

УДК 69.003.13

В. В. Турчин, кандидат технических наук
Т. Н. Иванова, магистрант
Л. В. Юдина, кандидат технических наук
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

ЗАКРЕПЛЕНИЕ ЛЕССОВЫХ ПРОСАДОЧНЫХ ГРУНТОВ В УСЛОВИЯХ СУЛЬФАТНОЙ АГРЕССИИ

В статье рассматриваются проблемы, связанные с необходимостью увеличения несущей способности существующих свайных оснований, расположенных на просадочных лессовых грунтах. Были исследованы физико-механические характеристики грунта для преобразования его строительных свойств. Предложен метод усиления, обеспечивающий дальнейшую безопасную эксплуатацию здания. Рассчитаны необходимые технологические и конструктивные параметры инъектирования. Разработан проект усиления фундаментов и грунтового основания.

Ключевые слова: химическое закрепление грунтов, цементация, силикатизация, сульфатная коррозия, сульфатостойкость.

Проблема строительства на просадочных лессовых грунтах и в других особых условиях повседневно выдвигает перед проектировщиками необходимость квалифицированного решения обеспечения устойчивости и надежности зданий, сооружений при высоких технико-экономических показателях, а перед строителями – выполнения этих решений с высоким качеством и при минимальных затратах.

Вследствие обводнения грунтов, залегающих в пределах сжимаемой толщи оснований фундамента, происходит замачивание массива грунта, в результате чего его несущая способность резко уменьшается, что ведет к неравномерной осадке надземных конструкций. Процесс просадки зданий может иметь катастрофические последствия, поэтому необходимо предусмотреть мероприятия для закрепления грунтового основания.

Особенно эффективны для улучшения свойств грунтов основания существующих сооружений разработанные химические способы закрепления. Это в значительной степени объясняется тем, что превращение грунта под фундаментом в камневидное состояние осуществляется, как правило, без прекращения эксплуатации здания [1].

При строительстве на лессовых просадочных грунтах, суглинках и глинах применяют методы силикатизации и цементации. Если грунты основания и фундамента сложены из различных видов пород, применяют комплексные методы усиления и уплотнения, включающие оба метода, при этом один выступает как основной, второй вспомогательный. Выбор зависит от вида грунтов, их физико-механических характеристик и климатических особенностей района строительства.

Метод силикатизации применяется при закреплении мелких и пылеватых песков и просадочных лессовых грунтов.

Сущность способа силикатизации состоит в том, что в грунт любой влажности через инъектор поочередно нагнетаются раствор силиката натрия $\text{Na}_2\text{O}_n\text{SiO}_2$ и раствор хлористого кальция CaCl_2 . В результате химической реакции между ними в порах грунта образуется гидрогель кремниевой кислоты. Микрослой цементирующих известково-кремне-

земистых новообразований обеспечивает прочное закрепление лессовых грунтов и практически его полную водонепроницаемость. Прочность закрепления зависит от времени твердения силикатированного лесса и проницаемости грунта. В малопроницаемых грунтах затрудняется доступ силикатного раствора в поры закрепляемого грунта. Поэтому лессовые грунты, подлежащие закреплению, должны быть достаточно проницаемые, коэффициент фильтрации их должен быть не менее 0,1 м/сут. Силикатный раствор, применяемый для закрепления лессового грунта, должен иметь невысокую вязкость в сравнении с вязкостью воды [2].

В обводненных глинистых грунтах с низким коэффициентом фильтрации менее 0,1 м/сут., где невозможно применить силикатизацию, усиление грунтов основания осуществляется методом цементации.

Цементация по разрывной технологии применяется для усиления грунтов в основании существующих и строящихся сооружений путем их обжатия с помощью образующихся разрывов, заполненных твердеющим цементным раствором, способствующим повышению физико-механических характеристик (ρ , ϕ , c , E). Разрывы, заполненные раствором в виде плоских клиньев ограниченной толщины и ширины, могут быть направлены вертикально, наклонно или горизонтально к скважине. Их протяженность в зависимости от продолжительности нагнетания и расхода раствора может достигать 0,8–1,5 м и более, и возникают они в песчаных, суглинистых и глинистых грунтах независимо от их плотности, вида и состава инъектируемого раствора [3].

