

УДК 624.131.54

А. В. Писаренко, канд. техн. наук**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Донбасская национальная академия строительства
и архитектуры», г. Макеевка****РЕЦЕПТУРА ХИМИЧЕСКОГО ЗАКРЕПЛЕНИЯ ПРОСАДОЧНЫХ
ГРУНТОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ
ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

Выполнен анализ существующих методов увеличения жесткости оснований, сложенных просадочными грунтами. Показана важность разработки новых методов повышения надежности строительных объектов. Рассматривается применение добавки соляной кислоты в качестве отвердителя раствора силиката натрия при химическом закреплении просадочных грунтов по однорастворной двухкомпонентной технологии. Приведены результаты гелеобразования в щелочной среде. Установлена закономерность изменения коэффициента жесткости основания C_z от процента частичного закрепления просадочного основания по высоте.

Ключевые слова: безопасное проведение работ, химическое закрепление грунта, охрана труда рабочих, просадочные грунты, коэффициент жесткости основания, физико-химический метод

Постановка проблемы

Строительное производство преследует ряд целей, которые заключаются в обеспечении надежной и безопасной эксплуатации, повышении качества объектов строительства, обеспечения охраны труда рабочих на строительной площадке, устойчивого развития сферы строительства. Не менее важным показателем безопасного строительного процесса является экологическая безопасность. Значимость экологической безопасности с каждым годом растет. Это связано с постоянным увеличением населения городов, тем самым появляется необходимость в освоении грунтового массива непригодного для строительства без дополнительной обработки. Такой грунтовой массив обычно представлен просадочными, лёссовыми грунтами, которые подвержены проявлению тиксотропных явлений. Строительство на просадочных грунтах занимает огромную часть из-за довольно масштабного распространения таковых в ДНР. В связи с этим остро встает вопрос обеспечения безопасного производства работ по проектированию и строительству зданий и сооружений на грунтах, подверженных просадкам. Деформации зданий, возведенных на просадочных грунтах, зачастую связаны с ошибками проектирования, когда нагрузки на грунты определены без учета их просадочности, и могут привести к развитию неравномерных осадок фундаментов, в том числе, зданий и сооружений в целом [1, 2]. Эти проблемы можно решить при использовании методов повышения структурных свойств грунтов.

Анализ последних исследований и публикаций

В исследование закономерностей просадочности грунтов большой вклад внесли Ю. М. Абелев, М. Ю. Абелев, В. П. Ананьев, В. Ф. Бабков, Л. Г. Балаев, В. И. Бехер, Н. В. Воляник, Б. Ф. Галай, А. А. Григорян, Н. Я. Денисов, Э. М. Добров. В связи с резким ростом урбанизации, заполнения территорий, малопригодных для строительства (просадочные грунты), было начато исследование, цель которого – увеличение срока эксплуатации зданий и сооружений, расположенных в сложных инженерно-геологических условиях, путем увеличения несущей способности оснований с применением химического состава. Трофимов В. Т. [3] считал основным признаком лёссовых слабых грунтов – просадочность. По мнению

А. С. Черныш [4], именно макропористая структура существенно определяет деформационные, прочностные и фильтрационные свойства просадочных грунтов.

Изменение прочностных свойств грунта зачастую происходит в его массивах, которые включают в себя разновидности слабых грунтов. К таким грунтам можно отнести просадочные. Такие слабые грунты способны под воздействием дополнительных техногенных нагрузок существенно изменять свои прочностные характеристики с проявлениями в их массивах опасных инженерно-геологических процессов. В слабых грунтах наиболее распространенными являются такие процессы: набухание-незатухающая ползучесть глинистых грунтов; суффозионное разуплотнение песчано-супесчаных и суглинистых грунтов, суффозионно-диффузионное разуплотнение лёссов, их просадки; тиксотропное разжижение; оползневые, эрозионные, подтопление – заболачивание и др. [5]. Как было установлено Н. Ф. Пыхтеевой [6], прочность и нормальная эксплуатация зданий определяется не только конструктивными особенностями сооружения, но и свойствами грунтов, а вода, находящаяся в дисперсном состоянии в грунте, может оказывать расклинивающее действие пористой структуры грунта, которое сказывается на прочностных характеристиках грунта в целом.

Целью исследования является разработка экологически безопасного химического состава для закрепления просадочных грунтов и повышения их структурных свойств.

Изложение основного материала исследования

Любая строительная деятельность оказывает негативное воздействие на окружающую среду. Антропогенное влияние строительства проявляется на всех этапах производства – начиная с добычи строительных материалов. Известно применение силикатирования для закрепления слабых просадочных грунтов. Однако при использовании силикатирования следует учитывать то, что это мероприятие обеспечит положительный эффект только при полимеризации кремниевой кислоты с образованием силоксановых структур. Химический процесс закрепления просадочных грунтов (рисунок 1) такими растворами осуществляется за счет силоксановых связей, которые характерны для силикатных полимеров.

