

ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

УДК 699.8:624

А. В. Писаренко

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,
г. Макеевка

ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СООРУЖЕНИЙ В СЛОЖНЫХ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Погодные аномалии, подработка территорий и обводнение почвы под фундаментами создают угрозу разрушения зданий и сооружений. Рассмотрены методы предотвращения опасностей разрушения объектов за счет тиксотропного эффекта, возникающего в глинистых почвах. Приведены рецепты получения активированной кремниевой кислоты для создания «силоксанового каркаса».

Ключевые слова: обводнение почвы, просадки, разрушение зданий, тиксотропный эффект, силикатная обработка

Введение

Существует множество факторов, влияющих на выбор территории под строительство. Одним из наиболее значимых факторов являются инженерно-геологические условия застраиваемой территории. Инженерно-геологические условия показывают пригодность территории для ведения на ней строительства с позиций устойчивости зданий и сооружений. Они включают в себя: геологическое строение территории, физико-геологические факторы, физико-химические и механические свойства грунтов, режим грунтовых вод.

Во многих странах в последние годы в результате изменения климата происходят неблагоприятные явления, когда целые регионы затапливаются. В Донецком регионе происходит резкое повышение уровня грунтовых вод также в результате массового затопления шахт. Кроме этих двух неблагоприятных для строительных объектов факторов в указанном регионе имеют место сдвиги земной поверхности в результате подработки территорий шахтными выработками.

Сдвиги земной поверхности могут вызвать повреждение зданий и сооружений, а также ответвлений магистральных трубопроводов.

Влияние подработок на объекты различного назначения приведено в таблице 1.

Таблица 1 – Влияние подработок на объекты различного назначения

Подработанный объект	Чувствительность разных объектов к отдельным видам деформации земной поверхности				
	Просадка	Уклон	Уступы	Растяжение	Сжатие
1	2	3	4	5	6
Отдельные жилые дома	*	С	Б	С	С
Общественные здания	*	С	Б	С	С
Замкнутые ряды зданий	*	С	Б	С	Б
Здания заводских цехов	*	*	Б	С	С
Транспортные галереи	*	*	Б	С	С
Высокие дымоходы	*	Б	Б	*	*
Железные дороги	С	*	Б	С	С
Вокзалы, станции	С	М	Б	С	С

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6
Улицы, дороги, шоссе	М	*	Б	С	С
Каналы	Б	*	Б	*	*
Шлюзы	Б	С	Б	С	М
Мосты, путепроводы	С	М	Б	*	*
Магистральные трубопроводы	*	*	Б	С	С
Водопроводные сети	*	*	Б	С	С
Линии канализации	Б	*	Б	С	С
Газопроводы	М	*	Б	С	С
Подземные кабели	*	*	Б	М	С

Примечание: М – малая, С – средняя, Б – большая, * – данные отсутствуют

Анализ результатов исследований, проведенных в Донецком регионе, показал, что в зависимости от состояния несущих конструкций общественные и жилые здания могут быть разделены на четыре группы.

I группа – аварийное состояние – повреждения зданий превышают предельные, что приводит к невозможности их эксплуатации. При этом максимальное раскрытие трещин превышает 60 мм.

II группа – предаварийное состояние – повреждения зданий превышают допустимые, но меньше предельных величин, что приводит к частичному ухудшению условий их эксплуатации. При этом максимальное раскрытие трещин находится в пределах 15–60 мм.

III группа – неудовлетворительное состояние – повреждения зданий менее допустимых величин, однако они приводят к некоторым нарушениям при эксплуатации зданий. При этом максимальное раскрытие трещин составляет 3–15 мм.

IV группа – удовлетворительное состояние. При этом максимальное раскрытие трещин менее 3 мм.

В зданиях, состояние которых отнесено к I и II группе, наблюдается срез и выгиб несущих стен и блоков, кирпичной кладки, обрушение балок перекрытий на первом и втором этажах, а также расслаивание кирпичной кладки у вертикальной плоскости.

На эти виды повреждений, обусловленных подрботками территории региона, накопились повреждения, обусловленные военными действиями. При этом даже при отсутствии прямого повреждения зданий, повреждения трубопроводов водопровода и канализации приводят к обводнению почвы под фундаментами, что вызывает появление вторичных повреждений.

