

**СБОРНИК СТАТЕЙ ПО МАТЕРИАЛАМ
XXXIII МЕЖДУНАРОДНОЙ ЗАОЧНОЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ**


internauka.org
МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЦЕНТР
НАУКИ И ОБРАЗОВАНИЯ

**НАУЧНАЯ ДИСКУССИЯ:
ВОПРОСЫ
ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК**



№ 4 (25)

ISSN 2309-1932



9 772309 193776 >

Москва, 2015

СЕКЦИЯ 4.

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

УПЛОТНЕНИЕ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ ПРИРОДНОЙ ВЛАЖНОСТИ ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Аверьянов Виталий Николаевич

*генеральный директор ЗАО «Проектно-исследовательское
научно-исследовательское бюро «ГИТЕСТ»,
РФ, г. Москва*

Жерихин Александр Сергеевич

*главный инженер проекта ЗАО «Проектно-исследовательское
научно-исследовательское бюро «ГИТЕСТ»,
РФ, г. Москва*

При строительстве и реконструкции гидротехнических сооружений их противофильтрационные устройства из глинистых грунтов чаще всего возводят методом послойной укладки грунта с уплотнением. Требования по уплотнению грунта всегда сводятся к соблюдению некоторой влажности грунта при уплотнении и к достижению при этом определённой плотности. Значения этих параметров обычно устанавливают на основании лабораторных опытов по уплотнению, в результате которых находят оптимальную влажность — ту влажность, при которой достигается максимальная плотность скелета грунта.

Для определения оптимальной влажности и максимальной плотности наиболее часто применяют ударное воздействие на грунт, но удельная энергия уплотнения при этом существенно различается и варьирует от $5,5 \cdot 10 \text{ Нм/м}^3$ в методе Всесоюзного дорожного научно-исследовательского института (СоюздорНИИ) до $27 \cdot 10^5 \text{ Нм/м}^3$ в модифицированном методе Американской ассоциации государственных служащих автомобильных дорог (AASHO). Также производят лабораторное уплотнение грунта циклическими и статическими нагрузками, моделирующими воздействие уплотняющих механизмов на грунт (методы, разработанные во ВНИИГ им. Б.Е. Веденева). Применяют динамическое ударно-вибрационное уплотнение, а также уплотнение вибрацией,

перемятием и другими методами, которые воспроизводят процессы укатки грунта различными катками (ВНИИ «ВОДГЕО», ВСЕГИНГЕО, Воронежский инженерно-строительный институт и др.).

По результатам лабораторных исследований строят графики зависимости плотности скелета грунта ρ_d от влажности грунта W , на которых выделяют значения максимальной плотности скелета грунта ρ_{dmax} и оптимальной влажности W_{opt} . Изучена связь между максимальной плотностью скелета и оптимальной влажностью грунта по Проктору для различных глинистых грунтов и выполнена группировка их по уплотняемости [2; 8]. В Российской Федерации в настоящее время действует ГОСТ 22733-2002 «Грунты. Метод лабораторного определения максимальной плотности», в котором используется ударное воздействие на грунт.

Сравнение результатов лабораторного уплотнения песчанистого суглинка различными методами, использующими ударное воздействие на грунт приведено на рис. 1.

Кривые зависимости ρ_d от W , полученные на основании лабораторных испытаний грунта, существенно различаются и, в большинстве случаев, не соответствуют тем, которые получаются при обработке результатов производственного уплотнения.

Поэтому, при строительстве гидротехнических сооружений, например, плотин, перед началом возведения противофильтрационных устройств из глинистых грунтов, производят уплотнение грунта на опытных насыпях.

По результатам этих исследований уточняют требования к плотности и влажности грунта, толщину слоёв уплотняемого грунта и режим работы уплотняющих механизмов.

Но, и после обработки технологии уплотнения грунтов на опытных насыпях, в процессе хода строительства приходится корректировать условия укладки и уплотнения грунтов, а также требования к качеству уплотнения по результатам производственного геотехнического контроля.

