

СТРОИТЕЛЬСТВО

УДК 621.878

Г. В. Першин, А. С. Кадыров, Ж. Ж. Жунусбекова

Карагандинский государственный технический университет,
г. Караганда, Казахстан

МЕСТНЫЕ ГЛИНЫ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА СПОСОБОМ «СТЕНА В ГРУНТЕ»

Аннотация. Для обеспечения устойчивости отрываемых в грунте глубоких и узких траншей применяется тиксотропный глинистый раствор, который должен удерживать во взвешенном состоянии частицы разрабатываемого грунта, кольматировать несущий грунт и образовывать на нем практически водонепроницаемую глинистую пленку. Рассмотрен процесс взаимодействия глин с водой, который позволит установить состав глинистых растворов, обладающих тиксотропностью. Изучены процессы, происходящие в глинистых растворах. Получены рекомендации по параметрам глинистых растворов, обладающих необходимыми свойствами для удержания стенок траншей от обрушения при строительстве способом «стена в грунте», не увеличивающими энергозатраты при проходке траншей. Выявлен основной показатель, определяющий качество глины, как расход на приготовление 1 м³ глинистого раствора. Подобран подход по правильному выбору глин и методов их обработки.

Ключевые слова: глина, тиксотропность, «стена в грунте», раствор, коаллит, монтмориллонит.



Түйіндеме. Топырақта терең және жіңішке траншеяларды қазу кезіндегі орнықтылықты қамтамасыз ету үшін тиксотропты сазды ерітінді қолданылады. Ол мелшерленген күйде өңделетін топырақтың бөлшектерін ұстап тұруы керек. Көтеруші топырақты кольматациялау және онда су өткізбейтін сазды пленка түзілуін қамтамасыз етуі тиіс. Аталған мәселеге орай осы мақалада тиксотроптылыққа ие болатын сазды ерітінділердің құрамын орнатуына мүмкіндік жасайтын саз бен судың өзара әрекеттесу үрдісі қарастырылған. Сазды ерітіндіде өтетін үрдістер меңгерілген. «Топырақтағы қа-

бырға» әдісімен салу кезінде траншея қабырғаларының құлауын болдырмайтын және траншеяларды өту жағдайында энергошығындарының өсірмейтін қажетті қасиеттерге ие болатын сазды ерітінділердің параметрлері бойынша ұсыныстар алынған. 1 м³ сазды ерітіндіні дайындауға кететін шығын сияқты саздың сапасын анықтайтын негізгі көрсеткіші айқындалған. Сазды дұрыс тандау мен оларды өңдеу тәсілдері бойынша жолдар келтірілген.

Түйінді сөздер: сазды ерітінді, тиксотроптылық, «топырақтағы қабырға» әдісі, траншея, коалинит, монтмориллонит.



Abstract. To provide stability of dug in the soil deep and narrow trenches there is used a thixotropic clay solution which is to retain in a suspension the particles of the developed soil, to clog the bearing soil and to form an almost waterproof clay film on it. In connection with this problem in this article there is considered the process of clay interacting with water that will permit to establish the composition of clay solutions possessing thixotropy. There are studied the processes happening in clay solutions. There are obtained recommendations on the parameters of clay solutions possessing the needed properties for holding walls of trenches from a collapse in case of construction by the soil mix wall method that do not increase power consumption when driving trenches. There is revealed such an important indicator defining the clay quality, as its consumption for preparing 1 m³ of clay solution. There is selected the approach to the correct choice of clays and methods of their processing.

Key words: clay, thixotropy, soil mix wall, solution, kaolinite, montmorillonite.

Введение. Область применения траншейных «стен в грунте» является достаточно широкой и распространяется на возведение сооружений любой формы и размеров в плане в различных инженерно-геологических условиях, включая водонасыщенные песчаные и глинистые грунты [1].

Практика показала, что данный метод существенно сокращает сроки строительства и снижает трудовые затраты. Большие масштабы его внедрения нашли применение в зарубежной практике строительства.

В последние годы в России ведутся активные работы по исследованию реологических свойств глинистых растворов. Исследуются методы улучшения свойств глинистых грунтов современными стабилизаторами для применения их в качестве оснований и строительного материала в транспортном строительстве [2].

Проводятся исследования по разработке методики определения реологических свойств глинистых растворов на основе принципа релаксации напряжений в условиях трехосного сжатия [3].

