом фильтрации не менее $1 \cdot 10^{-4}$ м/сут. Устраивать вертикальные дрены в плотных глинистых грунтах, а также в малоразложившемся неуплотненном слое торфа нецелесообразно. Эффективность дрен повышается в случаях, когда дренируемая толща имеет более высокую горизонтальную проницаемость, например вследствие наличия прослоек дренирующего грунта.

Вертикальные дрены выполняют в виде скважин, заполняемых песком. Диаметр скважин должен быть от 40 до 60 см с учетом технических параметров применяемого оборудования. Для заполнения вертикальных дрен применяют песок с коэффициентом фильтрации не менее 6 м/сут.

Эффективность вертикальных дрен значительно повышается при добавке к материалу заполнения 5–18 % (по массе) извести. При применении вертикальных дрен насыпь или ее нижнюю часть толщиной не менее 50 см следует устраивать из дренирующих грунтов с коэффициентом фильтрации не менее 3 м/сут.

В зависимости от водопроницаемости грунта и требуемого срока стабилизации осадки расстояние между дренами изменяется от 2 до 4,5 м.

Упрощенной разновидностью вертикального дренирования являются продольные дренажные прорезы. Их устройство целесообразно при мощности слабого слоя до 4 м и возможности сохранения в слабом грунте вертикальных откосов в течение времени, необходимого для заполнения прорезы дренирующим грунтом.

Расстояние между дренажными прорезями ориентировочно назначают в пределах 1,5–3 м и проверяют расчетом. Ширина прорезей назначается в зависимости от параметров рабочего органа применяемого оборудования и составляет обычно 0,6–1 м.

Для заполнения прорезей используют песок, с коэффициентом фильтрации не менее 3 м/сут.

Технологическая схема устройства вертикального дренирования принимается исходя из имеющихся геолого-гидрологических условий по длине строительной площадки, а также в зависимости от изменчивости ее на близлежащих участках [1].

Предварительная оценка влияния вертикальных дрен (дренажных прорезей) на срок стабилизации осадки определяется из выражения:

$$t_{др} = \frac{t_{стр} \left(\frac{l}{2}\right)^2}{H_{\phi}^2} \quad (1)$$

где $t_{стр}$ – сроки строительства, в сут;

l – расстояние между дренами (прорезями), в м;

H_{ϕ} – расчетный путь фильтрации воды, отжимаемой из уплотняемого слоя при отсутствии дрен, принимаемый равным фактической мощности слабой толщи (при ее одностороннем дренировании) или половине этой мощности (при двухстороннем дренировании).

Для проверки правильности назначенных расстояний между дренами или прорезями рассчитывается степень консолидации основания:

$$U_{общ} = 100 - 0,01 \cdot (100 - U_r) \cdot (100 - U_v) \quad (2)$$

где U_r, U_v – коэффициенты консолидации при выжимании воды в горизонтальном и вертикальном направлении соответственно, определяются графическим способом в зависимости от соотношения геометрических размеров дренирования, а также относительно мощности залегания слабых грунтов (при проектировании дренажных прорезей) и факторов времени отжатия поровой воды в горизонтальном и вертикальном направлении $K_{\phi}^{cp \text{ в3в}}$.

Факторы времени рассчитываются по следующим формулам:

$$T_{гор} = \frac{K_{\phi}^{cp \text{ в3в}} \cdot (1+e_o)}{\Delta a \cdot l^2} \cdot t_{стр} \quad (3)$$

$$T_{верт} = \frac{K_{\phi}^{cp \text{ в3в}} \cdot (1+e_o)}{\Delta a \cdot H_{\phi}^2} \cdot t_{стр} \quad (4)$$

где $K_{\phi}^{cp \text{ в3в}}$ – средневзвешенное значение коэффициента фильтрации слабой толщи, определяемое в зависимости от фильтрационных свойств каждого слоя слабого торфяного основания, м/сут определяется исходя из значения степени разложения торфа (R , %) в зависимости от величины нагрузки на слабое основание от веса возводимой насыпи $P_{расч}$ (в МПа) в соответствии с таблицей 1;

e_o – средневзвешенная пористость торфяной толщи, в %;

H – мощность слабого основания, м;

Δa – параметр консолидационной кривой;

l – назначенное расстояние между дренами, м;

H_{ϕ} – расчетный путь фильтрации воды, отжимаемой из уплотняемого слоя при отсутствии дрен, принимаемый равным фактической мощности слабой толщи (при ее одностороннем дренировании) или половине этой мощности (при двухстороннем дренировании), м;

$t_{стр}$ – срок строительства, в сутках.

Таблица 1. Значения коэффициента фильтрации K_f различных видов торфа в зависимости от нагрузки $P_{расч}$

Вид торфа по степени разложения R , %	Коэффициент фильтрации K_f , м/сут при нагрузках $P_{расч}$, МПа			
	0,025	0,050	0,075	0,100
Степень разложения < 25	$1,00 \cdot 10^{-2}$	$2,00 \cdot 10^{-2}$	$3,00 \cdot 10^{-2}$	$4,00 \cdot 10^{-2}$
Степень разложения 25 - 40	$0,15 \cdot 10^{-2}$	$0,45 \cdot 10^{-2}$	$0,75 \cdot 10^{-2}$	$1,00 \cdot 10^{-2}$
Степень разложения > 40	$0,01 \cdot 10^{-2}$	$0,06 \cdot 10^{-2}$	$0,11 \cdot 10^{-2}$	$0,15 \cdot 10^{-2}$

Полученное значение $U_{общ}$ сопоставляется со значением требуемой степени консолидации слабого основания, позволяющей последующее возведение дорожной одежды U (таблица 2).