Исследованиями Евгеньева И.Е. в СоюздорНИИ показано, что по стандартному методу понятие «требуемая плотность» не связано с расчётными показателями деформативности, прочности, пучинистости, поэтому невозможно представить, на сколько снижается надёжность конструкции вследствие некоторого недоуплотнения грунта; даже при достижении требуемой плотности глинистый грунт может иметь консистенцию от твёрдой до текучепластичной, соответственно в широком интервале изменяется и его прочность [1].



Рисунок 1. Сравнение результатов лабораторного уплотнения песчанистого суглинка различными методами, использующими ударное воздействие на грунт: 1 — стандартный метод AASHTO; 2 — метод Проктора; 3 — ГОСТ 22733-2002; 4 — калифорнийский метод; 5 — модифицированный метод AASHTO

Практика проектирования и строительства плотин из грунтовых материалов в США (обобщение ответов 10 ведущих фирм) показывает, что требуемое значение плотности колеблется от 90 % по стандартному методу AASHTO до 97 % по модифицированному методу AASHTO. Ещё более широко расходятся мнения относительно влажности грунта

при укладке. Одни фирмы требуют укатки грунта с влажностью ниже оптимальной, другие — выше, третьи — только при оптимальной влажности. Степень колебаний от 6 % (0,06 в долях единицы) выше оптимальной до 2 % (0,02 в долях единицы) ниже её. Отмечается, что в общем случае ядро плотины при влажной укатке менее проницаемо и допускает большие деформации без трещинообразования [5].

Согласно СП39.13330.2012 Плотины из грунтовых материалов. Актуализированная редакция СНиП 2.06.05-84* плотность грунта может назначаться с учётом конструкции, способа отсыпки, уплотнения и интенсивности возведения сооружения.

Такой подход к проектированию технологических параметров и технологии уплотнения глинистых грунтов в противофильтрационных устройствах гидротехнических сооружений позволяет уточнять детали технологического процесса уплотнения, но не учитывает особенности формирования структуры и свойств грунта, которые могут существенно изменяться в процессе водонасыщения при эксплуатации сооружения, и ограничивает возможности рационального использования местных грунтов.

Структуру глинистых грунтов исследовали многие отечественные и зарубежные учёные: Сергеев Е.М., Осипов В.И., Соколов В.Н., Лэмб Т.Б., Сид Г.Б., Чан С.К. и др.

В результате этих исследований установлено, что имеется два вида естественного структурообразования глинистых грунтов: один — солевой, при котором из коллоидного раствора осаждаются диспергированные частицы, причём в момент отложения их между смежными частицами действуют электрические силы отталкивания; это позволяет частицам скользить друг по другу, принимая положение, соответствующее наилучшей упаковке; расположение частиц при этом будет близко к параллельному. Другой вид структурообразования — несолевой, получается в результате флокуляции (образования агрегатов) в коллоидном растворе; в этом случае, во время отложения агрегатов, в основном, действуют электрические силы притяжения, в результате чего отдельные агрегаты склеиваются между собой. Ориентация частиц при этом получается хаотической, расположение же смежных частиц друг относительно друга близко к перпендикулярному, т. е. отрицательные полюса частиц находятся в контакте с положительными. В первом случае структуру называют диспергационной и ориентацию частиц параллельной, во втором случае структуру — флокуляционной и ориентацию частиц хаотической.

При флокуляционной структуре сложения фильтрационные и механические свойства грунта определяются характером и прочностью

связей между агрегатами, а не расположением частиц в агрегате. При диспергационном сложении большое значение приобретает степень ориентации частиц грунта. В природном состоянии подавляющее большинство континентальных глинистых грунтов осадочного происхождения характеризуется флокуляционной структурой.

Уложенный в тело сооружения грунт следует рассматривать, как техногенный, для которого основным структурообразующим фактором являются техногенные воздействия [7].