Уплотнение грунтов по гидроразрывной технологии происходит в результате расклинивающего действия и гидравлического давления раствора на стенки грунта и производится преимущественно через инъекционные скважины, позволяющие многократно и в любой последовательности по глубине нагнетать растворы в грунт [4].

Метод усиления грунтов гидроразрывами является прогрессивным, но из-за отсутствия нормативной базы по проектированию и производству работ он не находит широкого применения.

В основном это вызвано отсутствием расчетов объема раствора и числа повторных инъекций в скважину и на весь объем уплотняемого грунта, обеспечивающих плотность и модуль деформации грунта требуемых расчетных значений, а также методики по выбору оптимального режима инъекции раствора для различных грунтовых условий.

Эффект уплотнения по гидроразрывной технологии зависит от числа и объема разрывов вокруг скважины в расчетном объеме грунта, заполненном твердеющим раствором, а также степени равномерности их распространения [5], для лучшего заполнения трещин рекомендуется вводить в цементный раствор пластификаторы, например раствор мылонафта.

Наибольший эффект уплотнения грунтов достигается при инъекции растворов с регулируемым во времени повышением вязкости и структурной прочности, например цементного с добавкой силиката натрия. Для продвижения раствора с непрерывно возрастающей вязкостью требуется повышать давление, что положительно отражается на эффективности уплотнения грунта, поскольку увеличиваются толщина и длина зацементированных разрывов, а возможно, и образование новых [6].

Для инъекции используют чисто цементные растворы и с различными инертными добавками (глина, песок, зола уноса). В качестве регуляторов изменения вязкости и сроков схватывания растворов применяются химические добавки (силикатные и растворы хлористого кальция), а для стабилизации и пластификации – суперпластифицирующие на основе модифицированных нафталино-формальдегидных и других смол в небольших количествах [7].

Наряду с укреплением грунтов минеральными вяжущими значительное распространение получили методы укрепления глинистых грунтов растворами органических стабилизаторов на кислой основе. Обработка стабилизаторами позволяет увеличить модуль упругости на 20...30%. Одновременно повышается водостойкость грунта, а оптимальная влажность снижается на 2...4% [8].

При наличии заметных признаков сульфатной агрессии в подземных водах проектировщики руководствуются инструктивными положениями, разрабо-

танными применительно к агрессивной среде для железобетонных и бетонных конструкций, и требуют применение в растворах дефицитных сульфатостойких цемента [9].

Для предотвращения воздействия агрессивной сульфатной среды авторы предложили применить цементно-песчаный тампонажный раствор с добавкой микрокремнезема (ЦПМК).

Исследование сульфатной коррозии проводилось по разработанной авторами методике. Из растворов готовились образцы в виде кубиков 2×2×2 см, которые после набора прочности в возрасте 28 сут. помещались в агрессивный 1н раствор Na₂SO₄.

Физико-химические исследования структуры образцов ЦПМК проводились электронно-микроскопическим, дифференциальным термическим и ИК-спектральными анализами.

Составы ЦПМК тампонажных растворов готовились из портландцемента марки ПЦ400Д0 и микрокремнезема, табл. 1.

Микрокремнезем (микрокремнезем, silicafume) представляет собой ультрадисперсный материал, состоящий из частиц сферической формы, получаемый в процессе газоочистки технологических печей при производстве кремнийсодержащих сплавов.

Таблица 1. Химический состав микрокремнезема, %

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	C	S
90–92	0,68	0,69	0,85	1,01	0,61	1,23	0,98	0,26

Основным компонентом материала является диоксид кремния аморфной модификации. Микрокремнезем является важнейшим компонентом при производстве бетонов с высокими эксплуатационными свойствами.

По результатам испытаний установлено, что микрокремнезем способствует повышению прочности образцов как в агрессивной, так и в водной средах, что можно объяснить повышением уровня кристаллообразования за счет появления новых центров кристаллизации и образования низкоосновных гидросиликатов.

Основываясь на данных прочностных испытаний, для производства отобрали образцы наилучших оптимальных составов C/200/5 и C/300/10, табл. 2.