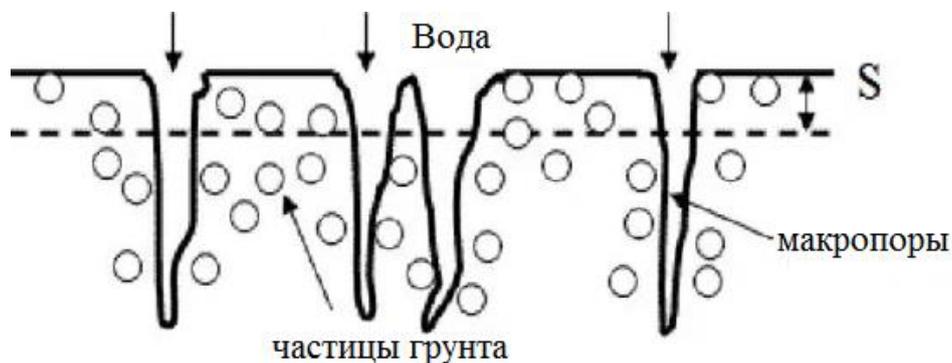


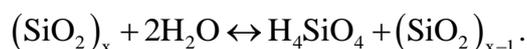
Рисунок 1 – Микроструктура просадочного грунта

Применение химических способов улучшения строительных свойств грунтов показало их эффективность при реконструкции зданий либо усилении фундаментов существующих сооружений. Это в значительной степени объясняется тем, что дает возможность проводить работы без прекращения эксплуатации здания. Подавляющее большинство рецептур силикатизации грунтов были основаны на использовании неорганического полимера – силиката натрия. В дальнейшем разработка химических способов закрепления грунтов осуществлялась путем создания гелеобразующих растворов, которые представляли собой смесь раствора силиката натрия небольшой плотности с отверждающими растворами кислот и солей (KCl, NaCl, Na₂CO₃) [7]. Широкое применение в строительстве на просадочных лёссовых грунтах

получил способ силикатизации. В [8, 9] освещаются вопросы, касающиеся химического закрепления оснований, находящихся в сложных грунтовых условиях методом силикатизации.

Глинистые породы мобильно изменяют свой облик на разных стадиях литогенеза и чрезвычайно восприимчивые в отношении структурно-текстурных особенностей и свойств к внешним и внутренним воздействиям. В процессе закрепления различными химическими композициями между частицами грунта возникают прочные структурные связи за счет инъецирования в грунт и последующего твердения определенных реагентов. Это обеспечивает увеличение прочности грунтов, снижение их сжимаемости, уменьшение водопроницаемости и чувствительности к изменению внешней среды. На данный период времени появилась необходимость в усовершенствовании существующих методов химического закрепления просадочных грунтов и повышении эффективности производимых работ (снижение стоимости путем применения более дешевых и доступных материалов, которые также отвечают предъявляемым к ним требованиям). Для этого была рассмотрена рецептура химического закрепления грунтов по однорастворной двухкомпонентной технологии на основе раствора силиката натрия с добавками соляной кислоты (HCl), с последующим образованием активированной кремниевой кислоты.

Все поликремниевые кислоты малорастворимы в воде. В воде образуют коллоидные растворы по общей схеме реакции:



Образовавшаяся неустойчивая ортокремниевая кислота вступает в реакции поликонденсации:



Скорость коагуляции золя кремневой кислоты зависит от температуры смеси гелеобразующих растворов, концентрации SiO_2 в растворе, pH среды, применяемой кислоты (серная или соляная). Скорость коагуляции растет при повышении температуры и концентрации исходного коллоидного раствора, при понижении вязкости особенно сильно на вязкость раствора влияет температура. Метод заключается в инъекционном уплотнении массива грунта посредством нагнетания вязкого коллоидного раствора под давлением. При заполнении имеющихся в грунте микротрещин, коллоидный раствор застывает и армирует грунтовый массив. Такой метод закрепления позволяет осуществлять компенсационное нагнетание при дополнительных осадках грунтовой толщи на участках зон разуплотнения массива грунтов при суффозионном выносе из него мелких и пылеватых фракций и защищать здания и сооружения от неравномерных осадок. Закрепление осуществляется посредством погружения в слабые грунты оснований зданий и сооружений или грунты зон оползневых смещений инъекторов.

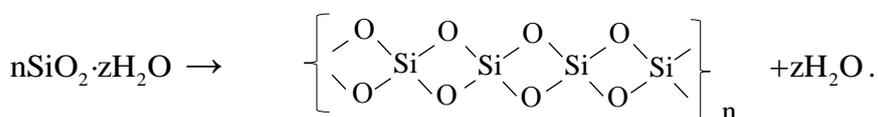
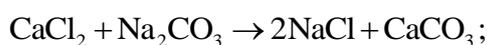
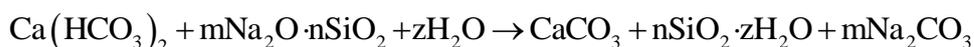
Разработанные рецептуры однорастворного способа силикатизации [10] основаны на создании гелеобразующих растворов с малой вязкостью, которая должна сохраняться в течение всего времени нагнетания раствора в грунт. Продолжительность нагнетания зависит от проницаемости грунта в данной зоне распространения раствора. Следовательно, закрепляющие растворы должны обладать регулируемым временем гелеобразования (в данном случае применяемая отверждающая добавка обладает свойствами буферности). За время гелеобразования принимается период между моментом окончания введения отвердителя в основной раствор (или основного раствора в отвердитель) и моментом перехода приготовленной смеси из жидкого состояния в гелеобразное. Переход H_4SiO_4 в раствор можно представить схемой