На большей части территории Украины залегают лёссовые грунты (65 % площади). Толщина лёссовых грунтов составляет от 3 до 35 м. Их просадочность при давлении 0,3 МПа составляет от 0,01 до 0,15. В пределах Украины макропористые лёссовые грунты подстилаются глинистыми практически водонепроницаемыми грунтами, поэтому образование водоносного слоя неизбежно. При малой остаточной влажности лёсс достаточно прочен, но с увеличением влажности он склонен к просадкам.

Все вышперечисленные факторы приводят к снижению эксплуатационной надежности зданий и сооружений [1]. Факторы, негативно влияющие на эксплуатационную надежность зданий и сооружений, представлены на рисунке 1.

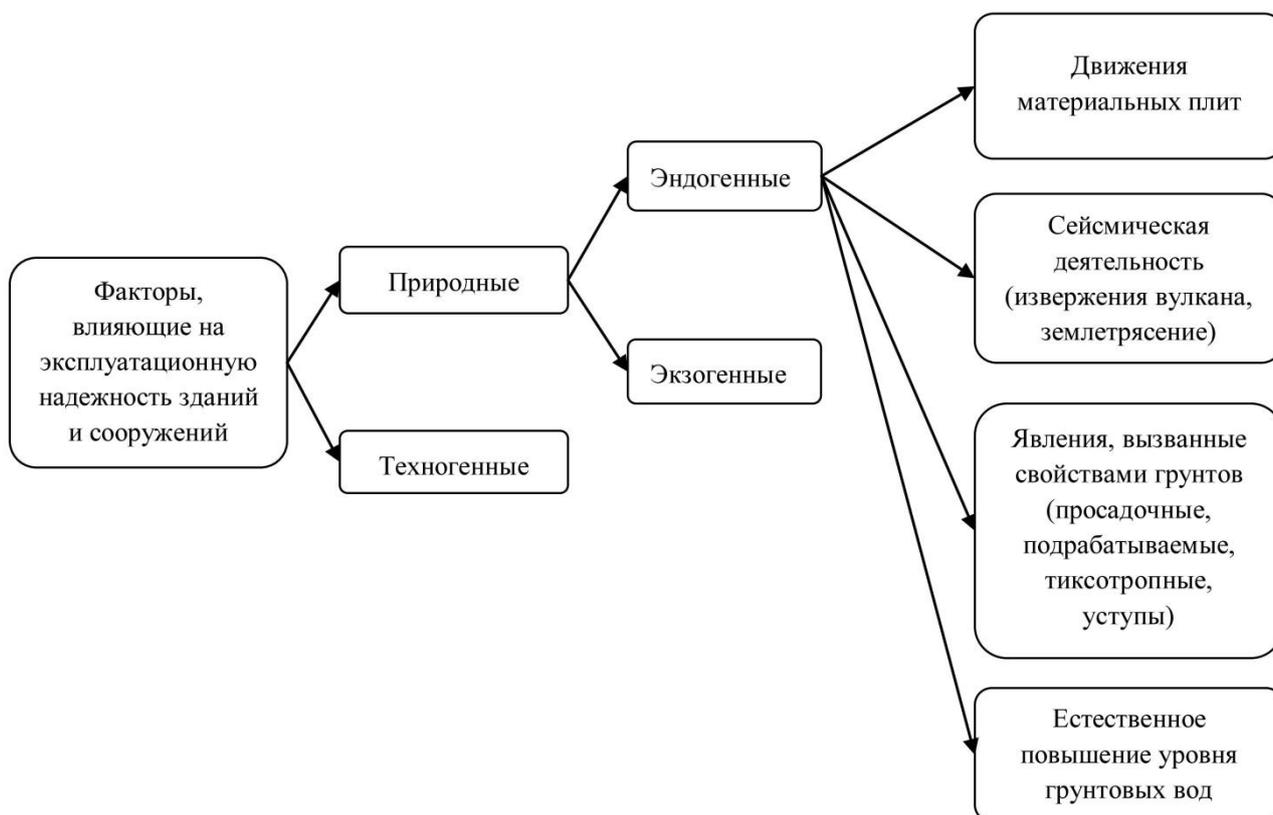


Рисунок 1 – Факторы, влияющие на эксплуатационную надежность зданий и сооружений

Цель исследования

Обоснование использования химических композиций для структурирования почв и повышения надежности эксплуатации строительных сооружений.