Несмотря на широкое и быстрое внедрение в практику строительства подземных сооружений, возводимых способом «стена в грунте», при котором применяются тиксотропные глинистые растворы, влияние многих технологических факторов на свойства материала конструкций изучено недостаточно. В связи с этим исследование глинистых грунтов является актуальной задачей.

Способ «стена в грунте» широко применяется при устройстве подземных сооружений, особенно в условиях плотной городской застройки. Преимущество в том, что он позволяет производить строительство, не принося вред близлежащим зданиям и сооружениям, поскольку не приводит к релаксации окружающих грунтовых массивов [4].

При разработке траншеи способом «стена в грунте» резание грунта происходит в среде глинистого раствора [5]. Отделенные от массива куски грунта взвешиваются в глинистом растворе. Для удержания отработанного глинистого раствора или шлама во взвешенном состоянии требуется использование тиксотропного глинистого раствора. Тиксотропность раствора характеризуется его способностью превращаться в студенистую жидкость в состоянии покоя и приобретать свойства жидкости при появлении внешнего механического воздействия.

Тиксотропный глинистый раствор позволяет удерживать шлам во взвешенном состоянии при прекращении циркуляции раствора из призабойного пространства к устройствам, производящим его очистку. По причине отсутствия оседания шлама в рабочую зону траншеекопателя, его работа происходит без возникновения дополнительных сопротивлений от контакта шлама с рабочим органом траншеекопателя.

Устойчивость стенок траншеи при заглублении рабочего органа траншеекопателя, а также в период устройства собственно стены обеспечивается за счет повышенного гидро-

статического давления глинистого раствора и образования водонепроницаемой глинистой корки в процессе кольматации пор грунта.

Важными свойствами глинистых растворов являются: плотность, вязкость, суточный отстой (седиментация), стабильность, водоотдача, толщина образуемой глинистой корки на стенке траншеи (2-5 см), предельное статическое напряжение сдвигу, содержание песчаных частиц, концентрация водородных ионов.

При выборе параметров глинистого раствора отталкиваются от свойств разрабатываемого грунта. Глинистый раствор должен обеспечить надежную работу машин и механизмов, сохранить устойчивость стенок траншеи и качество конструкции формируемой траншеи.

Тиксотропные глинистые растворы готовят из бентонитовых глин, которые доставляют на место строительства в виде комьев или порошка, либо для этого используют местные глины.

Глинистый раствор получают путем смешивания глин с водой. В зависимости от химических и физико-механических характеристик глин получают стабильные тиксотропные и нестабильные глинистые растворы. Условием получения стабильных глин является правильный выбор глин и методов их обработки.

Для приготовления глинистого раствора рекомендуется применять пресную воду, содержащую менее 1 % NaCl или менее 120 мг/л ионов кальция.

Процесс взаимодействия глин с водой является очень сложным, различными учеными он объясняется по-разному. Однако всем известна способность глины во влажном состоянии образовывать пластическую массу и превращаться в прочную водонепроницаемую монолитную структуру при высушивании. Помимо этого глина подвержена явлению сольватации. Сольватация – это процесс перехода вещества из полутвердого гелевого состояния в жидкое состояние (золь). При наличии в растворе воды, находящейся в физически связанном состоянии, раствор находится в гелевом состоянии. При наличии в глинистом растворе, помимо химически связанной воды сольватных оболочек

чек, дополнительной свободной воды образуется золь.

Процессы, происходящие в глинистых растворах, сильно изменяют их свойства. Свойства глинистых растворов не похожи на свойства обычных жидкостей. Сильное влияние на эти свойства оказывают физико-химические свойства глины, ее концентрация в растворе [4].

Наиболее стабильные тиксотропные глинистые растворы, используемые при строительстве способом «стена в грунте», получаются на основе бентонитовых глин, которые разделяют на монтмориллонитовые и каолинитовые. Свойства каолинитовых и монтмориллонитовых глин можно оценить по показате-

Таблица 1

Характеристика каолинитовых и монтмориллонитовых глин

Показатель	Значение показателей для глин	
	каолинитовые	монтмориллонитовые
Содержание глинистых частиц размером <0,005 мм, %	30-60	>60
Отношение $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$	1,5-3	3-5
Число пластичности W_p	17-50	50
Показатель коллоидной активности, $AK=W_p/\Delta_1$	0,3-0,9	0,9
Набухание, %	>50	50-440

Примечание: Δ_1 – содержание глинистых частиц размером менее 0,002 мм, %

лям, приведенным в табл. 1.