В процессе образования кремниевых кислот вначале получают неустойчивый истинный раствор H_4SiO_4 ; эта кислота в дальнейшем, благодаря наличию реакционноспособных

силанольных групп SiOH, вступает в поликонденсацию, первая стадия которой $2\text{H}_4\text{SiO}_4 : (\text{HO})_3\text{SiOSi}(\text{OH})_3 + \text{H}_2\text{O}$. Устойчивость золя кремниевых кислот зависит от концентрации кремниевых кислот, температуры, pH и др. Со временем золь теряет устойчивость и переходит в гель (при pH > 7,5 гидрозоль термодинамически устойчив к коагуляции). Скорость гелеобразования максимальна при pH 5,5–6,0. Подбирая соответствующие условия и применяя специальные добавки (стабилизаторы), удастся получить устойчивые высококонцентрированные золи [10].

Однако при использовании силикатирования следует учитывать то, что это мероприятие обеспечит положительный эффект только при полимеризации кремниевой кислоты с образованием силоксановых структур. Согласно химизму процесса жидкое стекло не образует полимерных структур. Полимеризация может происходить при наличии в увлажненном грунте гидрокарбонатных ионов. Процесс происходит по следующей схеме:



Для осуществления полимеризации, очевидно, необходимо наличие кислых ингредиентов. Таким образом, при закреплении грунтов в паводковый период, когда исходная вода практически не содержит кислых соединений, силикатирование не обеспечит положительного эффекта. Наиболее подходящей системой, удовлетворяющей всем требованиям, является система, основанная на взаимодействии силикатов натрия с кислотой с образованием SiO_2 . Автором проводился эксперимент по получению золя активной кремниевой кислоты с «заморозкой» его раствором полиакриламида, который служит для снижения вязкости раствора, укрупнения молекул, и, как следствие, повышаются характеристики закрепленного грунта; также способствует улучшению дегидратации грунтового основания; увеличивает скорость фильтрации жидкости. Появляется эффект Томса.

Возникает необходимость приготовления заранее активированного реагента – активной кремниевой кислоты. Кроме этого, необходимо учитывать требуемую скорость полимеризации. Например, в аварийных ситуациях, когда возникает необходимость создания экрана из силоксановых структур, процесс полимеризации может быть ускорен за счет присадки в закрепляющий раствор катализаторов процесса. «Заморозка» активной кремниевой кислоты проводилась с добавлением 0,05 % водного раствора анионоактивного полиакриламида Ecofloc (ТУ 2414-002-74301823-2007) [11].

Наименьшее сопротивление оказывали частицы в водонасыщенном состоянии, затем закрепленные жидким стеклом. Наиболее эффективным был грунт с массовой долей 1 и 2 % SiO_2 . При том, что проникающая способность раствора оказалась значительно выше, чем жидкого стекла, за счет применения полиакриламида, а большая скорость при составе с 1 % SiO_2 обусловлена большей концентрацией полиакриламида, что дает основание предполагать присутствие эффекта Томса на грани сред в опыте, а значит и на грани сред закрепленного и незакрепленного грунта в натуральных условиях. В 40-е годы XX в. было замечено, что некоторые полимеры (полиэтиленоксид, полиакриламид, полиакриловая кислота и др.) в водных растворах проявляют необычные свойства, в частности, способность к комплексообразованию со многими неорганическими и органическими веществами; осаждение из водных растворов твердых примесей (флуктуация); снижение гидравлического сопротивления про-

качиваемой жидкости; снижение турбулентности течения жидкости в трубах; усиление потока течения воды в трубах и пожарных шлангах и др.

Существует множество теоретических представлений, объясняющих особенности поведения полимеров в воде:

- ориентация молекул воды вокруг макромолекул полиэтиленоксида с возникновением структур, которые уменьшают трение внутри потока и гасят турбулентные завихрения;
- псевдопластичность неньютоновской жидкости, эффективная вязкость которой заметно снижается при увеличении скорости потока, но жидкость, содержащая микроколичество полимера (0,003–0,004 %), не проявляет взаимодействия макромолекул;
- набухание в воде ассоциатов 2–10 мкм макромолекул 10–100 нм полимера определенного размера (2–10 мкм), так называемых «пачек» (размер вытянутых макромолекул 10–100 нм, а размер порошкообразных частиц 100–2000 нм).

Целесообразность добавления 0,05 % водного раствора анионоактивного полиакриламида Есофлос в состав закрепляющего просадочного грунта обусловлена его реологическими свойствами. Раствор имеет большую проникающую способность в сравнении с раствором на основе жидкого стекла.