В процессе уплотнения глинистого грунта, доставленного с участка разработки к месту укладки и распределённого равномерным слоем, в нём формируется структура, отличная от природной, разрушаются агрегаты, уменьшается межагрегатная пористость и создаётся более однородное сложение грунтовой массы, которое в зависимости от влажности грунта, метода его уплотнения и величины затраченной на уплотнение работы может характеризоваться флокуляционной, либо диспергационной структурой. При одном и том же методе уплотнения грунта с различной влажностью преобразование структуры грунта с флокуляционной на диспергационную сопровождается достижением максимальной плотности скелета грунта для принятого метода уплотнения и последующим её снижением. При этом в грунте остаётся лишь 10 % пор, незаполненных водой, т. е. коэффициент водонасыщения грунта имеет значение 0,9.

Другим, наиболее значительным фактором, влияющим при уплотнении на структуру грунта, а следовательно на его свойства, является метод уплотнения.

Экспериментально установлено, что чем большие усилия сдвига будут создаваться в глинистом грунте при уплотнении, тем больше будет вероятность образования в нём диспергационной структуры [6]. Наибольшие сдвигающие деформации развиваются в грунте в тех случаях, когда уплотняющий орган значительно погружается в грунт. Так как в сухой плотный грунт уплотнитель почти не погружается, а при влажности грунта выше оптимальной погружение будет значительным, то изменение структуры при уплотнении влажного грунта будет больше.

Из лабораторных методов, так называемый метод уплотнения «перемятием», вызывает наибольшие деформации сдвига, а широко применяемый статический метод уплотнения штампом, захватывающим всю площадь формы с образцом, заметных деформаций сдвига не вызывает. При уплотнении образцов с малой влажностью, метод уплотнения мало влияет на прочность образца, что можно объяснить тем, что при малой влажности грунта и слабом развитии в нём сдвигающих деформаций структура грунта в обоих случаях будет оставаться флокуляционной. Наоборот, при больших влажностях грунт, уплот-

нённый статическим методом, оказывается значительно прочнее уплотнённого «перемятием», в особенности, при малых деформациях. С увеличением деформаций прочность грунта, как и в предыдущем случае, при уплотнении разными методами становится одинаковой.

Для сжатия образцов грунта с флокуляционной структурой необходимо провести работу по переориентации частиц, поэтому при увеличении давления до известной величины деформация этих образцов значительно меньше, чем у образцов с диспергационной структурой. Однако, под действием более высоких давлений, способных осуществить эту переориентацию, деформация значительно увеличивается. При достаточно высоких давлениях можно привести глинистые образцы с различной структурой к одной — диспергационной.

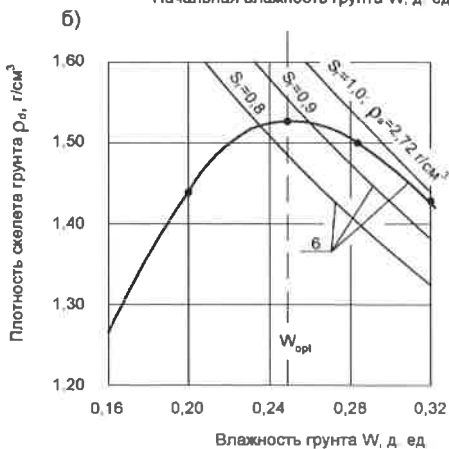
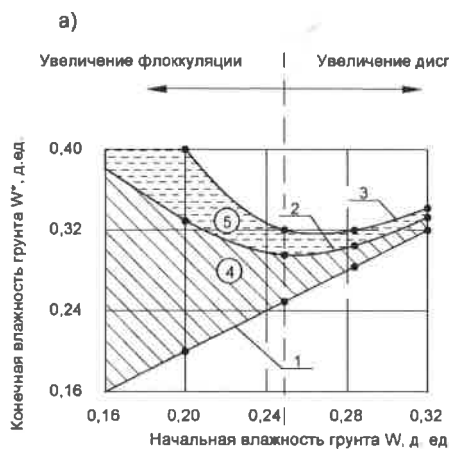
Таким образом при одной и той же влажности грунта, в зависимости от способа уплотнения и достигаемой плотности, может быть получена как флокуляционная, так и диспергационная структура.