Помимо этого для приготовления стабильных суспензий можно использовать местные глины, содержащие около 30-40 % глинистых частиц с числом пластичности 0,2 и выше.

При содержании в глине ионов хлора, серной кислоты, кальция высокой концентрации приготовление качественного раствора возможно лишь при проведении дополнительной обработки

глины.

Методы исследования. Прежде чем приступить к приговлению глинистых растворов, необходимо провести лабораторные испытания входных материалов. Глины, отбираемые для приготовления растворов, должны иметь следующую характеристику:

Плотность, кг/м ³	2700-2750
Число пластичности	не менее 0,2
Гранулометрический состав, %	
песчаных частиц размером 1-0,05 мм	10
глинистых частиц размером <0,005 мм	30
глинистых частиц размером <0,001 мм	10
Набухание, %	15
Влажность грунта на пределе раскаты- вания, %	>25

Ориентировочный расчет необходимого количества глины для получения глинистого раствора заданной плотности производится по формуле:

$$P = \frac{\rho_{Г}(\rho - \rho_{В})}{(\rho_{Г} - \rho_{В})(1 - W)}, \quad (1)$$

где P – масса глины, кг, на 1 м³ глинистого раствора;

W – влажность глины, доли единицы;

$\rho_{Г}$, ρ , $\rho_{В}$ – плотность, кг/м³, соответственно глины, глинистого раствора, воды.

Для уменьшения плотности в глинистый раствор добавляю-
ют воду. Объем воды можно определить по формуле:

$$\Delta V = V \frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_2 - \rho_{В}}, \quad (2)$$

где ΔV – необходимое количество добавляемой воды, м³;

ρ_1 – плотность имеющегося глинистого раствора, кг/м³;

V – объем имеющегося глинистого раствора, м³;

ρ_2 – плотность нового глинистого раствора, кг/м³.

Качество глинистого раствора оценивают, определяя его плотность, водоотдачу, условную вязкость, содержание песка, суточный отстой, стабильность и статическое напряжение сдвига.

При возведении траншейных стенок в грунтах глинистые растворы должны иметь следующие параметры:

Плотность, кг/м ³	1050
Вязкость по вискозиметру СПВ-5, с	18-30
Водоотдача по прибору ВМ – 6 за 30 мин, см ³	до 30
Суточный отстой, %	до 4
Стабильность по стабилметру ЦС, г/см ³	до 0,02

Из-за дефицита бентонитовых глин, либо большой отдаленности их залежей от места строительства часто растворы изготовляют из местных глин. Грубодисперсные глины требуют дополнительной обработки. Обработка глинистых растворов подразумевает диспергирование, т.е. измельчение глинистых частиц только методами механической или химической обработки. Для приготовления глинистых растворов могут быть использованы местные полиминеральные глины, если их показатели будут не ниже следующих: бентонитовое число – 10, число пластичности – 20, содержание частиц диаметром менее 0,005 мм – 40 %, содержание песка ≤ 5 %.

Анализируя данные о применении глин [6] для приготовления растворов, можно сделать вывод, что основным показателем, определяющим качество глины, является ее расход на приготовление 1 м³ глинистого раствора. К тому же возможность использования различных глин для приготовления глинистых растворов и оценка из технологических свойств могут осуществляться по следующим основным показателям, которые, в свою очередь, зависят от физико-механических свойств глин:

- расход на приготовление 1 м³ глинистого раствора или выход глинистого раствора из 1 т глины;
- содержание песка в глинистом растворе;
- водоотдача глинистого раствора с нормальной концентрацией глины (нормальной концентрацией считается такая, при

которой относительная вязкость глинистого раствора составляет 25 ± 1 с). Водоотдачей глинистого раствора называют количество жидкой фазы, отфильтровавшейся через бумажный фильтр под действием избыточного давления в фильтрационной камере при отсутствии движения жидкости вдоль поверхности фильтра.

В Казахстане за показатель водоотдачи принимают количество жидкости, отфильтровавшейся через круглый бумажный фильтр диаметром 7,5 см за 30 мин. при перепаде давления 0,1 МПа и комнатной температуре. В производственных условиях водоотдачу и толщину глинистой пленки определяют на приборе ВМ-6.