Таблица 2. Степень консолидации U

Расчетная осадка сжатия $S_{сж}$, см	Требуемая степень консолидации U для типа дорожной одежды			
	капитального	облегченного	переходного	низшего
До 30 включ.	0,90	0,85	0,80	0,75
Св. 30 вкл. 100	0,95	0,90	0,85	0,80
Св. 100 вкл. 170	0,96	0,92	0,87	0,82
Св. 170	0,98	0,95	0,90	0,85

Если отклонение не превышает 5 % принятое расстояние между дренами и диаметр дрен (расстояние между дренажными прорезями и их ширина) закладываются в проект.

Вертикальное дренирование широко применяется во многих странах мира (Швеция, Япония, Франция, Англия, США, Италия, Финляндия и др.). В целях обеспечения надежности эксплуатации сооружений с использованием вертикальных дрен были построены международные аэропорты в Сингапуре и Ираке, высотные здания в Хельсинки, морской порт Сибари (Италия), защитные дамбы в Японии.

В 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 традиционные круглого сечения песчаные дрены, песчаные щели, песчаные дрены предварительного изготовления типа «sandwicks» и боль-

шая группа плоских дрен с фильтрами из различных материалов (картонные, пластмассовые, нетканые и др.) и сердечниками различной формы при наличии соответствующих технологий монтажа [2].

Одной из наиболее перспективных свайных технологий на сегодняшний день является устройство песчаных дрен в геосинтетической оболочке. Данная технология позволяет возводить насыпи автомобильных и железных дорог, грунтовые платформы и площадки (в том числе в гидротехническом строительстве и портовых сооружениях) на слабых и очень слабых основаниях, в том числе обводнённых.

Применение такого рода свай в оболочке из геоматериала особенное эффективно в грунтах, обладающих структурной прочностью, т.к. позволяет ограничить напряжение в грунте величиной структурной прочности, резко уменьшить осадку и повысить устойчивость основания насыпи. При определенном расстоянии между песчаными сваями (порядка трех-четырех метров), сваи образуют сплошной массив армированного уплотненного грунта. Улучшение прочностных и деформационных характеристик грунта в теле сваи и зоне уплотнения приводит к увеличению несущей способности основания, что позволяет передать на модифицированные грунтовые основания большие удельные нагрузки.

Геооболочки производятся из полимерных волокон. В песчаной дрене они играют не только роль разделяющей прослойки между грунтом основания и минеральным заполнителем сваи, но и выполняют армирующую функцию. При заполнении дренирующим грунтом сваи одновременно выполняют функцию вертикальных дрен. В конечном счете, нагрузка передаётся на нижележащий несущий слой минерального дна.

В зависимости от несущей способности грунтов основания, текстильно-песчаные сваи могут быть установлены, как способом вибропогружения обсадной трубы, так и способом выемки, с помощью шнека, грунта основания под обсадную трубу.

Метод применения песчаных свай относительно дешев, прост в осуществлении, не требует сложного оборудования. Этот метод может применяться везде, где есть песок. При этом качественные требования к песку могут быть довольно ограниченными.

Вертикальное дренирование слабых оснований способно значительно повысить несущую способность основания, сократить сроки строительства и как следствие увеличить темпы дорожно-строительных работ на территориях, ранее считавшихся непригодными.

Литература

1. Проектирование земляного полотна автомобильной дороги на слабом основании [Электронный ресурс]: методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Изыскания и проектирование автомобильных дорог» для студентов специальности 1-70 03 01 «Автомобильные дороги» / Белорусский национальный технический университет, Кафедра «Автомобильные дороги»; сост.: Н.И. Шишко, Р.К. Гатальский. – Минск: БНТУ, 2019.
2. Применение вертикальных дрен при уплотнении слабых водонасыщенных грунтов / А.А. Кисляков, В. П. Грахов, Ю.Г. Кислякова / Интеллектуальные системы в производстве. – 2014. – №1(23). – С.124–126.

УДК 625.72

Применение технологии информационного моделирования КРЕДО в учебно-образовательном процессе

Шохалевич Т.М, Каредин В.С., Шишко Н.И.
Белорусский национальный технический университет

Рассмотрена актуальность применения систем автоматизированного проектирования в учебно-образовательном процессе, в частности, программный комплекс КРЕДО. Предложена технология информационного моделирования (ВИМ/ТИМ) в рамках учебно-образовательного процесса кафедры «Автомобильные дороги». Выполнен анализ линейки программных продуктов КРЕДО с целью расширения перспективных возможностей их применения при подготовке молодых специалистов, успешно владеющими современными технологиями проектирования автомобильных дорог в условиях нового строительства, реконструкции и ремонта.

Активное развитие систем автоматизированного проектирования и изменение ряда требований стандартов, как республиканских, так и международных в области линейного строительства в первую очередь затрагивает сферу образования, так как, требует подготовки высококвалифицированных и образованных специалистов. Для обеспечения реализации этих требований необходимо выработать новые эффективные механизмы и методы обучения, позволяющие создать необходимый баланс между теоретическим знаниями и способностью реализации их на практике [1]. Выполнение по-