Основная часть

Сложные инженерно-геологические условия могут быть обусловлены следующими причинами:

– наличием подрабатываемых территорий, которые подвержены влиянию подземных горных разработок. Горные выработки образуются в районах добычи полезных ископаемых. Яркими примерами могут служить территории Донецкой, Луганской, Днепропетровской, частично Полтавской и Харьковской областей Украины, а также территории Ростовской области Российской Федерации, которые расположены в Донецком угольном бассейне. При добыче угля в пластах крутого падения на земной поверхности образуются вытянутые вдоль простирания пластов террасообразные уступы высотой до 60 см. В последнюю четверть прошлого века они стали причиной массового разрушения жилья, социальных объектов и инженерных коммуникаций городов Центрального Донбасса [2];

– наличием просадочных грунтов, которые являются пылевато-глинистыми разновидностями дисперсных осадочных минеральных грунтов (в основном лёссовых грунтов). Особенно широко они распространены в Европе и Азии. Просадочные грунты встречаются на территории юга европейской части Российской Федерации, а также на юге Западной Сибири и Украины. Характерной особенностью лёссовых просадочных грунтов является невысокая несущая способность, повышенная сжимаемость и ухудшение механических свойств при определенных воздействиях, связанных с увеличением влажности или подтоплением, а также с тектоническими действиями. Проседание грунта негативно влияет на эксплуатационную надежность зданий и сооружений, и может служить причиной конструктивных по-

вреждений зданий, объектов инфраструктуры, сельскохозяйственных земель и дренажных сетей;

– проявлением тиксотропного эффекта, который влияет на течение концентрированных дисперсных систем и при котором сдвигающая сила остается постоянной независимо от скорости сдвига. Характерной особенностью таких систем является подвижность частиц относительно друг друга и способность перемещаться под действием внешней силы.

В данной работе основное внимание направлено на рассмотрение причин возникновения и методов подавления тиксотропного эффекта.

Тиксотропные явления наиболее ярко выражены в глинистых грунтах. Присущая глинистым суспензиям специфическая особенность изменять свои свойства при взаимодействии с водой, т. е. проявлять структурную неустойчивость, негативно влияет на эксплуатационную надежность зданий и сооружений. Масштабными примерами таких явлений в Украине можно считать тиксотропные сдвиги грунта в прибрежных городах, расположенных вблизи рек, таких как Киев, Днепропетровск. Глинистые породы, по сравнению с другими породами, представляют собой наиболее динамичные системы, мобильно изменяющие свой облик на разных стадиях литогенеза и чрезвычайно восприимчивые в отношении структурно-текстурных особенностей и свойств к внешним и внутренним воздействиям. Это в первую очередь обусловлено тем, что глина представляет собой дисперсную высокопористую систему с чрезвычайно большой удельной поверхностью.

Процесс переноса количества движения (кинетической энергии) между связями, находящимися в контакте, представлен формулой:

$$\frac{F}{S} = v_{ост} \cdot v_c + \beta_m, \quad (1)$$

где F – сила;

S – площадь;

$v_{ост}$ – остаточная вязкость;

v_c – скорость сдвига;

β_m – коэффициент тиксотропии, который равен кинетической энергии, передаваемой от одного слоя другому взаимодействием частиц.

Учитывая, что частицы дисперсных систем могут перемещаться относительно друг друга под действием внешней силы, очень важно наблюдать за показателями их реологических свойств, определяемых текучестью (сыпучестью) и сопротивлением сдвигу (пределом текучести). Связь между частицами дисперсных систем обусловлена силами Ван-дер-Ваальса, имеющими молекулярную природу; когезионным взаимодействием; электрическим взаимодействием; капиллярными силами и силами механического сцепления. Предельное равновесие дисперсных систем показано на рисунке 2 [10]. Вышеописанные химические процессы, происходящие в дисперсных системах при действующих внешних нагрузках, описываются следующим уравнением:

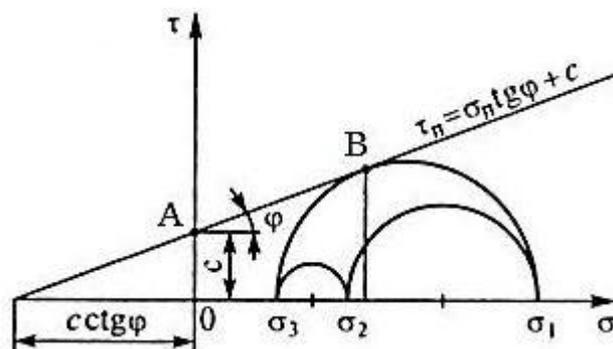
$$\tau_n = \sigma_n \cdot \operatorname{tg}\varphi + c, \quad (2)$$

где τ_n – предельное сдвигающее напряжение, МПа;

σ_n – предельное нормальное давление, МПа;

φ – угол внутреннего трения;

c – сцепление, МПа.

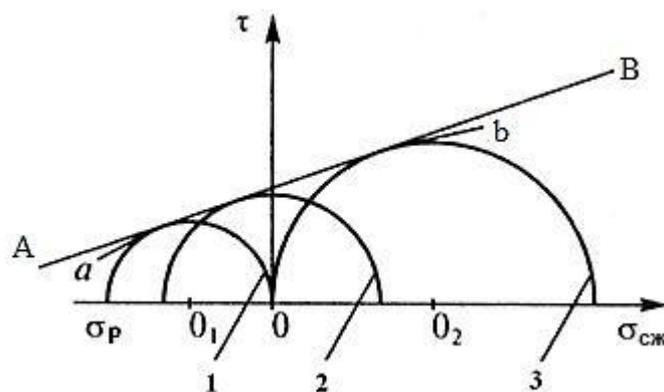


σ_1 , σ_2 и σ_3 – наибольшее, среднее и наименьшее главное напряжение

Рисунок 2 – Предельное равновесие дисперсных систем

На рисунке 2 показано, что прямая, проходящая через точки А и В, отделяет отрезок c по координате τ_n , который и является величиной сцепления частичек дисперсных систем. С помощью прямой предела текучести оценивается текучесть дисперсных систем и определяются исходные параметры. Дисперсная система ниже линии предела текучести представляет собой жидкое тело [10].

Для решения инженерных задач огибающую кривую ab обычно заменяют прямой АВ (рисунок 3).



1 – простое растяжение; 2 – чистый сдвиг; 3 – простое сжатие

Рисунок 3 – Общий вид предельных напряжений при сдвиговых воздействиях

На рисунке 3 представлены максимальные предельные напряжения, после которых происходит разрушение дисперсной системы при действии сдвиговых усилий при испытаниях образца на разрушение.

Основное направление в дисперсных системах, связанное с образованием пространственной структуры в растворах полимеров, – это управление образованием структуры и предотвращением ее разрушения. Первое направление воздействия на структурирование дисперсных систем может быть иллюстрировано формированием структуры в грунтах, особенно глинистых и песчаных с целью предотвращения фильтрации воды из оросительных каналов и прудов накопителей, а также формированием ориентированной структуры раствора или расплава полимера перед образованием волокна.

Полные реологические кривые для жидкообразных структур показывают, что у них течение начинается сразу после порогового эффекта, вслед за действием внешней нагрузки. Когда действие постоянного напряжения достигает величины, большей периода релаксации – устанавливается стационарное течение. Стационарное течение устанавливается тогда, когда время действия постоянного напряжения сдвига больше периода релаксации.

При небольшом напряжении сдвига система течет без разрушения структуры с высокой вязкостью h_0 (участок $0 - P_s$ на рисунке 4). Отмеченное на оси значение P_s , называемое

статическим напряжением сдвига, является критическим напряжением, которое необходимо для разрушения структуры, образовавшейся в системе в статических условиях. При этом в первом критическом напряжении сдвига начинается частичное обратимое разрушение структуры.

