

УДК 624.131.23, 624.131.4, 624.138.4

А. В. ПИСАРЕНКО, В. И. БРАТЧУН

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

АНАЛИЗ СВОЙСТВ ЗАКРЕПЛЯЮЩЕГО РАСТВОРА НА ОСНОВЕ АКТИВНОЙ КРЕМНИЕВОЙ КИСЛОТЫ И ПОЛИАКРИЛАМИДА ДЛЯ УСИЛЕНИЯ ПРОСАДОЧНЫХ ГРУНТОВ

Аннотация. В статье рассматривается устранение просадочных свойств и улучшение механических свойств грунтов закреплением силоксановыми структурами. Выполнен подбор оптимального состава закрепляющего раствора на основе активной кремниевой кислоты и полиакриламида. Приведены характеристики показателей качества просадочного грунта при его взаимодействии с разработанным составом, а также в сравнении с жидким стеклом.

Ключевые слова: просадочные грунты, силоксановые структуры, активная кремниевая кислота.

ПОСТАНОВКА НАУЧНОЙ ПРИКЛАДНОЙ ЗАДАЧИ

Просадочные грунты широко распространены на территории России и Украины. Неравномерность деформаций основания просадочных грунтов, как правило, требует применения мероприятий, обеспечивающих нормативные условия эксплуатации строительных объектов. В соответствии с действующими нормативными документами [1, 2] одним из приоритетных направлений защиты зданий на просадочных грунтах является устранение просадочных свойств грунта его уплотнением, закреплением и т. д. Методы механического уплотнения, как правило, связаны с динамическим воздействием на грунт и соответственно имеют ограниченную область применения. В условиях плотной городской застройки, реконструкции или при восстановлении эксплуатационной пригодности поврежденных зданий гораздо большее распространение получили способы инъекционного закрепления различными растворами. При этом в указанных выше условиях имеются определенные ограничения в доступе к основанию существующих фундаментов, особенно если закрепление выполняется без остановки технологических процессов, происходящих в здании. В связи с этим актуальным является минимизация количества точек инъекций, которой можно добиться путем увеличения радиуса распространения инъекционного раствора в грунтовом массиве.

Целью работы является обоснование и разработка состава закрепляющего раствора для улучшения строительных свойств грунтов оснований, обеспечивающего большую проникающую способность по сравнению с традиционными рецептурами.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

При рассмотрении процесса инъекционного закрепления грунтов следует различать физические особенности введения и распространения инъекционных растворов в процессе нагнетания и механизма формирования закрепленного грунта. Физические особенности инъекционного процесса определяются дисперсностью и реологическими свойствами инъекционных растворов, а также характером проницаемости грунтов. Знание соответствующих параметров дает возможность с той или иной степенью достоверности определять область применения конкретного раствора, виды оборудования и технологии подготовки и введения растворов в грунт.

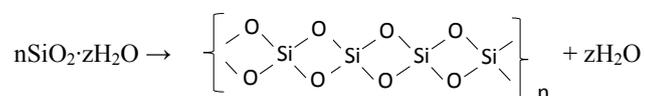
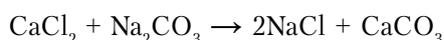
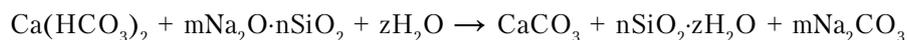
В настоящее время для закрепления просадочных грунтов, как правило, используется однорастворная или двухрастворная силикатизация, в которой в качестве основного инъекционного раствора

используется водный раствор силиката натрия или жидкого стекла ($\text{Na}_2\text{O}\cdot n\text{SiO}_2$). Раствор подается в иньектор под давлением 10–15 атмосфер на глубину до 15–20 м. При этом упрочненная зона создается вокруг иньектора радиусом 0,4–1,0 м в зависимости от коэффициента фильтрации грунта.

При обводнении грунта, обусловленном паводком, разрушением водопроводных коммуникаций, для защиты зданий и сооружений целесообразно использовать эффект Томса.

В этом случае более предпочтительно использование полимерных присадок, обеспечивающих снижение вязкости жидкости и ускорения процесса обезвоживания.