Дополнительное уплотнение грунта с флокуляционной структурой без изменения его влажности позволяет снизить пористость грунта и увеличить коэффициент водонасыщения настолько, чтобы преобразовать структуру грунта в диспергационную.

Исследованиями автора установлено, что образцы глинистого грунта, имеющего флокуляционную структуру, набухают больше, чем образцы грунта с диспергационной структурой. На рис. 2 показаны графики водонасыщения-набухания и стандартного уплотнения глины по ГОСТ 22733-2002. Из этих графиков видно, что при водонасыщении часть воды, которая впитывается в уплотнённый грунт, идёт на заполнение его пор, кроме того, другая часть воды адсорбируется грунтом при набухании. Грунт, уплотнённый при влажности ниже оптимальной, и имеющий флокуляционную структуру, поглощает значительно больше воды, чем грунт, уплотнённый при влажности выше оптимальной и имеющий диспергационную структуру. Большое поглощение воды вызывает ухудшение строительных характеристик грунта.

Наиболее сильно сказывается изменение структуры глинистого грунта на его водопроницаемость. Исследования Лемба Т.В., Борткевича С.В., Осадчука В.А, Хомяка Р.В. и др. показали, что преобразование флокуляционной структуры в диспергационную приводит к уменьшению коэффициента фильтрации глинистого грунта в десятки и сотни раз.

Важной задачей при проектировании противифльтрационного устройства из глинистого грунта для гидротехнического сооружения является обеспечение



Консистенция	
Твёрдая	Полутвёрдая

-0,25 0 0,25

Показатель текучести I_L

Условные обозначения:

- 1 - начальная влажность после уплотнения;
- 2 - влажность после водонасыщения при постоянном объеме;
- 3 - влажность после свободного набухания;
- 4 - зона увеличения влажности вследствие водонасыщения;
- 5 - зона увеличения влажности вследствие набухания;
- 6 - кривые водонасыщения;

Рисунок 2. Совмещённые графики водонасыщения-набухания (а) и стандартного уплотнения (б) глины по ГОСТ 22733-2002

неизменности физико-механических и фильтрационных свойств грунта при его водонасыщении в процессе эксплуатации сооружения. Эта задача может быть решена уплотнением грунта на строительстве до состояния, характеризуемого коэффициентом водонасыщения $S_r \geq 0,9$. При таком значении коэффициента водонасыщения в глинистом грунте достигается «равновесное» состояние между уплотняющими нагрузками, влажностью и плотностью, формируется устойчивая дисперсионная структура [4]. Полученная структура не реагирует на дополнительное увлажнение при дальнейшем водонасыщении грунта, а значит будут неизменны физико-механические и фильтрационные свойства грунта, из которого возводится противofильтрационное устройство. Кроме того, высокий уровень водонасыщения грунта способствует более равномерному распределению плотности по толщине уплотняемых слоёв, что доказано большим объёмом полевых исследований Лефлайва Е. и Шаффера М. [3].

Требуемая плотность скелета грунта ρ_d при этом определяется по формуле:

$$\rho_d \geq \frac{S_r \cdot \rho_s \cdot \rho_w}{S_r \cdot \rho_w + W \cdot \rho_s} \quad (1)$$

где: S_r — значение коэффициента водонасыщения, при котором в процессе уплотнения формируется устойчивая дисперсионная структура грунта;

ρ_s — плотность частиц грунта, зависящая от минералогического состава, может изменяться в пределах от 2,70 г/см³ до 2,75 г/см³ и для большинства глинистых грунтов составляет 2,72 г/см³;

ρ_w — плотность воды, 1 г/см³;

W — природная влажность глинистого грунта, из которого возводится сооружение, д. ед.