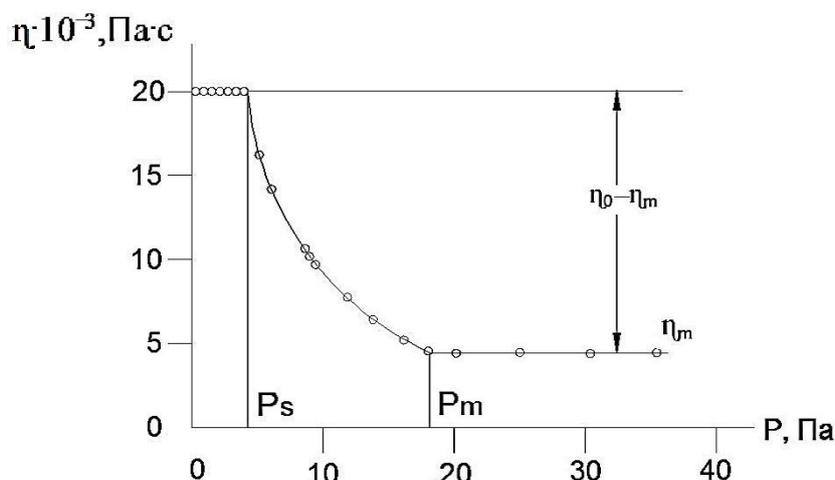


Рисунок 4 – Полная реологическая кривая течения жидкообразной структурированной системы

Следовательно, P_{sk} – то критическое напряжение сдвига, которое необходимо для полного разрушения структуры, образовавшейся в стационарных условиях. Если бы в системе не восстанавливалась обратимо тиксотропная структура, то при $P > P_{sk}$ система обладала бы свойствами истинной ньютоновской жидкости. P_m является тем необходимым напряжением, при котором наступает разрушение структуры, образовавшейся в статических условиях и восстанавливающейся в динамических. Все критические значения напряжения сдвига можно выявить только на полной реологической кривой в координатах « $\eta - P$ ». Можно отметить два значения вязкости: в области напряжений ($0 - P_s$) – вязкость, эффективная для жидкости с неразрушенной структурой, и в области $P > P_m$ – вязкость ньютоновской жидкости с полностью разрушенной структурой. В промежуточной области напряжений ($P_s - P_m$) вязкость монотонно уменьшается от величины h_0 до h_m .

При достижении критического статического напряжения сдвига P_s , необходимого для разрушения твердообразной структуры, образовавшейся в статических условиях, система начинает необратимо деформироваться, и наблюдается пластическое течение с переменной вязкостью вплоть до напряжений P_d , после чего пластическое течение происходит с постоянным динамическим (тиксотропным) восстановлением структуры. Этот участок кривой описывают уравнением Бингама и говорят о бингамовской вязкости дисперсной системы h_{min} [7].

Для решения проблемы строительства сооружений на грунтах, подверженных влиянию тиксотропного эффекта, можно обратиться к коллоидной химии и физико-химической механике. Основной задачей физико-химической механики является установление закономерностей получения материалов с заданными свойствами. Ребиндером П. А. выделены две проблемы, необходимые для решения этой задачи: изучение физико-химических закономерностей и механизма деформации и разрушения твердого тела, а также исследование процессов структурообразования в дисперсных системах [3]. Одним из основных путей целенаправленного регулирования структурно-реологических свойств слабых грунтов является использование добавок различной химической природы.

В процессе закрепления между частицами грунта возникают прочные структурные связи за счет инъектирования в грунт и последующего твердения определенных реагентов. Это обеспечивает увеличение прочности грунтов, снижение их сжимаемости, уменьшение водопроницаемости и чувствительности к изменению внешней среды. Совершенствование

метода инъекционного закрепления грунтов оснований зданий и сооружений с использованием инъекционных составов на основе местных тонкодисперсных вязких материалов обеспечит снижение затрат, трудоемкость и продолжительность работ, позволяет повысить прогнозирование качества закрепленных грунтов и эффективность их использования при решении сложных геотехнических задач. С развитием химии высокомолекулярных соединений в промышленности освоены выпуск и возможность поставок материалов, обладающих уникальными свойствами. Например, некоторые полимеры позволяют на их основе получать вязкоупругие системы, проявляющие одновременно свойства твердого тела и жидкости, что открывает возможности для появления новых технических решений. Следовательно, не вызывает сомнения актуальность разработки полимерных вязкоупругих систем, обладающих поршневым эффектом движения грунтовых масс, отличающихся псевдопластичностью, вязкоупругостью, когезионностью, способностью к самовосстановлению и уменьшению напряжений сдвига.