Таблица 2. Исследуемые составы

№ состава	Состав растворов и соотношение компонентов по массе, част.				Плотность раствора, г/см ³	Хранение в агр. среде, сут.	Сокращенное название состава
	Цемент	Песок кварцевый	Микрокремнезем	Вода			
1	1	3	0,1	0,76	2,0	30	C/300/10
2	1	2	0,05	0,55	2,2	30	C/200/5

Добавка микрокремнезема благотворно влияет на структурные характеристики цементного камня, уплотняет его, и способствуют образованию гидросиликатов кальция, предположительно тоберморита – продукта реакции между кварцем и известью, имеющего мелкие иглообразные кристаллы и дендритоподобную структуру. Гидросиликаты кальция заполняют поры и микротрещины в цементном кам-

не. Результаты микроскопических исследований образцов представлены на рис. 1, а и б.

Результаты микроанализа подтверждены данными термографического анализа. Данные дифференциально-термического анализа подтверждают изменения в структуре образцов, выявленные в ходе электронно-микроскопического анализа, в частности дегидратацию выявленного ранее тоберморита [10].

Авторы предлагают новую методику расчета объема нагнетаемого раствора с помощью показателя S_r (степень влажности при применении метода разрыва

пласта) с дальнейшим определением деформационных характеристик закрепленного грунта по номограмме, предложенной М. Н. Ибрагимовым (рис. 2).

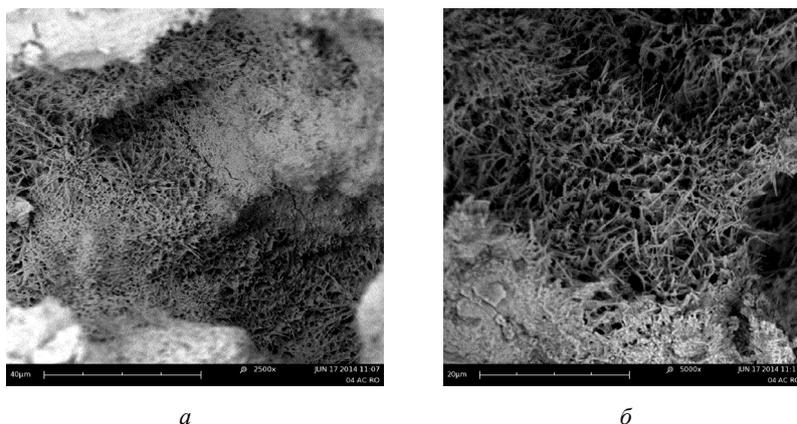


Рис. 1. Образец (а) 1 состава (С/300/10), увеличение – 1000×; увеличение (б) 5000×

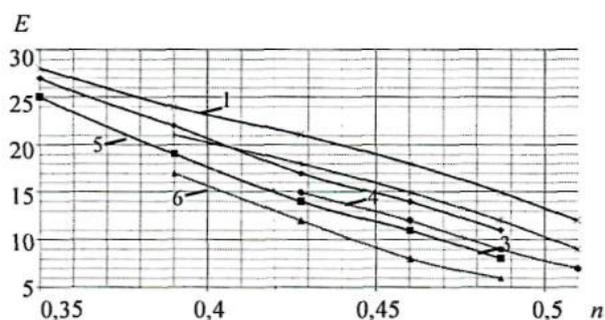


Рис. 2. Номограмма для определения E глинистых неселесовых грунтов по n : 1 – глина полутвердая; 2 – тугопластичная; 3 – мягкопластичная; 4 – супесь; 5 – суглинок полутвердый; 6 – мягкопластичный

Степень влажности S_r представляет собой отношение влажности грунта в естественном состоянии к влажности грунта, все поры которого заполнены водой. Таким образом, зная величину S_r :

$$S_r = \omega \frac{\gamma_s}{e \cdot \gamma_w}, \quad (1)$$

можно установить объем пор грунта, не заполненных водой, которые при цементации с разрывом пласта и обжатии грунта сокращаются, что ведет к повышению физико-механических характеристик грунтов.

Прочностные характеристики закрепленного грунта, в частности модуль деформации, зависят от вида, влажности и плотности сложения, их можно вычислить по номограмме, предложенной Ибрагимовым [11].