В зависимости от инженерно-геологических условий строительства природная влажность глинистых грунтов может существенно различаться, соответственно различается их консистенция, определяемая по показателю текучести J_L согласно ГОСТ 25100-2011 «Грунты. Классификация». Работами Васильева А.М., Маслова Н.Н., Гольдштейна М.Н., Цитовича Н.А., Кагана А.А., Кузахметовой Э.К. и др. установлено, что консистенция глинистого грунта является обобщённым показателем его физико-механических свойств. Учитывая этот факт, подбор уплотняющей техники для преобразования природной флокуляционной структуры грунта в дисперсионную следует выполнять в зависимости от консистенции грунта.

Если грунт в естественной залежи имеет твёрдую ($J_L < 0$) или полутвёрдую ($0 \leq J_L \leq 0,25$) консистенцию, то для его уплотнения в сооружении требуются механизмы с наибольшей энергией воздействия на уплотняемый грунт, такие как самоходные виброкатки с кулачковым вальцом типа «педфут», трамбуемые плиты или тяжёлые пневмокотки с высоким удельным давлением на грунт. Для грунта, имеющего тугопластичную консистенцию ($0,25 \leq J_L \leq 0,50$), понадобятся кулачковые катки статического действия или пневмокотки со средним удельным давлением, а для грунта мягкопластичной консистенции ($0,50 \leq J_L \leq 0,75$) — лёгкие катки или бульдозеры, оказывающие наименьшее энергетическое воздействие на уплотняемый грунт. Грунты текучей и текучепластичной консистенции, а также пересохшие грунты с влажностью, меньшей максимальной молекулярной влагоёмкости, не применяют для возведения земляных сооружений без предварительного их кондиционирования.

Таким образом, коэффициент водонасыщения 0,9 и консистенция грунта природной влажности являются новыми технологическими параметрами уплотнения, ограничивающими на графике плотность-влажность область требуемых значений, плотности и влажности, при которых в грунте формируется устойчивая диспергационная структура и наименьшая водопроницаемость.

Средние значения плотности и влажности грунта в этой области соответствуют коэффициенту водонасыщения $0,95 \div 0,97$, т. е. такой степени уплотнения, когда воздушные поры занимают в грунте объём $3 \div 5$ % и, по данным исследований Иванова Н.Н., Рельтова Б.Ф. и Ермолаевой А.Н., получается наиболее благоприятная структура грунта.

Выбор уплотняющих механизмов, их режим работы и толщины уплотняемых слоёв грунта, обеспечивающих безусловное соблюдение вышеуказанных технологических параметров уплотнения, должен производиться на опытной насыпи.

Наиболее высокие требования по качеству исполнения предъявляются к противофильтрационным устройствам в виде экранов, поэтому вышеизложенные теоретические положения по разработке технологии уплотнения глинистых грунтов природной влажности с целью достижения наименьшей водопроницаемости опробованы при возведении экранов из глинистых грунтов на строительстве верхнего аккумулирующего водоёма Днестровской ГАЭС, золоотвала Рязанской ГРЭС, бассейна суточного регулирования Зеленчукских ГЭС и иловых площадок Курьяновских очистных сооружений.

На строительстве Днестровской ГАЭС были устроены три опытных насыпи: из тяжёлых неогеновых глин, из лёгких золово-делювиальных

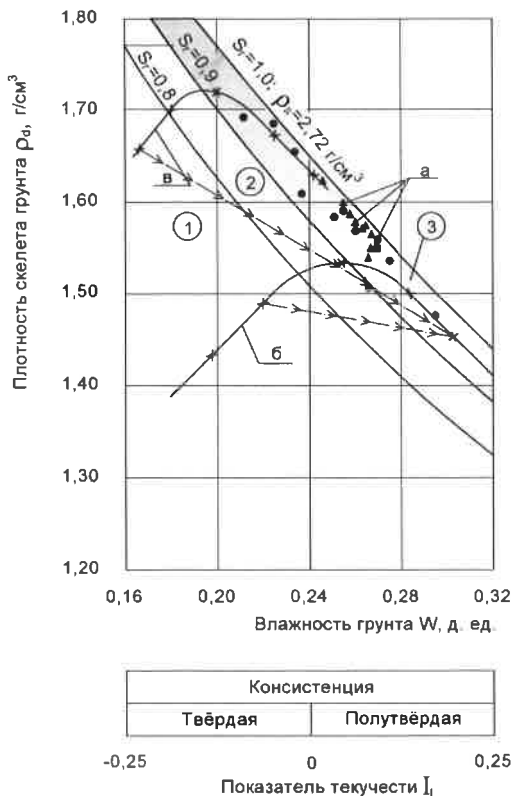
глин и из неогеновых суглинков, а на строительстве золоотвала Рязанской ГРЭС — опытная насыпь из аллювиальных суглинков.