Из литературных источников [3, 4] известно применение силикатизации для закрепления слабых грунтов. Однако при использовании силикатизации следует учитывать то, что этот способ 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 очевидна необходимость наличия кислых ингредиентов. Таким образом, при закреплении грунта в паводковый период, когда исходная вода практически не содержит кислых соединений, силикатирование не обеспечит положительного эффекта.

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.

Наиболее подходящей системой, удовлетворяющей всем требованиям, является система, основанная на взаимодействии силикатов натрия с кислотой с образованием SiO_2 . В этой системе, как известно, при низких значениях pH кремнезем вначале полимеризуется до очень небольших дисперсных частиц ($d = 6\text{--}12$ нм) [5–7]. Этот процесс сопровождается заметным повышением вязкости, что обусловлено связыванием большого количества воды с поверхности частиц.

Одним из важнейших свойств дисперсных систем является их устойчивость. Устойчивость коллоидной системы на основе SiO_2 характеризуется временем ее жизни в практически неизменном состоянии. Наибольшее теоретическое и практическое значение имеет седиментационная устойчивость, которая характеризует способность системы к равномерному распределению частиц по всему объёму системы. Коллоидные системы, особенно лиозоли, имеющие частицы малого размера, обладают достаточно высокой седиментационной устойчивостью [8]. Причины седиментационной неустойчивости заключены в самих признаках коллоидного состояния системы – её гетерогенности и высокой дисперсности, что обуславливает достаточно высокое значение свободной поверхностной энергии, являющейся основной причиной неустойчивости коллоидной системы. Снижение поверхностной энергии, а значит и более устойчивое состояние системы возможно либо в результате уменьшения поверхности (коагуляция), либо при уменьшении поверхностного натяжения за счёт адсорбции третьего компонента – стабилизатора на границе раздела фаз (стабилизация). Следовательно, присутствие в системе стабилизатора может обеспечивать постоянство размера частиц и служит необходимым условием существования коллоидной системы.

Метод получения золя активной кремниевой кислоты основан на химической реакции силиката натрия (жидкого стекла) с кислотами или их солями с образованием кремниевой кислоты $\text{SiO}_2\cdot\text{H}_2\text{O}$, которая в дальнейшем полимеризуется. На начальном этапе полимеризация идет до мелких дисперсных частиц с последующим «замораживанием» активной кремниевой кислоты.

Для эксперимента принято жидкое стекло – силикат натрия $\text{Na}_2\text{O}(\text{SiO}_2)_n$ по ГОСТ 13078-81 с содержанием SiO_2 – 24,8–34 % (средний 29,4 %); Na_2O – 8,1–13,3 % (средний 10,7 %), плотностью 1,36–1,45 г/см³ (средний 1,4 г/см³); силикатный модуль $n = 2,7\text{--}3,4$ (средний 3).

В качестве активаторов приняты кислоты и соли:

- уксусная кислота CH_3COOH ;
- ортофосфорная кислота H_3PO_4 ;
- соляная кислота HCl ;
- сульфат аммония $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$;
- нитрат аммония NH_4NO_3 .

Подбор состава инъекционного раствора осуществлялся по таким критериям: время стабильности раствора (время перехода из состояния золя в гель), кинематическая вязкость раствора, доступность исходных реагентов.

Пропорции компонентов подбирались по молекулярной массе из расчета выхода в составе золя 3–9 % SiO_2 , или в концентрации «замороженного» золя – 0,5–3,0 %.

«Заморозка» активной кремниевой кислоты осуществлялась добавлением 0,05 % водного раствора анионоактивного полиакриламида Esofloc (ТУ 2414-002-74301823-2007).

В качестве закрепляющего состава был выбран золь кремниевой кислоты, полученный реакцией жидкого стекла с сульфатом аммония и содержанием оксида кремния 6 % в растворе до его «заморозки» [9]. Реакцию получения в общем виде можно представить как:



При исследовании процессов закрепления грунтов наибольшее распространение получил метод оценки глубины и скорости погружения конуса в закрепленный грунт. Однако при использовании такого метода условия эксперимента не соответствуют практическим условиям. На практике среда, в которой «работают» элементы зданий и сооружений, находится в движении. Поэтому для исследования процесса закрепления возникает необходимость создания конструкции, в которой обеспечивается возможность перемещения элементов по отношению к среде. Для этих целей была разработана и запатентована установка, представленная на рис. 1 [10].