В результате закрепления грунтов оснований коэффициент пористости естественного грунта e_0 уменьшается в соответствии с законом уплотнения грунтов (2) за счет изменения объема пор (Δn), а модуль деформации грунта E увеличивается:

$$de = -m_0 \cdot dp. \quad (2)$$

Изменение коэффициента пористости естественного грунта e_0 до пористости уплотненного e^1 опре-

деляем по формуле (3) с использованием степени влажности S_r :

$$e^1 = S_r \cdot e. \quad (3)$$

Пористость уплотненного грунта n^1 находим по формуле

$$n^1 = \frac{e^1}{1 + e^1}. \quad (4)$$

Затем находим объем сокращаемых пор Δn по формуле

$$\Delta n = n - n^1. \quad (5)$$

Зная Δn , по номограмме, предложенной М. Н. Ибрагимовым [12], определяем модуль деформации E .

Параметры (E , n), определенные по номограмме, являются прогнозируемыми величинами и основываются на экспериментальных данных.

Объем закрепляемого массива от одной скважины определяется как сумма объемов массивов грунта в пределах разных ИГЭ. Закрепление грунта вокруг скважины происходит в виде образования техногенных массивов цилиндрической формы. Объем этих цилиндров зависит от радиуса распространения инъектируемого раствора, который при высоконапорной инъекции цементного раствора принимаем – 0,8 м. Объем закрепленного грунта от единичной инъекции в одну заходку определяется по формуле (6) для каждого слоя высотой h_r :

$$q_g = \pi \cdot r^2 \cdot h_r. \quad (6)$$

Далее методика [13] предполагает расчет количества расходуемого раствора, обеспечивающего грунту плотность, пористость и модуль деформации до требуемых расчетных показателей. Предполагаемый объем раствора, нагнетаемого в скважину, находим по формуле (7), предложенной авторами по изменению пористости Δn :

$$q_r = q_g \cdot \Delta n, \quad (7)$$

где q_g – объем закрепляемого грунта, m^3 ; Δn – объем сокращаемых пор. При расчете количества раствора учитываем коэффициент утечки раствора за пределы расчетного контура грунта – 1,5; коэффициент усадки раствора в зависимости от его состава и стабильности – 1,1.

Объем раствора, нагнетаемого в скважину при силикатизации, находим по формуле [14]:

$$q_r = q_g \cdot n^1 \cdot a, \quad (8)$$



Рис. 3. Общеобразовательная школа № 5 в г. Малгобеке, Республика Ингушетия

Школа расположена в пределах Алханчуртской долины, сложенной сплошным покровом лессовидных просадочных пород, мощность которых достигает нескольких десятков метров. Грунтам характерна слоистая структура, причем направление слоистости совпадает с наклоном дневной поверхности, наблюдается тонкая вертикальная трещиноватость.

По данным инженерно-геологических изысканий установлено, что сверху вниз залегают следующие ИГЭ:

– ИГЭ1: слабогумусированный темно-бурый суглинок с корневищами травянистой растительности, иногда с примесью техногенного материала.

– ИГЭ2: суглинок легкий пылеватый, серовато-желтый, макропористый, лессовидный, слабовлажный, твердой консистенции, с включением карбонатных стяжений, окислов марганца и железа. Коэффициент пористости $e = 0,77$; плотность $\rho = 1,77 \text{ т/м}^3$; степень влажности $S_r = 0,56$.

– ИГЭ3: суглинок легкий, пылеватый, буровато-желтый, макропористый, лессовидный, влажный, пластичной консистенции, с включением карбонатных стяжений, окислов марганца и железа. Коэффициент пористости $e = 0,67$; плотность $\rho = 1,96 \text{ т/м}^3$; степень влажности $S_r = 0,77$.

– ИГЭ4: глина легкая, пылеватая, от буровато-желтого до буровато-коричневого цвета, макропористая, лессовидная, влажная, пластичной консистенции. Коэффициент пористости $e = 0,69$; плотность $\rho = 1,99 \text{ т/м}^3$; степень влажности $S_r = 0,89$.

Грунты зоны аэрации, слагающие разрез изучаемого участка, по содержанию сульфатов обладают сильной сульфатной агрессивностью к бетонам на портландцементе всех марок по водопроницаемости и не агрессивны к бетонам на шлакопортландцементе и сульфатостойком цементе.