Глинистые грунты в полезных выемках разрабатывали экскаватором ЭО-4121А, вместимость ковша 1 м^3 , с погрузкой в автосамосвалы МАЗ-5549, МАЗ-551 и транспортировали в опытные насыпи, где укладывали при природной влажности, соответствующей твёрдой и полутвёрдой консистенции, слоями $0,25 \div 0,30 \text{ м}$ в рыхлом теле с разравниванием бульдозером на базе трактора Т-130. Уплотнение каждого слоя грунта производили за 8 проходов по следу при скорости движения 5 км/час на насыпях глин гружёным автосамосвалом БелАЗ-540, а на насыпях суглинков — скрепером Д-357. Перед укладкой каждого последующего слоя поверхность предыдущего увлажняли по норме $5 \div 7 \text{ л/м}^2$ для получения качественного контакта слоёв. Опытные насыпи глин состояли из двух слоёв грунта, а насыпи суглинков — из четырёх.

После окончания возведения насыпей с их поверхности проходили шурфы, из которых в нижней половине каждого слоя отбирали контрольные пробы на плотность-влажность и пластичность. Отбор проб из шурфов производили методом режущего кольца в соответствии с ГОСТ 12071-2000 «Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов».

Анализ результатов опытного уплотнения показал, что на всех испытанных разновидностях глинистых грунтов новые технологические параметры уплотнения (консистенция и коэффициент водонасыщения), ограничивающие область требуемых значений плотности и влажности грунтов в насыпи, реализованы без каких-либо затруднений. Следовательно, при уплотнении этих грунтов была получена диспергационная структура, обеспечивающая их наименьшую водопроницаемость. В качестве иллюстрации на рис. 3 приведены результаты уплотнения неогеновых глин на опытной насыпи, совмещённые с кривыми стандартного уплотнения в лабораторных условиях по ГОСТ 22733-2002 и по модифицированному методу ААШО.

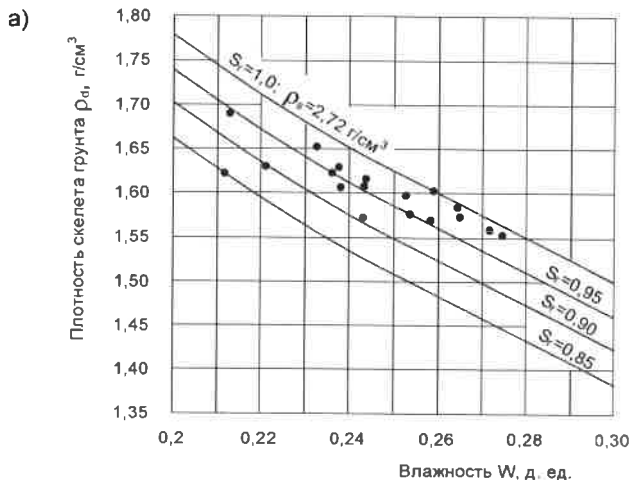
Последующие полевые исследования уплотняемости лёгких и тяжёлых глин твёрдой-полутвёрдой консистенции, выполненные Лабораторией крупномасштабных гидравлических и геотехнических исследований Министерства Топлива и Энергетики Украины на строительстве Днестровской ГАЭС, подтвердили правильность подхода к выбору уплотняющих механизмов и отработке режима уплотнения грунтов, ориентируясь на новые технологические параметры в виде консистенции грунта природной влажности и коэффициента водонасыщения 0,9.