Экологическая безопасность применения закрепляющего раствора с добавлением 0,05 % водного раствора анионоактивного полиакриламида Есофлос заключается в снижении загрязнения окружающей среды, сокращении энергетических затрат на регенерацию органических растворителей, а также исключение стадии растворения полимерных реагентов, использующихся, как правило, в виде водных растворов. С введением данного полимерного стабилизатора в просадочный грунт образуются химически стойкие и прочные соединения, придающие грунтовому массиву более упорядоченную структуру, с образованием первично структурного каркаса, обрастающего гидросиликатами кальция, и, в конечном итоге, создавая материал очень высокой прочности и низкой водопоглощающей способности.

Для проверки грунта на воздействие тиксотропного эффекта в лабораторных условиях можно воспользоваться установкой (рисунок 2), разработанной и запатентованной С. П. Высоцким и А. В. Писаренко [12]. Использование данной установки позволит определить и смоделировать в глинистых грунтах появления тиксотропного явления, проанализировать закономерности его возникновения и минимизировать влияние негативных факторов, возникающих в результате строительства и эксплуатации конструкций на территориях, которые подвержены тиксотропным явлениям.

Разработанный в лабораторных условиях химический состав для закрепления просадочных грунтов и повышения их структурных свойств был также проверен и в натуральных условиях. Закрепление грунта проводилось частично (не по всему периметру фундамента здания). Для исследования влияния частичного закрепления просадочного грунта на НДС конструкций было выбрано здание школы № 3 г. Мариуполя. Здание представляет собой трехэтажное бескаркасное здание коридорного типа с размерами в плане трехэтажной части основного корпуса. Для решения поставленной задачи был выбран метод конечных элементов (МКЭ) как один из наиболее распространенных, а также, обладающий такими важными свойствами, как устойчивость, сходимость и точность в решении поставленных задач. Метод широко используется для решения задач механики деформируемого твердого тела, теплообмена, гидродинамики и электродинамики.

Моделирование свойств выполнялось в соответствии с нормативными документами [13, 14]. При этом для моделируемого здания школы должны выполняться условия: максимальная осадка $S + S_{sl} < S_u = 8$ см; относительная разность осадок $\Delta S/l < 0,004$. Рассмотренные схемы просадок оснований по середине, а также частичное закрепление по высоте были просчитаны в ЛИРА-САПР 2013 [15].

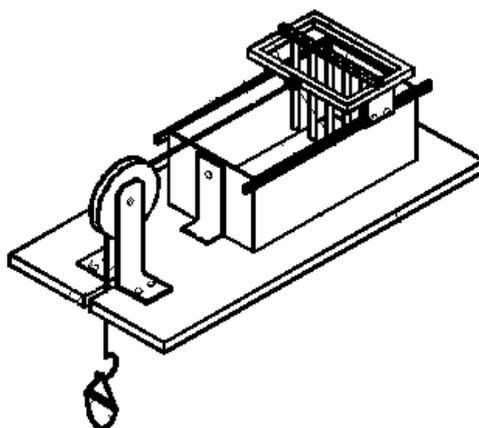


Рисунок 2 – Общий вид установки для исследования тиксотропных характеристик почв в рабочем положении

Частичное закрепление просадочного основания по высоте моделировалось изменением процентного отношения просадочного и закрепленного слоя в пределах рабочей толщи просадочного грунта (от подошвы фундамента до начала следующего непросадочного слоя).

Решая экспоненциальные уравнения для условия $S + S_{sl} < S_u = 8$ см как достаточное, получаем следующие данные (таблица 1):

Таблица 1 – Зависимость коэффициента жесткости от процента закрепления основания

№ фундамента	Необходимый процент закрепления основания, %	Достаточный коэффициент жесткости, кН/м ³
3	31,94	3948
103	7,32	2782
167	41,26	3988

По полученным данным были построены зависимости осадок и просадок ($S + S_{sl}$, м) и коэффициента жесткости основания (C_z , кН/м³) от частичного закрепления основания (рисунок 3). Графики имеют экспоненциальную зависимость просадки от процента усиления основания. При том значительные уменьшения просадок наблюдаются при усилении до 50 % основания, при дальнейшем усилении уменьшение просадок незначительно.

Изменение коэффициентов жесткости основания при частичном закреплении происходит по экспоненциальной зависимости. При том, для крайних фундаментов (3 и 167) имеют практически одинаковый степенной показатель 0,0222 и 0,0223. Для среднего фундамента экспоненциальная кривая более пологая ввиду меньшего давления под подошвой фундамента. При этом до усиления 50 % наблюдаем незначительное увеличение коэффициента жесткости – на 17 % и при усилении от 75 до 100 % наблюдается увеличение на 50 %.

Таким образом, для фундаментов среднего ряда требуемый коэффициент жесткости основания для выполнения условий просадки можно записать как

$$C_{z, sr} = 2457,2 \cdot e^{-0,017 \frac{\ln \frac{S_u}{0,0906}}{0,017}} \quad (1)$$

Упростив выражение, получим

$$C_{z, sr} = \frac{222,62}{S_u}, \text{ кН/м}^3, \quad (2)$$

где S_u – нормативное значение осадки и просадки здания или сооружения, см.