где q_g – объем закрепляемого грунта, m^3 ; n^1 – расчетная пористость грунта в долях единицы; a – коэффициент заполнения пор, равный при силикатизации просадочных лессовых грунтов 0,7.

Расход материалов на закрепление грунта под концом сваи и стабилизация грунта вокруг сваи рассчитывается аналогичным образом.

Предложенный метод был применен при реконструкции общеобразовательной школы № 5 в г. Малгобеке Республики Ингушетия, рис. 3.

При визуальном обследовании конструкций здания школы было установлено, что в результате замачивания грунтов в основании несущие конструкции получили сверхнормативные нагрузки и началось их разрушение, выявлены многочисленные трещины в наружных и внутренних конструкциях.

Разрушения конструкций вызваны неравномерными деформациями оснований под фундаментами вследствие замачивания грунтов. Для увеличения несущей способности грунтов основания свайного фундамента авторы предложили выполнить комплексное уплотнение грунтов оснований. По боковой поверхности в верхней части просадочной толщи лессовых грунтов применили метод одноразовой силикатизации с целью повышения несущей способности свайных фундаментов за счет исключения отрицательного трения лессовых просадочных грунтов при их замачивании.

По завершении силикатизации верхнего слоя для увеличения расчетного сопротивления грунтов под нижним концом свай, залегающих в этой зоне суглинков и глин, принято решение о создании единого техногенного укрепленного массива грунта в насыщенных водой, пластичных глинах ИГЭ4 путем инъектирования цементного раствора по гидроразрывной технологии, согласно [15]. Применимость данного способа обусловлена коэффициентом фильтрации грунтов ИГЭ2, равным 2 м/сут.

Для исключения дальнейшего замачивания грунтов оснований по периметру выполнить противофильтрационный барьер с трех сторон здания, со стороны активного движения грунтовых и поверхностных вод.

Инъектирование проводилось с применением инъекционного комплекса, включающего малогабаритные передвижные буровые установки УКБ12/2Г

со шнеком диаметром 72–86 мм и миксерную гидро-станцию с компрессором и манометром, через горизонтальные, наклонные и вертикальные иньекторы из металлических труб с просверленными отверстиями для подачи цементного раствора, погружаемого в пробуренные скважины, рис. 4.

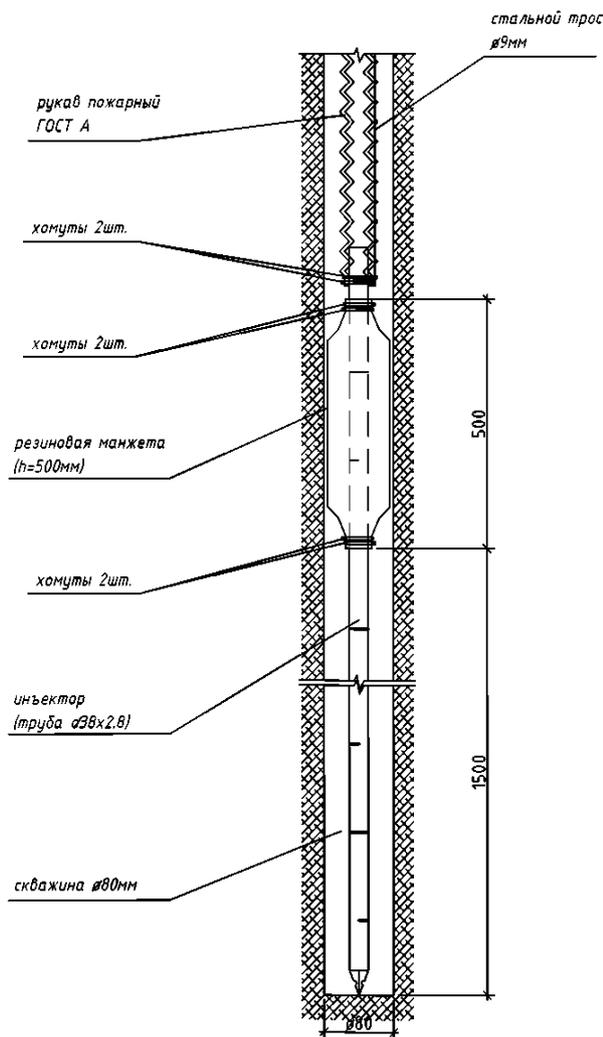


Рис. 4. Схема расположения иньектора в скважине

Перед установкой иньекторов в скважину заливается смазывающая жидкость, которая готовится в виде водного раствора мылонафта (состав 1:30). Отличается работа в необводненном и обводненном грунте. Во втором случае в скважину вставляется перфорированная обсадная труба, рис. 5. Иньектирование скважины выполняется вертикальными захватками, равными по величине длине перфорированной части иньектора 1,5 м. Иньектор опускается до забоя скважины, после чего выполняется силикатизация.