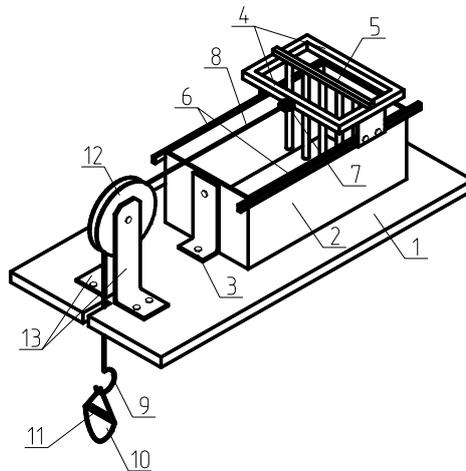


Рисунок 1 – Экспериментальная установка по оценке тиксотропных характеристик грунта: 1 – база, с размерами в плане 580×280 мм; 2 – короб с гидроизоляцией; 3 – элементы крепления; 4 – каркас; 5 – решетка (металлический прут 5 шт., диаметром 6 мм длиной 145 мм); 6 – металлические шариковые направляющие; 7 – буксировочное кольцо; 8 – металлический трос; 9 – крюк; 10 – чаша; 11 – груз; 12 – направляющий ролик; 13 – крепление ролика к базе.

Рассматривались варианты просадочного грунта при взаимодействии в разных процентных соотношениях с грунтом (15, 30, 50 %):

- с водой, как модель водонасыщенного грунта;
- с жидким стеклом;
- с раствором активной кремниевой кислоты при содержании SiO_2 – 0,5; 1,0; 2,0; 3,0 %.

При этом по полученным данным для образца определялись следующие характеристики: скорость движения V , мм/с; жесткость образца G , Н/м; количество движения K , Н·м/с; напряжение σ , Па; динамическая вязкость μ , Па·с; напряжение сдвига, Па.

Напряжение сдвига характеризует начальное напряжение, при котором происходят сдвиговые деформации в грунте. График зависимости напряжений сдвига от % содержания раствора в грунте при разных концентрациях SiO_2 в растворе приведен на рис. 2.