При выборе глин отдаётся предпочтение тем из них, которые обеспечивают более низкую водоотдачу при одинаковом расходе глины на приготовление 1 м^3 глинистого раствора. Для приготовления глинистых растворов применяются монтмориллонитовые, каолинитовые, иллитовые и пластичные жирные местные глины. При выборе глины руководствуются экономическими соображениями, гидрогеологическими условиями строительной площадки и требованиями водонепроницаемости сооружений. Состав раствора должен быть подобран в лаборатории и испытан на строительной площадке.

При подборе раствора в первую очередь необходимо рассчитать его объемную массу в соответствии с условиями обеспечения устойчивости траншей. Расчет необходимого количества глины без учета ее влажности для получения глинистого раствора заданной объемной массы производится по формуле:

$$P_1 = \gamma_2(\gamma_P - \gamma_B)/(\gamma_T - \gamma_B), \quad (3)$$

или

$$P_2 = \gamma_T(\gamma_P - \gamma_B)/(\gamma_B - \gamma_P), \quad (4)$$

где P_1 или P_2 – масса глины на 1 м^3 соответственно глинистого раствора и воды, т;

γ_T – плотность глины, т/м³;

γ_B – плотность воды, равная 1.

Для уменьшения объемной массы глинистого раствора в него добавляют воду. Количество воды (в м³), добавляемой к имеющемуся глинистому раствору с объемной массой γ_{P_1} и объемом V , для получения раствора с новой объемной массой γ_{P_2} вычисляют по формуле:

$$\Delta V = [(\gamma_{P_1} - \gamma_P)/(\gamma_{P_2} - \gamma_B)]V \quad (5)$$

Выход раствора (в м³) из 1 т глинистого порошка находят по зависимости

$$Q = [(\gamma_G - \gamma_B)(1 - W)/\gamma_G(\gamma_P - \gamma_B)], \quad (6)$$

где W – естественная влажность глины.

Расход глины с промежуточной влажностью находится интерполированием. При пересечении разрабатываемой траншеи напорных водоносных грунтов или неустойчивых грунтов требуется раствор с повышенной объемной массой, приготовленный с утяжелителем. В качестве утяжелителя могут применяться барит, гематит, магнетит и колошниковая пыль. Количество утяжелителя, добавляемого в раствор, составляет (в 1 т на 1 м³ раствора)

$$P_V = [\gamma_V(\gamma_2 - \gamma_1)]/(\gamma_V - \gamma_2), \quad (7)$$

где γ_V – плотность утяжелителя, т/м³;

γ_2 – требуемая объемная масса раствора, т/м³;

γ_1 – объемная масса раствора до утяжеления, т/м³.

Для проходки траншей рекомендуется применять глинистые растворы расчетной объемной массы со следующими параметрами:

– стабильность S , г/см ³	0,02
– отстой воды O , %	3
– водоотдача за 30 мин B , см ³	25
– толщина глинистой пленки, мм	3
– предельное статическое напряжение сдвига, Па	2,0-8,0
– условная вязкость T , с	19-25

- содержание песка П, % 3
- водородный показатель pH 8-11,5

Результаты исследования. При подборе параметров глинистых растворов необходимо учитывать грунтовые условия (табл. 2) и засоленность разрабатываемых грунтов. Для опре-

Таблица 2

Параметры глинистых растворов

Параметры глинистого раствора	Грунты по классификации СНиП II-15-74					
	крупный песок	песок средней крупности	мелкий и пылеватый	супесь	суглинок	глина
В за 30 мин., см ³	≤10	≤15	≤22	≤22	≤25	≤25
ПСНС через 10 мин., Па	≥7,0	≥5,0	≥2,0	≤8,0	≤6,0	≤4,0

деления засоленности грунтов проводят специальные лабораторные исследования.

Глинистые растворы испытывают в лабораторных условиях, а контроль их параметров осуществляют на строительной площадке. Описание методики проведения исследований глинистых растворов и необходимого оборудования для этой цели приводится в работах [7-9]. Особое внимание при этом уделено нахождению предельного статического напряжения (ПСНС) и водоотдачи раствора.