С дальнейшим уплотнением грунта выполняют высоконапорную иньекцию цементного раствора в нижней зоне и под концом сваи с разрывом целостности грунта с максимальным давлением иньектируемого раствора до 15 атм. По завершении высоконапорной иньекции выполняется перемещение инь-

ектора вверх с помощью троса на высоту длины перфорированной части иньектора 1,5 м. На участках с обводненным грунтом для сохранения формы скважины необходимо устанавливать перфорированные обсадные трубы.

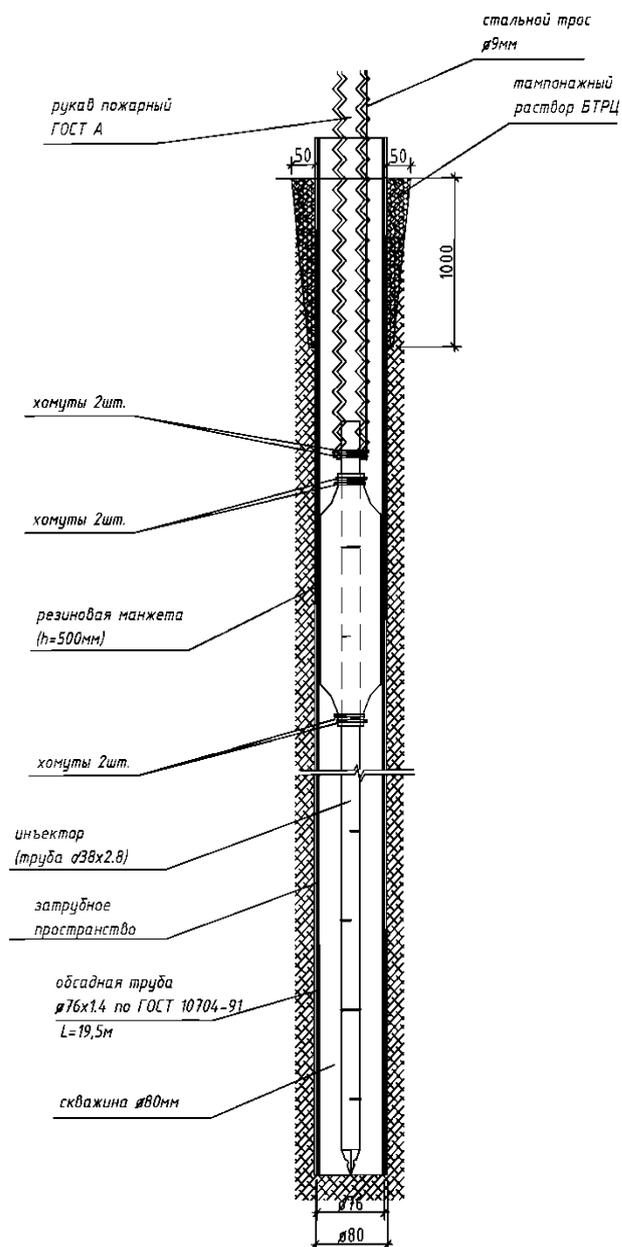


Рис. 5. Схема расположения иньектора в обсадной трубе

В качестве факторов, усугубляющих природные условия, необходимо отметить сульфатную агрессивность грунтовых вод на основания и фундаменты, что вызывает необходимость применения специальных сульфатостойких цементов.

Основываясь на данных испытаний и физико-химических исследований, а также по результатам электронно-микроскопического анализа [16] для предотвращения воздействия агрессивной сульфатной среды применяем цементно-песчаный раствор с добавкой микрокремнезема.