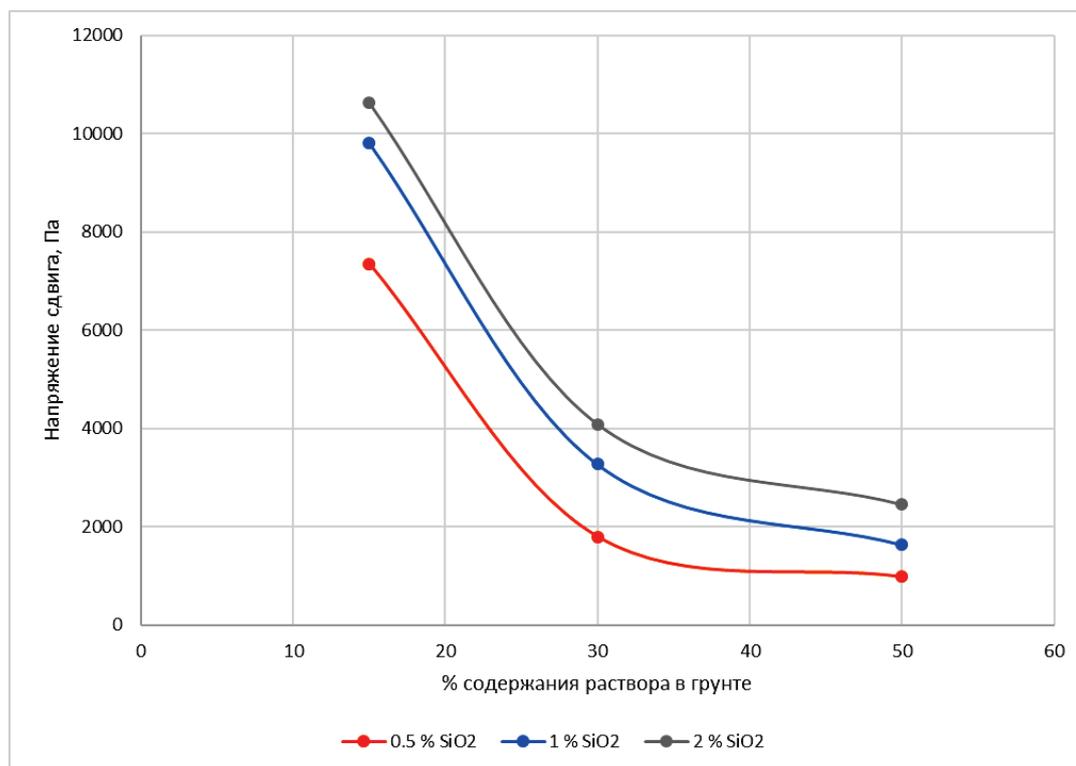


Рисунок 2 – Зависимость напряжения сдвига от % содержания раствора в грунте при разных концентрациях SiO_2 в растворе.

Из рисунка 2 видно, что напряжение сдвига при концентрации раствора в грунте выше 30 % практически не меняется и резко возрастает при снижении концентрации менее 30 %. Характерно, что при равных концентрациях растворов в грунте чем выше содержание SiO_2 , тем больше напряжение сдвига.

Установлено, что большей скоростью и меньшей вязкостью обладает грунт при водонасыщении водой (рис. 3). Раствор активной кремниевой кислоты обладает большей жесткостью по сравнению с жидким стеклом, характерно, что жесткость раствора увеличивается при увеличении содержания SiO_2 в растворе золя кремниевой кислоты.

ВЫВОДЫ

1. Выполнены экспериментальные исследования по получению золя кремниевой кислоты при различных реагентах. На основании критериев отбора разработан закрепляющий раствор на основе золя кремниевой кислоты из распространенных и доступных в производстве материалов, таких как жидкое стекло и сульфат аммония, с применением закрепляющего раствора на основе анионоактивного полиакриламида Есофлос.

2. Для определения характеристик работы закрепляющего раствора с просадочным грунтом был проведен эксперимент на разработанной для этих целей установке. 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 3,0 % в 8–10 раз.