ПСНС характеризует прочность образовавшейся структуры, а также способность раствора удерживать во взвешенном состоянии выбуренную породу и утяжелитель. От прочности структуры зависят плотность и водонепроницаемость глинистой пленки и закольматированного грунта, поры которого заполняются гелем раствора. Зная ПСНС, можно определить диаметр частиц, удерживаемых в растворе во взвешенном состоянии, см:

по формуле Жуховицкого

$$d = 0,06mP_s/(\gamma_2 - \gamma_1), \quad (8)$$

по формуле Кардвелла

$$R = 3G/(\rho_s - \rho_m)g, \quad (9)$$

где d – диаметр частиц, см;

m – коэффициент, зависящий от формы частиц (для частиц неправильной формы $m=2$);

P_B – ПСНС, Па;

γ_2 – плотность бентонита, г/см³;

γ_1 – объемная масса глинистого раствора, г/см³;

R – радиус частиц, см;

G – ПСНС, Па;

ρ_s – плотность частиц, г/см³;

ρ_m – объемная масса раствора, г/см³;

$g=981$ см/с² – ускорение силы тяжести.

Водоотдача глинистого раствора имеет большое значение, так как при рытье траншей обязательно встречаются гидрофильные породы (глинистые), интенсивно впитывающие воду из раствора. Вследствие этого их объем увеличивается, что приводит к сужению сечения разрабатываемой траншеи, а затем и к обвалам ее стенок. Насыщение водой песчаных грунтов также может привести к обрушению грунта, что наблюдалось авторами при проведении опытов с растворами местных глин с водоотдачей ($V \geq 40$ см³). Водоотдачу раствора за любой отрезок времени, зная водоотдачу за какой-либо другой промежуток, можно вычислить по соотношению

$$B_2 = B_1 \sqrt{(T_1 - T_2)}, \quad (10)$$

где B_1 – известная водоотдача за время T_1 .

B_2 – искомая водоотдача, за время T_2 .

Обсуждение результатов. В Республике Казахстан глинистые растворы применяют с водоотдачей $V \leq 25$ см³ за 30 мин. В США в соответствии с техническими условиями стандартных методов испытания буровых жидкостей по показателю водоотдачи за 30 мин. растворы разделяются: плохие – с $V \geq 25$ см³; удовлетворительные – $V \leq 15$ см³ и хорошие – с $V \leq 8$ см³.

Выводы. Рекомендации по параметрам глинистых растворов из местных глин дают возможность использовать ее при стро-

ительстве методом «стена в грунте» для удержания стенок траншей от обрушения.

Список литературы

1 Готман А.Л., Глазачев А.О. Исследование вертикально нагруженных буронабивных свай в глинистых грунтах и их расчет по данным статического зондирования // Основания, фунда­менты и механика грунтов. – 2012. – № 3 (21). – С. 80-85.

2 Кочеткова Р.Г. Влияние современных стабилизаторов на улучшение свойств глинистых грунтов // Основания, фунда­менты и механика грунтов. – 2012. – № 1. – С. 10-12.

3 Кутергин В.Н., Кальбергенев Р.Г., Карпенко Ф.С., Леонов А.Р., Мерзляков В.П. Определение реологических свойств глинистых грунтов методом релаксации // Основания, фунда­менты и механика грунтов. – 2013. – № 1. – С. 42-45.

4 Кадыров А.С., Нурмаганбетов А.С. Нагружение землеройных машин при работе в среде тиксотропного раствора. – Караганда: «Санат», 2007. – 152 с.

5 Федоров Б.С., Юшин А.И., Иванов В.Д., Круглова Э.А. Устройство фундаментов и противофильтрационных завес способом «стена в грунте». – М.: Госстрой СССР, 1978. – 75 с.

6 Нурмаганбетов А.С. Установление сопротивления движению рабочих органов землеройных машин в глинистом растворе: автореф. дис. канд. техн. наук. – Караганда, КарГТУ, 2007. – 141 с.

7 Смородинов М.И., Федоров Б.С. Устройство сооружений и фундаментов способом «стена в грунте» / 2-е изд. – М.: Стройиздат, 1986. – 216 с.

8 Рекомендации по технологии устройства подземных сооружений методом «стена в грунте». – М.: НИИОСП, 1973. – 90 с.

9 Круглицкий Н.Н., Мильковский С.И., Скворцов В.Ф., Шейнблум В.М. Траншейные стенки в грунте. – Киев: «Наукова думка», 1973. – 304 с.