По предложенной методике выполнили расчеты при составлении проекта реконструируемой школы в г. Малгобеке. Все результаты расчетов представлены в табл. 3–7.

Таблица 3. Объемы закрепленного грунта

Показатель	ИГЭ-2, м ³	ИГЭ-3, м ³	ИГЭ-4, м ³
Объем закрепленного грунта при силикатизации	33,6	17,27	3,77
Объем закрепленного грунта при высоконапорной инъекции	21,5	11,05	2,4

Таблица 4. Основные физико-механические характеристики грунтов в естественном и уплотненном состоянии

Показатель	S_r	$S_r, \%$	e	e^1	$n=e/1+e$	n^1	Δn
ИГЭ-2	0,56	56	0,77	0,431	0,435	0,301	0,134
ИГЭ-3	0,77	77	0,67	0,516	0,401	0,340	0,061
ИГЭ-4	0,89	89	0,69	0,614	0,408	0,380	0,028

Таблица 5. Объемы раствора

Показатель	ИГЭ-2, м ³	ИГЭ-3, м ³	ИГЭ-4, м ³	$\Sigma, \text{м}^3$
Объем раствора при силикатизации	7,09	4,11	1,00	12,20
Объем раствора при высоконапорной инъекции	4,75	1,11	0,11	5,97

При расчете объема закрепленного грунта и раствора на высоконапорную инъекцию в расчете на среднюю величину расход раствора на силикатизацию останется прежним $Q_p = 12,2 \text{ м}^3$. Расход раствора на высоконапорную инъекцию рассчитывается на среднюю величину слоев грунта (ИГЭ), подвергаемого инъекции. В средней части при инъекции на мощность пласта 5,7 м по слоям распределение имеет следующую картину: ИГЭ 2 – 1 м, ИГЭ 3 – 4 м, ИГЭ 4 – 0,7 м. Результаты расчетов приведены в табл. 6.

Таблица 6. Объем закрепленного грунта и раствора на высоконапорную инъекцию в расчете на среднюю величину

Показатель	ИГЭ-2, м ³	ИГЭ-3, м ³	ИГЭ-4, м ³	$\Sigma, \text{м}^3$
Объем закрепленного грунта при высоконапорной инъекции	2,01	8,04	1,41	
Объем раствора при высоконапорной инъекции	0,44	0,81	0,06	1,32

Определяем количество компонентов раствора для силикатизации и высоконапорной инъекции на одну скважину. Состав и расход компонентов закрепляющего раствора приведены в табл. 7.

Отбор проб для сдачи результатов закрепления грунта осуществляется путем выполнения забора образцов ненарушенной структуры из специально пробуренных контрольных скважин. Расчеты параметров E и n по степени влажности, а также испытания, проведенные в лаборатории после выполнения

всех мероприятий по закреплению основания фундаментов. Прогнозируемые параметры закрепления грунта основываются на справочно-нормативных данных [17, 18] и являются достаточными, а в отдельных случаях превышают требуемые [19] для проектируемых объектов. В то же время эти параметры являются контрольными, т. е. минимально допустимыми.

Таблица 7. Состав и расход компонентов закрепляющего раствора

Компонент	Силикатизация	Цементация	Силикатизация	Цементация
	На противофильтрационный барьер		На закрепление и стабилизацию грунта вокруг свай	
Цемент, т	–	3,37	–	0,95
Песок, т	–	3,37	–	0,95
Мылонафт, кг	83	6,74	83	2
Жидкое стекло, т	1,39	0,067	1,39	0,019
Кальций хлористый, т	1,39	0,067	1,39	0,019
Микрокремнезем, т	–	0,34	–	0,095
Вода до плотности раствора $1,13 \text{ т/м}^4$				

В результате выполненных работ устранены отрицательные силы трения по боковой поверхности свайных фундаментов, под подошвой фундаментов создан геотехногенный массив закрепленного грунта с повышенным расчетным сопротивлением грунта под нижним концом свай, непрерывно связанный с геотехногенным массивом, выполняющим также роль противофильтрационного барьера. Восстановлена несущая способность существующего свайного фундамента и обеспечена безопасность эксплуатации реконструируемого здания школы. Полученные значения модуля деформации и пористости являются достаточными для увеличения несущей способности существующего свайного основания при реконструкции школы в г. Малгобеке Ингушской Республики.