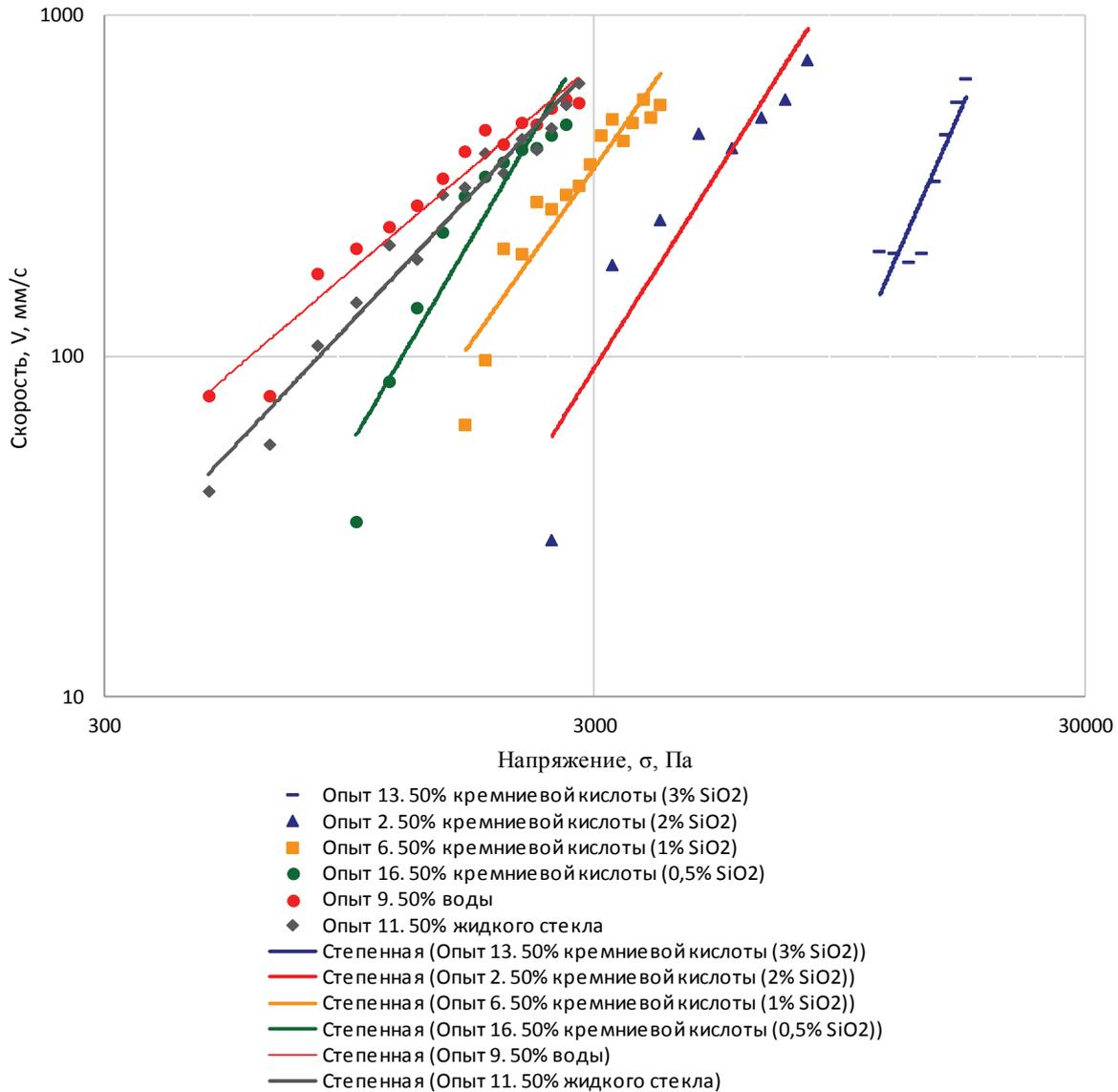


Рисунок 3 – Зависимости скорости v от напряжения σ при различных закрепляющих составах растворов в грунте при 50%-ом отношении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Shvets, V. B. Prognosis of foundations under the load increasing in time and cyclic [Текст] / V. B. Shvets, V. G. Shapoval, S. P. Candzuba, S. O. Popovichenko // Theoretical Foundations in Civil Engineering. – Warsaw, 1994. – P. 221–225.
2. Massarsch, K. R. Deformation properties of fine-grained soils from seismic tests. Keynote lecture [Текст] / K. R. Massarsch // International Conference on Site Characterization / ISC'2, 19–22 Sept. – 2004, Porto, 14 p.
3. Исаев, В. С. Особенности производства работ при газовой силикатизации грунтов [Текст] / В. С. Исаев, В. Ю. Зеленский // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1981. – № 6. – С. 87–97.
4. Мулюков, Э. И. Из опыта химического закрепления грунтов в Германии [Текст] / Э. И. Мулюков // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1975. – № 5. – С. 44–45.
5. Айлер, Р. Химия кремнезема [Текст] / Р. Айлер ; пер. с англ. Л. Т. Журавлева. – М. : Мир, 1982. – Ч. 1. – 412 с.
6. Айлер, Р. Химия кремнезема [Текст] / Р. Айлер ; пер. с англ. Л. Т. Журавлева ; Под ред. д-ра техн. наук проф. В. П. Прянишникова. – М. : Мир, 1982. – Ч. 2. – 712 с.
7. Дзисько В. А. Основы методов приготовления катализаторов [Текст] / В. А. Дзисько. – Новосибирск : Новосибирская Наука, 1983. – 263 с.
8. Урьев, Н. Б. Структурированные дисперсные системы [Текст] / Н. Б. Урьев // Соросовский образовательный журнал. – 1998. – № 6. – С. 42–47.