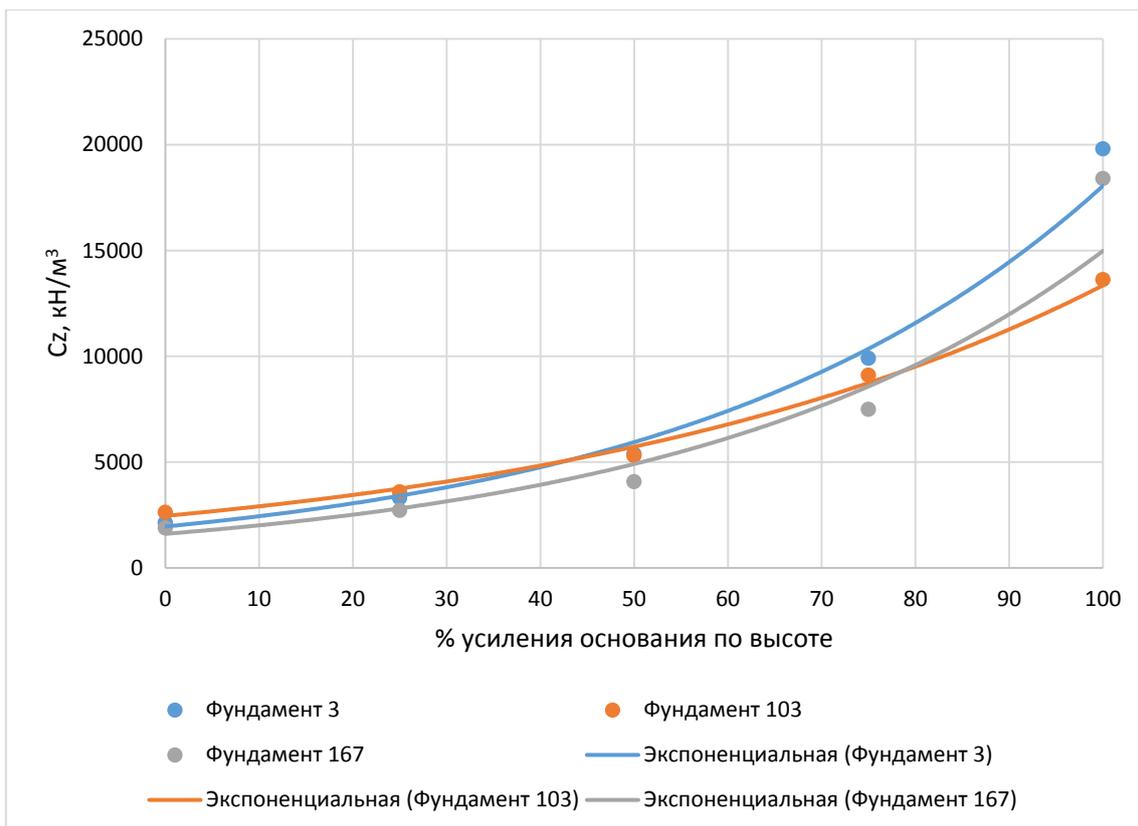


Рисунок 3 – График изменения коэффициента жесткости основания C_z для расчетных фундаментов при различных значениях закрепления основания
Для крайнего ряда по фундаменту 3:

$$C_{z,kr1} = 1955,8 \cdot e^{-0,022 \frac{\ln \frac{S_u}{0,1615}}{0,022}}; \quad (3)$$

$$C_{z,kr1} = \frac{315,86}{S_u}, \text{ кН/м}^3. \quad (4)$$

Для крайнего ряда по фундаменту 167:

$$C_{z,kr2} = 1609,2 \cdot e^{-0,022 \frac{\ln \frac{S_u}{0,1983}}{0,022}}; \quad (5)$$

$$C_{z,kr2} = \frac{319,10}{S_u}, \text{ кН/м}^3. \quad (6)$$

Приведенные выше результаты показывают работоспособность закрепляющего состава. Одним из методов повышения безопасной эксплуатации зданий и сооружений может стать установление химически устойчивого силиконового экрана, ограждающего здание или сооружение по периметру на всем участке залегания структурно-неустойчивого грунта. По результатам эксперимента раствор оптимизированного состава обладает большей текучестью (динамическая вязкость выше на 28–33 %). Жесткость грунта с закрепляющим раствором увеличивается при повышении содержания SiO_2 в растворе от 0,5 до 3 % в 8–10 раз. Одним из важнейших свойств дисперсных систем является их устойчивость. Устойчивость коллоидной

системы на основе SiO_2 характеризуется временем ее жизни в практически неизменном состоянии.

При проектировании и устройстве оснований, фундаментов, подземных и заглубленных сооружений должны быть учтены особенности экологической обстановки на участке строительства, дан прогноз ее изменения с учетом ожидаемого строительства и разработаны необходимые инженерные решения для защиты человека от вредных воздействий окружающей среды или улучшения экологической обстановки. При выборе вариантов проекта необходимо учитывать приоритетность решения экологических проблем факторы, ухудшающие условия жизни человека.