Условные обозначения:

- ①, ② и ③ - соответственно, области флокуляционной (коэффициент водонасыщения $S < 0,8$), переходной ($S = 0,8-0,9$) и дисперсионной ($S > 0,9$) структуры грунта;
- - пробы из верхнего слоя насыпи;
- ▲ - пробы из нижнего слоя насыпи;
- x - стандартное уплотнение в лаборатории;
- → → - траектория изменения плотности и влажности грунта при водонасыщении;

Рисунок 3. Результаты контроля плотности и влажности глины в опытной насыпи (а), совмещённые с кривыми стандартного уплотнения в лабораторных условиях по ГОСТ 22733-2002 (б) и по модифицированному методу AASHTO T 180-82 (в)



Консистенция	
Твёрдая	Полутвёрдая

0

Показатель текучести, I_L

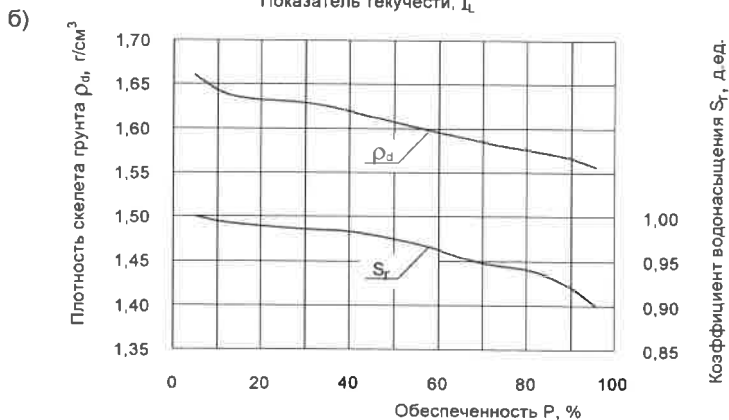


Рисунок 4. Результаты уплотнения глины природной влажности кулачковым виброкатком BW216DH-3 массой 16 т за 10 проходов по следу на слое толщиной 0,3 м в рыхлом теле: а — зависимость плотности скелета грунта ρ_s от влажности W ; б — графики обеспеченности плотности скелета грунта ρ_s и коэффициента водонасыщения S_r .

При уплотнении кулачковыми виброкатками BW216DH-3 и ATLAS массой 16 т слоёв грунта толщиной $0,25 \pm 0,30$ м, а также кулачковым виброкатком НАММ массой 24 т слоёв грунта толщиной $0,30 \pm 0,35$ м, практически все полученные значения плотности ρ_d и влажности W грунта попали в область, ограниченную этими технологическими параметрами на графике $\rho_d=f(W)$.

Уплотнение грунтов на картах выполняли либо за 8 проходов кулачкового виброкатка по одному следу при скорости его перемещения 1,5 км/ч, либо за 10 проходов в режиме, когда первый и три последних прохода осуществлялись на скорости до 2 км/ч, а промежуточные проходы на скорости 3 км/ч. Результаты уплотнения глин природной влажности твёрдой и полутвёрдой консистенции кулачковым виброкатком BW216DH-3 массой 16 т приведены на рис. 4.

Исследования водопроницаемости уплотнённого глинистого грунта показали, что его коэффициент фильтрации значительно ниже 10^{-8} см/с.

Технология уплотнения, усовершенствованная дополнением новых технологических параметров в виде коэффициента водонасыщения 0,9 и консистенции грунта природной влажности, была применена также для возведения экрана из лёссовидных и делювиальных суглинков полезного выемок взамен плёночного экрана на строительстве бассейна суточного регулирования Зеленчукских ГЭС и при реконструкции иловых площадок Курьяновских очистных сооружений для возведении дамб и защитных экранов из глинистых грунтов моренных и флювиогляциальных отложений.

Выводы.