9. Писаренко, А. В. Метод химического закрепления просадочного грунта коллоидным раствором на основе золя кремниевой кислоты с добавлением полиакриламида [Электронный ресурс] / А. В. Писаренко, В. В. Яркин, С. П. Высоцкий // Сборник материалов международной научной конференции «Интеграция, партнерство и инновации в строительной науке и образовании» г. Москва, 16–17 ноября 2016 г. / М-во образования и науки Рос. Федерации, Моск. гос. строит. ун-т. – М. : Изд-во Моск. гос. строит. ун-та, 2017. – С. 282–286. – Режим доступа : http://mgsu.ru/resources/izdatelskaya-deyatelnost/izdaniya/izdaniya-otkr-dostupa/2017/integr_pt1.pdf. – ISBN 978-5-7264-1451-5.
10. Пат. № 114230 Украина МПК G01N 3/24. Установка для дослідження тиксотропних характеристик ґрунтів [Текст] / С. П. Высоцкий, А. В. Писаренко ; заявитель и патентообладатель С. П. Высоцкий, А. В. Писаренко ; заяв. 04.05.2016 ; опубл. 10.03.2017, Бюл. № 5. – 10 с.

Получено 09.01.2017

А. В. ПИСАРЕНКО, В. І. БРАТЧУН
АНАЛІЗ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЗАКРІПЛЮВАЛЬНОГО РОЗЧИНУ НА ОСНОВІ
АКТИВНОЇ КРЕМНІЄВОЇ КИСЛОТИ І ПОЛІАКРИЛАМІДУ ДЛЯ
ПОСИЛЕННЯ ПРОСАДНИХ ҐРУНТІВ
ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. У статті розглядається усунення просадних властивостей і поліпшення механічних властивостей ґрунтів закріпленням силосановими структурами. Виконано підбір оптимального складу закріплювального розчину на основі активної кремнієвої кислоти і поліакриламід. Наведено характеристики показників якості просадного ґрунту при його взаємодії з розробленим складом, а також в порівнянні з рідким склом.

Ключові слова: просадні ґрунти, силосанові структури, активна кремнієва кислота.

ANASTASIYA PISARENKO, VALERY BRATCHUN
ANALYSIS OF THE PROPERTIES OF A FIXING SOLUTION BASED ON ACTIVE
SILICIC ACID AND POLYACRYLAMIDE FOR STRENGTHENING SUBSIDENCE
SOILS
Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture

Annotation. The article deals with the elimination of subsidence properties and the improvement of the mechanical properties of soils by fixing siloxane structures. The optimal composition of the fixing solution based on active silicic acid and polyacrylamide was selected. The characteristics of the quality indicators of the subsidence soil during its interaction with the developed composition as well as in comparison with liquid glass are given.

Key words: subsidence ground, siloxane structures, active silicic acid.

Писаренко Анастасія Валеріївна – асистент кафедри техносферної безпеки ГОУ ВПО «Донбасська національна академія будівництва і архітектури». Научні інтереси: дослідження напружено-деформованого стану споруд на просадочних ґрунтах.

Братчун Валерій Іванович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автомобільних доріг і аеродромів ГОУ ВПО «Донбасська національна академія будівництва і архітектури». Научні інтереси: фізико-хімічна механіка технологічних і довговічних дорожніх бетонів для будівництва конструктивних шарів нежестких дорожніх одягів на основі модифіцированих органічних вяжучих і комплексного модифіцирования структури бетонів; розробка ефективних технологій переробки техногенного сировини в компоненти композиційних матеріалів.

Писаренко Анастасія Валеріївна – асистент кафедри техносферної безпеки ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: дослідження напружено-деформованого стану будівель і споруд на просадочних ґрунтах.

Братчун Валерій Іванович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автомобільних доріг і аеродромів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: фізико-хімічна механіка технологічних і довговічних дорожніх бетонів для будівництва конструктивних шарів нежестких дорожніх одягів

на основі модифікованих органічних в'язучих і комплексного модифікування структури бетонів; розробка ефективних технологій переробки техногенної сировини в компоненти композиційних матеріалів.

Pisarenko Anastasia – assistant, Safety Technospheric Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: research of the stress-strain state of buildings and structures on subsidence grounds.

Bratchun Valery – D.Sc. (Eng.), Professor, the Head of the Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: physical and chemical mechanics of technological and lasting road concretes for building of structural layers of non-rigid road coats on the basis of modification of organic astringent and complex microstructure modification of concretes; elaboration of effective technologies of processing of technogenous raw material in to the components of compositional materials.