Одним из таких полимеров является полиакриламид (ПАА). Этот полимер $(-\text{CH}_2\text{CH}(\text{CONH}_2)-)_n$ сформирован из субэлементов акриламида. Это длинноцепной полимер, созданный для привлечения как позитивно заряженных частиц (органические углеродсодержащие материалы), так и негативно заряженных частиц (инертные материалы, такие как песок или глина). ПАА понижает вязкость структуры и обезвоживает грунт. Анионная форма ПАА с поперечными связями часто используется для улучшения почвы в строительстве, для контроля эрозии и для предотвращения загрязнения воды в близлежащих источниках и реках. ПАА является очень эффективным при снижении эрозии почвы и может повышать водную инфильтрацию в ирригационных каналах. Используется как загуститель и суспендирующий агент также в форме неразветвленной цепи.

Вышеописанные характерные свойства химических добавок (на примере ПАА) позволяют применять их в закреплении слабых грунтов, путем введения их в грунт, на основе «жидкого стекла» (коллоидный раствор силиката натрия). В зависимости от физико-химических свойств грунта используют одно- и двухкомпонентные растворы. Одноразовная силикатизация представляет собой введение в грунт гелеобразующего раствора, состоящего из двух и более компонентов с вязкостью, близкой к вязкости воды и с замедленным (заранее заданным) временем гелеобразования. При помощи инъекторов, которые размещаются в массиве грунта, нагнетается силиказоль под давлением 3–6 атмосфер. Вода, которая находится в порах грунта, вытесняется и замещается золем, который по истечении определенного времени превращается в гель. Гель закупоривает поры грунта, в результате чего грунт приобретает механическую прочность [5]. В почве создается своеобразный «силоксановый каркас».

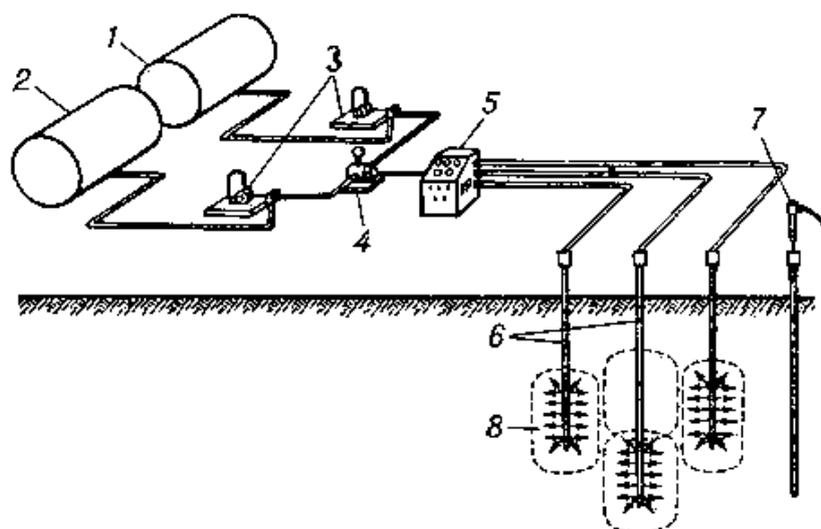
Химический процесс укрепления грунтов такими растворами осуществляется за счет силоксановых связей, которые характерны для силикатных полимеров. Эти связи являются устойчивыми по отношению к гидролизующему действию воды, вследствие чего придают грунтовому массиву твердость, жесткость и водонепроницаемость. К примеру, поликонденсация кремниевой кислоты по своему молекулярному механизму является процессом образования новой силоксановой связи $-\text{Si}-\text{O}-\text{Si}-$. Конденсация быстро развивается в сторону разветвления, удлинения и циклизации этих кремнекислородных цепей, в результате чего образуются макромолекулы коллоидных размеров. В ходе гидролиза в тонком слое интенсивно протекают процессы поликонденсации силанольных групп с образованием новых силоксановых связей, одновременно образуются поликремниевые кислоты с пространственной трехмерной структурой.