При разработке проектных решений должны быть решены, в зависимости от природных и градообразующих условий, противооползневые и водозащитные мероприятия, мероприятия по защите от проявления карста и грунтов от загрязнений, решены вопросы отвалов загрязненного грунта и сохранения растительного слоя (СНиП 2.01.15-90) [16]. При строительстве на радоноопасных площадках должна предусматриваться противорадоновая защита подземных конструкций (СНиП 22-01-95) [17].

Следует отметить, что при производстве работ должны соблюдаться правила по технике безопасности при строительных и инженерно-геологических работах, при работах на компрессионных установках, гидравлических и электротехнических установках [18]. Работы по закреплению должны выполняться строго по проекту специальной бригадой, прошедшей обучение, а также при выполнении всех необходимых подготовительных этапов. Все рабочие и служащие, занятые на инъекционных работах, должны получить на рабочем месте от мастера или производителя работ вводный инструктаж по технике безопасности.

Строительная площадка должна быть оборудована соответствующим образом, а именно: ограждены участки производства работ, защищены от ветра и осадков растворный и инъекционный агрегаты, выезд оборудован мойкой колес и организованным стоком, организован сбор строительного и производственного мусора, предусмотрено освещение в темное время суток. Химические реагенты необходимо хранить в специально отведенных местах под навесами. В складских помещениях, растворном узле и бытовых помещениях должны быть аптечки, раствор питьевой соды и питьевая вода.

Ввиду особой клейкости и вязкости раствора на основе полиакриламида необходимо уделить внимание чистоте рабочего места. Следует не допускать утечек раствора на землю и рабочие поверхности. В случае утечек поверхности необходимо зачистить, а участок земли присыпать слоем грунта толщиной 5–10 см. Рабочее место должно быть сухим и чистым, без посторонних предметов. При промывке шлангов остатки растворов, а также раствор, остающийся после чистки инъекторов, должны сбрасываться в специальную емкость, оборудованную крышкой и расположенную вне рабочей зоны. Из емкости отходы вывозят на утилизацию.

Рабочие и служащие, занятые на работах по химическому закреплению, должны быть обеспечены специальной одеждой и снабжены индивидуальными средствами защиты: непромокаемой спецодеждой и обувью (брезентовый костюм, резиновая обувь, рукавицы, каски, предохранительные пояса, защитные очки, респираторы, перчатки).

Заключение

Экологическая безопасность разработанного закрепляющего просадочный грунт раствора обусловлена реологическими свойствами 0,05 % водного раствора анионоактивного полиакриламида Eсofloc, который выстраивает силоксановый экран на границах закрепленного и незакрепленного грунта, препятствует проникновению грунтовых вод в закрепленный грунтовый массив и разрушению силоксановых структур.

В работе сформулированы основные положения моделирования свойств и получены характеристики частично закрепленного основания, сложенного просадочным грунтом, по которым была смоделирована работа существующего трехэтажного здания школы и опреде-

лены НДС его конструкций при частичном закреплении основания. Проведенный расчет показал, что при усилении основания оценка необходимого процента усиления производится исходя из фактических значений усилий, которые конструкция способна воспринять. При проектировании нового здания процент частичного закрепления необходимо определять исходя из технико-экономического обоснования по расходу материалов на конструкции и на усиление основания. Выполненная автором работа показала, что частичное закрепление грунта целесообразно проводить для решения проблемы повышения объектов строительства на просадочных грунтах с точки зрения экономических и эксплуатационных характеристик строительного производства.

Применение рецептуры химического закрепления грунтов по однорастворной двухкомпонентной технологии на основе раствора силиката натрия с добавками соляной кислоты (HCl), с последующим образованием активированной кремниевой кислоты, позволит повысить экологическую безопасность строительного производства благодаря вводу 0,05 % водного раствора анионоактивного полиакриламида Eсоfloc.

Даны рекомендации по обеспечению безопасного проведения работ частичного закрепления грунта, приведены правила по технике безопасности и охране труда рабочих на строительной площадке.