1. Уплотнение глинистых грунтов в противофильтрационных устройствах гидротехнических сооружений с ориентацией на оптимальную влажность по ГОСТ 22733-2002 осложняет процесс строительства и не всегда обеспечивает получение для грунта физико-механических и фильтрационных характеристик, стабильных на весь период эксплуатации сооружений.

2. На основе изучения процесса изменения структуры и свойств глинистых грунтов при уплотнении предлагаются новые технологические параметры: консистенция и коэффициент водонасыщения, с помощью которых формируется область допустимых значений плотности и влажности грунта в возводимом противофильтрационном устройстве.

3. Консистенция грунта устанавливается по диапазону изменения его природной влажности и виду уплотняющих механизмов, а коэффициент водонасыщения принимается не менее 0,9 для получения в результате уплотнения дисперсионной структуры грунта и наимень-

шей водопроницаемости, сохраняющейся при восприятии напора воды во время строительства и эксплуатации сооружения.

4. Полевыми исследованиями на объектах, построенных в различных природных условиях (Днестровская ГАЭС, Рязанская ГРЭС, Зеленчукские ГЭС и иловые площадки Курьяновских очистных сооружений Мосводоканала), доказаны возможность реализации и целесообразность применения технологии уплотнения глинистых грунтов, усовершенствованной новыми технологическими параметрами.

Список литературы:

1. Евгенийев И.Е. О дифференцировании требований к плотности грунтов земляного полотна // Труды СОЮЗДОРНИИ. Уплотнение земляного полотна и конструктивных слоёв дорожных одежд. — М. 1980. — С. 9—15.
2. Жарницкий В.Я. Оперативное определение параметров Проктора глинистых грунтов, используемых для устройства противофильтрационных элементов плотин // Гидротехническое строительство. — 2005. — № 3. — С. 15—18.
3. Лефлайв Е. Шасфнер М. Значение толщины слоёв для уплотнения насыпи. Перевод с французского // Информационное издание ВИНТИ «Геология». — М. 1981. Выпуск 7. Реферат Е455, 8 с.
4. Пахомов О.А. Усовершенствованный метод определения характеристик уплотняемости грунтов // Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева: Сборник научных трудов. Конструкции и технология возведения грунтовых плотин. — Л. 1986. — Т. 189. — С. 40—47.
5. Практика проектирования и строительства арочных, земляных, каменно-набросных и бетонных гравитационных плотин в США. Плотины из местных материалов // Перевод 626.3/П-69. Институт «Гидропроект» — М. 1985. — С. 46—48.
6. Сид Г.Б., Чан С.К. Структура и прочностные характеристики уплотнённых глин (Рос. ASCE. 1959. Vol. 87 № SM6) // Перевод № 2043. НИС Гидропроекта. — М. 1962. — 21 с.
7. Строкова В.В., Лесовик Р.В., Карацупа С.В., Лютенко А.О., Яковлев Е.А., Микроструктура техногенных глинистых грунтов, как фактор техногенного литогенеза // Успехи современного естествознания 2006. № 6. — С. 52; 54.
8. Striegler W. Bodenmechanische Grenzwerte zur Verdichtung natürlicher Erddichtungsstaffe im Wasserbau // WWT•18. Jahrgang 1968. Heft2, P. 52—55.

«НАУЧНАЯ ДИСКУССИЯ: ВОПРОСЫ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК»

*Сборник статей по материалам XXXIII международной заочной
научно-практической конференции*

№ 4 (25)
Апрель 2015 г.

В авторской редакции

Подписано в печать 21.04.15. Формат бумаги 60x84/16.
Бумага офсет №1. Гарнитура Times. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 7,625. Тираж 550 экз.

Издательство «Международный центр науки и образования»
127106, г. Москва, Гостиничный проезд, д. 6, корп. 2, офис 213
E-mail: mail@internauka.org

Отпечатано в полном соответствии с качеством предоставленного
оригинал-макета в типографии «Allprint»
630004, г. Новосибирск, Вокзальная магистраль, 3