Существуют различные рецептуры активации жидкого стекла следующими растворами кислот: серной, плавиковой, фосфорной, а также сульфатом алюминия.

При одномоментной подаче химического закрепляющего состава в грунт требования к технологии подачи смеси повышаются, т. к. кислоты слишком быстро коагулируют жидкое стекло, вследствие чего затрудняется регулирование времени гелеобразования. Это неизбеж-

но приводит к увеличению вязкости раствора и снижению его текучести. Это обстоятельство требует повышения скорости подачи раствора в иньектор и увеличения давления в нем [6]. Схема расположения иньекторов в грунт приведена на рисунке 5.

Двухрастворное закрепление представляет собой последовательное нагнетание в грунт двух растворов: силиката натрия и ингибитора поликонденсации. В результате химической реакции между ними образуется гель кремниевой кислоты, придающий грунту в короткие сроки высокую прочность и водонепроницаемость. Последовательная подача компонентов в грунт позволяет получить более прочное закрепление грунтовых структур. Первый компонент без отвердителя обладает большей проникающей способностью, и процесс схватывания начинается еще до ввода отвердителя из-за взаимодействия с природными отвердителями, находящимися в самом грунте. Закрепленный таким способом грунтовый массив более однороден, чем при одномоментной подаче компонентов клея в грунт.



1 – цистерна с закрепителем; 2 – цистерна с кислотой; 3 – насосы; 4 – смеситель;
5 – пульт управления; 6 – отбойный молоток для погружения иньекторов в грунт;
7 – иньекторы; 8 – контур закрепления

Рисунок 5 – Схема установки для силикатизации грунтов

Выводы

1. Одним из самых важных факторов эксплуатационной надежности объектов строительства является инженерно-геологические условия застраиваемой территории.

2. Тиксотропный эффект негативно влияет на эксплуатационную надежность зданий и сооружений, и может служить причиной разрушения зданий, объектов инфраструктуры, газо- и водопроводов, а также дренажных коллекторов.

3. Применение своевременного закрепления грунтового массива химическими растворами способно минимизировать или полностью предотвратить негативное влияние тиксотропного эффекта на здания и сооружения.

4. Химические рецептуры, представленные в статье, способствуют увеличению прочности грунтов, снижают их сжимаемость, уменьшают водопроницаемость и чувствительность к изменению внешней среды.

Список литературы

1. Будинки і споруди на підроблюваних територіях і просідаючих ґрунтах. Ч. 1. Будинки і споруди на підроблюваних територіях : ДБН В. 1.1-5-2000. – [Чинні від 2000-07-01]. – К. : Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України, 2000.
2. Сирик, А. Г. Прогноз геометрических параметров уступов на земной поверхности при разработке свит крутых пластов в Донбассе : автореф. дис. ... канд. техн. наук / А. Г. Сирик. – Л., 1990. – 17 с.
3. Круглицкий, Н. Н. Очерки по физико-химической механике / Н. Н. Круглицкий. – К. : Наукова думка, 1988. – С. 170–194.
4. Сядук, Г. В. Реологические свойства водных растворов сверхвысокомолекулярного полиакриламида / Г. В. Сядук, Е. А. Литманович // Структура и динамика молекулярных систем. – 2003. – Ч. 1, Вып. X. – С. 184–186.
5. Гуменский, Б. М. Тиксотропия ґрунтов и ее учет при строительстве автомобильных дорог и мостов / Б. М. Гуменский, Г. Ф. Новожилов. – М. : Автотрансиздат, 1961. – 108 с.
6. Жидкое стекло в строительстве. Борьба с просадкой ґрунтов при помощи жидкого стекла [Электронный ресурс]. – 2013. – Режим доступа : <http://nasio.ru/41/>.
7. Donnan, F. Interfacial Layers Polycomplexes Synthetic Polymers / F. Donnan, H. Freundlich // Journal of the Chemical Society. – 1942. – P. 645–654.
8. Лагойский, А. И. Исследование тиксотропных изменений глинистых ґрунтов в железнодорожном земляном полотне : дис. ... канд. техн. наук / А. И. Лагойский. – Л., 1962. – 171 с.
9. Калыгин, В. Г. Промышленная экология : учеб. пособие для вузов / В. Г. Калыгин. – М. : Academia, 2004. – 431 с.