Список литературы

1. Shvets, V. B. Prognosis of Foundations Under the Load Increasing in Time and Cyclic / V. B. Shvets, V. G. Shapoval, S. P. Candzuba, S. O. Popovichenko // Theoretical Foundations in Civil Engineering. – Warsaw, 1994. – PP. 221–225.
2. Massarsch, K. R. Deformation Properties of Fine-Grained Soils From Seismic Tests. Keynote Lecture / K. R. Massarsch // International Conference on Site Characterization, ISC'2, 19–22 Sept. – 2004, Porto. – 14 p.
3. Грунтоведение / В. Т. Трофимов, В. А. Королев, Е. А. Вознесенский [и др.] ; под ред. В. Т. Трофимова. – 6-е изд., переработ, и доп. – Москва : Изд-во МГУ, 2005. – 1024 с. – ISBN 5-211-04848-2.
4. Черныш, А. С. Механика грунтов / А. С. Черныш, Н. Н. Оноприенко, А. О. Лютенко. – Белгород : Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова, ЭБС АСВ, 2013. – 129 с. – Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/57589.html> .
5. Шешеня Н. Л. Современные методы изменения свойств слабых дисперсных грунтов оснований зданий и сооружений / Н. Л. Шешеня / Вісник ОНУ. Серія: Географічні та геологічні науки. – 2013. – Т. 18, вип. 1(17) – С. 163–168.
6. Пыхтеева, Н. Ф. Механика грунтов / Н. Ф. Пыхтеева, В. В. Букша, В. И. Миронова ; под редакцией Л. Н. Аверьянова. – Саратов : Вузовское образование, 2018. – 94 с. – ISBN 978-5-4487-0305-8. – Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/77220.html> .
7. Шабанова, Н. А. Коллоидная химия нанодисперсного кремнезема / Н. А. Шабанова. – 2-е изд. – Москва : Лаборатория знаний, 2020. – 329 с. – ISBN 978-5-00101-899-5. – Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/98544.html> .
8. Машкин, Н. А. Материалы и технологии закрепления грунтовых массивов, оснований и откосов / Н. А. Машкин, В. С. Молчанов. – Новосибирск : Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин), ЭБС АСВ, 2016. – 121 с. – ISBN 978-5-7795-0807-0. – Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/68784.html> .
9. Нигматуллин, Э. Н. Обоснование механизма гелеобразования в растворах полисиликатов натрия при действии кислот / Э. Н. Нигматуллин, Х. И. Акчурин, Л. Е. Ленченкова / Нефтегазовое дело : электронный научный журнал – 2012. – № 3. – С 375–383.
10. Пимнева, Л. А. Физико-химические основы укрепления грунтов / Л. А. Пимнева. – Тюмень : Тюменский индустриальный университет, 2020. – 98 с. – ISBN 978-5-9961-2321-6. – Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/115068.html> .
11. ТУ 2414-002-74301823-2007. Полимеры акриламида полифлок : утверждено ОАО «Полифлок» : дата введения с 20 февраля 2007 г. – Ленинск-Кузнецкий, 2007. – 37 с.
12. Патент № UA 114230 U Україна, МПК G01N 3/24 (2006.01). Установка для дослідження тиксотропних характеристик ґрунтів : № u 2016 04899 : заявл. 04.05.2016 : опубл. 10.03.2017 / Висоцкий С. П., Писаренко А. В. – 5 с.
13. ДСТУ Б В.2.1-4-96. Грунти. Методи лабораторного визначення характеристик міцності і деформованості : державний стандарт України : видання офіційне : прийнятий МНТКБ 15 травня 1996 р. : введений на заміну ГОСТ 12248-78, ГОСТ 17245-79 / розроблений Державним підприємством науководослідним, проектно-вишукувальним і конструкторсько-технологічним інститутом основ і підземних споруд ім. М. М. Герсеванова. – Київ : Державний комітет України у справах містобудування і архітектури, 1997. – 107 с.

14. ДБН В.1.1-5-2000. Захист від небезпечних геологічних процесів. Будинки і споруди на підроблюваних територіях і просідаючих ґрунтах : [в 2 частинах] : видання офіційне : затверджені наказом Держбуду України від 30.12.99 р. № 314 : дата введення 2000-06-01 / розроблені НДБК Держбуду України ; КиївЗНДІЕП Держбуду України. – Київ : Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України, 2000.
15. Программный комплекс ЛИРА-САПР. 2013 / Д. А. Городецкий, М. С. Барабаш, Р. Ю. Водопьянов, В. П. Титок, А. Е. Артамонова ; под редакцией академика РААСН А. С. Городецкого – Киев–Москва : Электронное издание, 2013 г. – 376 с.
16. СНиП 2.01.15-90. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения проектирования : издание официальное : утверждено постановлением Госстроя СССР от 29 декабря 1990 г. № 118 / разработан ПНИИИСом НПО «Стройизыскания» Госстроя РСФСР. – Москва : Арендное производственное предприятие ЦИТП 1991. – 32 с.
17. СНиП 22-01-95. Геофизика опасных природных воздействий : издание официальное : приняты и введены в действие с 1 января 1996 г. в качестве норм Российской Федерации постановлением Минстроя России от 27 ноября 1995 г. № 18-100 / разработаны производственным и научно-исследовательским институтом по инженерным изысканиям в строительстве. – Москва, 1996. – 8 с.
18. СТО НОСТРОЙ 2.3.18-2011. Освоение подземного пространства. Укрепление грунтов инъекционными методами в строительстве : Национальное объединение строителей : издание официальное : утверждено и введен в действие Решением Совета Национального объединения строителей, протокол № 22 от 05.12.2011 г. : введен впервые / разработан Филиалом ОАО ЦНИИС «НИЦ «Тоннели и метрополитены». – Москва : БСТ, 2011. – 68 с.