По результатам проведенных физико-химических исследований и вычислительных работ можно сделать следующие выводы.

Путем определения физико-механических свойств и физико-химических исследований установлено, что микрокремнезем положительно влияет на структурообразование материала, создавая дополнительные центры кристаллизации, способствующие уплотнению цементной матрицы.

По результатам прочностных испытаний, для производства подобраны оптимальные составы сульфатостойких цементно-песчаных растворов с добавкой микрокремнезема.

Экспериментально подтвержден предложенный метод расчета объема нагнетаемого раствора при применении метода разрыва пласта с дальнейшим определением деформационных характеристик закрепленного грунта по номограммам.

Предложенный метод расчета применен при реконструкции Общеобразовательной школы № 5 в г. Малгобеке Республики Ингушетии.

Библиографические ссылки

1. Халикулов А. И., Ибрагимов М. Н. Химия в строительстве. – Т. : Узбекистан, 1983. – 136 с.
2. Там же.
3. Ибрагимов М. Н. Вопросы проектирования и производства уплотнения грунтов инъекцией растворов по гидроразрывной технологии // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2015. – № 2. – С. 22–27.
4. Там же.
5. Там же.
6. Yudina L., Turchin V., Baburin Y. Concerning the aspects of wet clayey ground in Udmurtia. //10th International Conference Modern Building Materials, Structures and Techniques. 10. 2010. С. 1116–1120.
7. Ибрагимов М. Н. Вопросы проектирования и производства уплотнения грунтов инъекцией растворов по гидроразрывной технологии. – С. 22–27.
8. Юдина Л. В., Турчин В. В., Сычугов С. В. Сухие строительные смеси на основе шлакощелочных вяжущих для использования в условиях агрессивной сульфатной среды // Сухие строительные смеси. – 2015. – № 5. – С. 22–28.
9. Yudina L., Turchin V., Baburin Y. Concerning the aspects of wet clayey ground in Udmurtia. //10th International Conference Modern Building Materials, Structures and Techniques. 10. 2010. С. 1116–1120.
10. Турчин В. В., Юдина Л. В., Агаев Д. В. Влияние добавки микрокремнезема на сульфатостойкость цементно-песчаных тампонажных растворов // Современные проблемы гуманитарных и естественных наук : материалы XXIII Междунар. науч.-практ. конф. – М., 2015. – С. 36–44.
11. Ибрагимов М. Н. Вопросы проектирования и производства уплотнения грунтов инъекцией растворов по гидроразрывной технологии. – С. 22–27.
12. Там же.
13. Там же.
14. Пособие по химическому закреплению грунтов инъекцией в промышленном и гражданском строительстве (к СНиП 3.02.01–83). – М. : Стройиздат, 1986. – 86 с.
15. Ибрагимов М. Н. Вопросы проектирования и производства уплотнения грунтов инъекцией растворов по гидроразрывной технологии. – С. 22–27.
16. Турчин В. В., Юдина Л. В., Агаев Д. В. Влияние добавки микрокремнезема на сульфатостойкость цементно-песчаных тампонажных растворов. – С. 36–44.
17. Пособие по химическому закреплению грунтов инъекцией в промышленном и гражданском строительстве (к СНиП 3.02.01–83). – М. : Стройиздат, 1986. – 86 с.
18. СП 22.13330.2011 Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01–83*.
19. ТСН-50-306-2005 Ростовской области Основания и фундаменты повышенной несущей способности.

V. V. Turchin, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov ISTU
 T. N. Ivanova, Master's Degree Student, Kalashnikov ISTU
 L. V. Yudina, PhD in Engineering, Kalashnikov ISTU

Fixation of Loess Subsiding Soils under Sulfate Exposure

The paper considers problems related to necessity of increasing the carrying capacity of existing welded foundations located on loess subsiding soils. Physical and mechanical properties of the soil have been investigated for transformation of its construction properties. The reinforcement method providing the further safe operation of the building is proposed. Necessary manufacturing and layout parameters of injecting have been analyzed. The project of reinforcing the foundations and soil basement has been developed.

Keywords: chemical fixation of soils, cementation, silicification, sulfate corrosion, sulfate resistance.

Получение: 09.06.16