А. В. Писаренко

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, г. Макеевка
Повышение безопасности эксплуатации сооружений в сложных инженерно-геологических условиях

Представлены категории пригодности территорий под строительство зданий и сооружений. Рассмотрены наиболее значимые факторы, влияющие на выбор территории под строительство. Такими являются инженерно-геологические условия, показывающие пригодность территории для ведения на ней строительства с позиций устойчивости зданий и сооружений. Представлена характеристика просадочных ґрунтов, подрабатываемых территорий и тиксотропных явлений. Эти факторы приводят к снижению эксплуатационной надежности зданий и сооружений, могут служить причиной разрушений зданий, объектов инфраструктуры, газо- и водопроводов, а также дренажных коллекторов. Для решения проблемы строительства сооружений в сложных инженерно-геологических условиях необходимо обратиться к коллоидной химии и физико-химической механике.

Основной задачей физико-химической механики является установление закономерностей получения материалов с заданными свойствами. Представлен один из основных путей целенаправленного регулирования структурно-реологических свойств слабых ґрунтов, который основывается на использовании добавок различной химической природы (полимеров). Одним из таких полимеров является полиакриламид $(-CH_2CH(CONH_2)-)_n$. Он сформирован из субэлементов акриламида, это длинноцепной полимер, созданный для привлечения как позитивно заряженных, так и негативно заряженных частиц. Применение раствора полиакриламида на основе «жидкого стекла» (коллоидного раствора силиката натрия) позволяет закрепить слабые ґрунты путем введения их в ґрунт при помощи инъекторов. Химический процесс укрепления ґрунтов такими растворами осуществляется за счет «силоксановых связей», которые характерны для силикатных полимеров. Эти связи являются устойчивыми по отношению к гидролизующему действию воды, вследствие чего придают ґрунтовому массиву твердость, жесткость и водонепроницаемость.

ОБВОДНЕНИЕ ПОЧВЫ, ПРОСАДКИ, РАЗРУШЕНИЕ ЗДАНИЙ, ТИКСОТРОПНЫЙ ЭФФЕКТ, СИЛИКАТНАЯ ОБРАБОТКА

A. V. Pisarenko

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, Makeyevka

Safety Improvement of Construction Maintenance in Complicated Geotechnical Conditions

Suitability categories of building construction areas are introduced. The most significant factors affecting on the building area choice are considered. These are geotechnical conditions indicating area suitability for construction from the position of structures and buildings stiffness. The characteristics of ground subsidence, undermine areas and thixotropic effects are introduced. These factors lead to the reduction of structures and buildings maintainability. They can cause failure of buildings, infrastructure projects, gas-and water pipelines, and outfall pipes as well. To solve the problem of building construction in complicated geotechnical conditions it is necessary to turn to colloidal chemistry and physical-chemical mechanics.

The main task of physical-chemical mechanics is to establish laws of material obtaining with designated properties. One of the main ways of purposeful control of soft grounds structural and rheological properties is introduced. It is based on the application of additives with various chemical nature (polymers). One of these polymers is polyacrylamide. This polymer $(-\text{CH}_2\text{CH}(\text{CONH}_2)-)_n$ formed from sub elements of acrylamide is a long-chain polymer for attraction of both positively charged particles and negatively charged ones. The application of polyacrylamide solution on the basis of «liquid glass» (colloidal solution of sodium silicate) allows to fix soft grounds by its insertion in the ground with injectors. The chemical process of the soil strengthening by such solution is realized at the expense of «siloxane links» which are typical for silicate polymers. These links are stable to hydrolyzing action of water, as a result of it they add solidity, rigidity and water tightness to ground massif.

SOIL WATERING, SUBSIDENCES, FAILURE OF BUILDINGS, THIXOTROPIC EFFECT, SILICATE TREATMENT

Сведения об авторе

А. В. Писаренко

SPIN-код: 5472-8598

Телефон: +38 (099) 786-99-48

Эл. почта: pisarenko_av@mail.ru

Статья поступила 30.12.2015

© А. В. Писаренко, 2017

Рецензент: С. П. Высоцкий, д-р техн. наук, проф., АДИ ГОУВПО «ДонНТУ»