А. В. Писаренко

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Донбасская национальная академия строительства
и архитектуры», г. Макеевка*

**Рецептура химического закрепления просадочных грунтов для повышения безопасной
эксплуатации зданий и сооружений**

Статья посвящена разработке экологически безопасного химического закрепляющего просадочные грунты состава. Выполнен анализ существующих методов увеличения жесткости таких оснований. Приведен обширный литературный обзор, посвященный увеличению жесткости и прочности просадочных грунтов. В статье дано понятие силикатирования слабых грунтов, описаны условия его применения, дана характеристика метода с точки зрения экологической безопасности. Проведенные автором лабораторные опыты показали недостатки существующих закрепляющих составов. Показано их несовершенство в скорости гелеобразования, проникающей способности, уровне загрязнения грунтового массива нераспадающимися химическими элементами и невозможности образования силоксанового экрана. Проведенные опыты показали необходимость ввода в рецептуру 0,05 % водного раствора анионоактивного полиакриламида Есофлос, как полимерного стабилизатора, для повышения экологической безопасности процесса закрепления грунта. С введением данного стабилизатора в просадочный грунт образуются химически стойкие и прочные соединения, придающие грунтовому массиву более упорядоченную структуру, с образованием первично структурного каркаса, обрастающего гидросиликатами кальция, и, в конечном итоге, создавая материал очень высокой прочности и низкой водопоглощающей способности.

Для исследования работоспособности разработанного состава был проведен натурный эксперимент частичного закрепления просадочного грунта, являющегося основанием под зданием школы № 3 г. Мариуполя. Показана важность разработки новых методов повышения надежности строительных объектов. Представлен метод частичного закрепления просадочного грунта, который моделировался по высоте изменением процентного отношения просадочного и закрепленного слоя в пределах рабочей толщи просадочного грунта. Представлены результаты численных исследований влияния коэффициента жесткости частично закрепленного грунта на НДС конструкций. Установлена закономерность изменения коэффициента жесткости основания C_z от процента частичного закрепления просадочного основания по высоте. Обоснована экологическая безопасность разработанного закрепляющего раствора, даны рекомендации по обеспечению безопасного проведения работ частичного закрепления грунта, приведены правила по технике безопасности и охране труда рабочих на строительной площадке.

БЕЗОПАСНОЕ ПРОВЕДЕНИЕ РАБОТ, ОХРАНА ТРУДА РАБОЧИХ, ПРОСАДОЧНЫЕ ГРУНТЫ, КОЭФФИЦИЕНТ ЖЕСТКОСТИ ОСНОВАНИЯ, ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЙ МЕТОД

A. V. Pisarenko
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, Makeevka
**Chemical Grouting Formulation of Subsidence Soils to Improve the Safe Operation of Buildings
and Structures**

The article is devoted to the development of an environmentally friendly chemical composition that fixes subsidence soils. The analysis of existing methods of increasing the rigidity of such bases is carried out. The extensive literature review devoted to increasing the rigidity and strength of subsidence soils is given. The article gives the concept of weak soils silication, describes the conditions of its application, characterizes the method from the point of view of the environmental safety. Laboratory experiments conducted by the author have shown the disadvantages of existing fixing compounds. Their imperfection in the rate of gelation, penetrating ability, the level of the soil mass contamination with non-decomposing chemical elements and the impossibility of forming a siloxane screen are shown. The experiments carried out showed the need to introduce a 0,05 % aqueous solution of Ecofloc anionic polyacrylamide into the formulation as a polymer stabilizer in order to increase the environmental safety of the soil stabilization process. With the introduction of this stabilizer into the subsiding soil, chemically resistant and strong compounds are formed, giving the soil mass a more ordered structure, with the formation of a primary structural framework, overgrown with calcium hydrosilicates, and, ultimately, creating a material of very high strength and low water absorption capacity.

To study the working capacity of the developed composition, a full-scale experiment was carried out for partial subsiding soil solidification, which is the base under the building of the school №. 3 in Mariupol. The importance of developing new methods to improve the reliability of construction facilities is shown. The method of partial subsiding soil solidification is presented, which was modelled in height by changing the percentage ratio of the subsidence and fixed layer within the working thickness of the subsidence soil. The results of numerical studies of the stiffness coefficient impact of partially stabilized soil on the deflected mode of structures are presented. The regularity of the change in the stiffness coefficient of the Cz base from the percentage of partial subsiding base solidification in height is established. The ecological safety of the developed fixing solution is substantiated, the recommendations are given to ensure the safe execution of partial soil fixing works, rules for safety and labour protection of workers on the construction site are given.

SAFE EXECUTION OF WORKS; LABOUR PROTECTION OF WORKERS; SUBSIDENCE SOILS, BASE STIFFNESS COEFFICIENT, PHYSICAL AND CHEMICAL METHOD

Сведения об авторе:

А. В. Писаренко

SPIN-код РИНЦ: 5472-8598

Телефон: +7 (949) 356-16-14

Эл. почта: pisarenko_av@mail.ru

Статья поступила 21.03.2023

© А. В. Писаренко, 2023

Рецензент: В. В. Лихачева, канд. техн. наук, доц., АДИ ГОУВПО «ДОННТУ»