

УДК 624.131.37

**Сағыбекова Акмарал Оразбековна**

Кандидат технических наук, ассоциированный профессор, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова)  
e-mail: [SAO-81@mail.ru](mailto:SAO-81@mail.ru)

**Абиев Бакытжан Абылкасымович**

Кандидат технических наук, ассоциированный профессор, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова)

**Белов Алексей Геннадьевич**

Кандидат технических наук, ассоциированный профессор, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова)

**Ахметжанова Кунсулу Моташевна**

магистр технических наук, старший преподаватель, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова

**Нурахова Акмарал Куанышбаевна**

магистр технических наук, старший преподаватель, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова  
e-mail: [SAO-81@mail.ru](mailto:SAO-81@mail.ru)

**ИНЪЕКЦИОННЫЕ СПОСОБЫ УСИЛЕНИЯ ГРУНТОВ  
ОСНОВАНИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ В ГОРОДСКИХ УСЛОВИЯХ**

*Мақалада қалыпты кернеулердің амплитудасының өзгеруін ескере отырып, сазды топырақтардың беріктік параметрлерінің есептелген және тәжірибелік мәндерін салыстыру нәтижелері келтірілген.*

*Топырақ негізінің беріктігі топырақтың ығысуға төзімділігімен сипатталады.*

*Түйінді сөздер:* жасанды құрылымдар, есептеу, ішкі үйкеліс бұрышы, сипаттамалары

*В статье приводятся результаты сравнения расчетных и экспериментальных значений параметров прочности глинистых грунтов с учетом амплитудных изменений нормальных напряжений.*

*Прочность грунтов оснований характеризуется сопротивлением грунтов сдвигу.*

*Ключевые слова:* искусственные сооружения, расчет, угол внутреннего трения, характеристики

*The article presents the results of comparing the calculated and experimental values of the strength parameters of clay soils taking into account the amplitude changes of normal stresses.*

*The resistance of the soil to shear characterizes the strength of the soil base.*

*Keywords:* artificial construction, calculation, angle of internal friction, characteristics

Строительство подземных сооружений в стеснённых условиях современного города в подавляющем большинстве случаев сопровождается мероприятиями по обеспечению устойчивости грунтового массива, а так же прилегающих зданий, подземных сооружений, коллекторов инженерных коммуникаций и т.п. Эти работы включают в себя как специальные способы подземного строительства, так и методы усиления фундаментов прилегающих зданий.

Специальные способы подземного строительства используются при необходимости выполнения строительных работ в сложных инженерно-геологических условиях: в водоносных, рыхлых, неустойчивых песчаных и глинистых грунтах, в пльвунах и мягких пластичных глинах. По условиям пересечения водонасыщенных

грунтов все специальные способы работ подразделяются на три группы:

- строительство с применением способов разработки водонасыщенных грунтов, не требующих изменения их физико-механических свойств (опускные колодцы, стена в грунте и т.п.);

- строительство с применением способов, снижающих подвижность водонасыщенных грунтов на период строительства (кессоны, водопонижение, замораживание);

- закрепление грунтов инъекцией.

Выбор способа водопонижения и закрепления определяется инженерно-геологическими и гидрогеологическими условиями. Обобщённые характеристики специальных способов строительства и ориентировочная область их применения приведены в [1].

К достоинствам инъекционных способов усиления грунтов основания относятся: высокая степень механизации всех технологических операций, возможность закрепления грунтов до заданных параметров в их естественном сложении, относительно малая трудоёмкость и стоимость по сравнению с другими способами.

Сущность способа закрепления грунта инъекцией заключается в пропитке пор грунта или заполнении трещин и пустот в массиве горных пород раствором, который, затвердевая со временем, повышает механические свойства грунта (породы) и снижает его водопроницаемость. Для этого в грунте бурятся скважины, через которые в массив нагнетают химический или цементационно-тампажный раствор, распространяющийся на определённое расстояние от скважины и заполняющий собой поры и трещины. После затвердевания раствора повышаются прочность и водонепроницаемость массива, что позволяет вести строительные работы в достаточно благоприятных инженерно-геологических условиях.

В промышленном и гражданском строительстве инъекционное закрепление грунтов применяется для:

– усиления оснований фундаментов как вновь строящихся, так и существующих зданий и сооружений;

– устройства защитных стен и иных подземных конструкций из закреплённых грунтов в качестве мероприятий против подвижек грунта при горных выработках;

– устройства подпорных стенок и укрепления откосов при вскрытии строительных котлованов и других открытых выработках;

– повышение несущей способности свай и других опор.

Выбор раствора для инъекционного закрепления основывается на характеристиках проницаемости грунтового массива. Для скальных и полускальных трещиноватых горных пород этими характеристиками являются ширина раскрытия трещин и удельное водопоглощение; для нецементированных глинистых грунтов, песков и супесей – это коэффициент фильтрации, минералогический состав грунта, химический состав грунтовых вод и степень дисперсности инъекционного раствора. Классификация инъекционных способов закрепления грунтов и их область применения приводятся в таблице 1.

Таблица 1 - Классификация инъекционных способов закрепления грунтов

Способ закрепления	Вид грунтов	Природная степень влажности	Коэффициент фильтрации, м/сут
Силикатизация	Просадочные лёссы, лёссовидные и некоторые виды покровных суглинков	Не более 0,7	Не менее 0,2
	Песчаные	Независимо от влажности	0,5-80
Смолизация	Песчаные	Независимо от влажности	0,5-50
Цементация	Пустоты большого размера, трещиноватые скальные, крупнообломочные и гравелистые песчаные	–	Для скальных 0,01 Для нескальных 50
Буромесительное закрепление	Илы, а также сопутствующие им глины и суглинки мягкопластичной, текучепластичной, текучей консистенции, рыхлые и средней плотности пески	–	Независимо от водопроницаемости
Термическое закрепление	Просадочные лёссы и лёссовидные суглинки, непросадочные суглинки и глины	Не более 0,5	Независимо от водопроницаемости

Способ двухрастворной силикатизации был разработан и применён Б.А. Ржаницыным [2] на строительстве первой очереди Московского метрополитена. При проходке тоннелей требовалось укрепление оснований фундаментов зданий и сооружений по трассе метрополитена. Цементацию песчаных грунтов в данном случае применить было невозможно, так как нагнетаемый цементный раствор не пропитывал грунт, а создавал в нём разрывы. поэтому был предложен способ двухрастворной силикатизации, сущность которого состояла в том, что через забитую в песчаный грунт перфорированную трубу-инъектор поочерёдно нагнетались химические растворы силиката натрия и хлористого кальция. В результате химической реакции между ними в порах грунта образовывался гидрогель кремниевой кислоты и грунт быстро и прочно закреплялся и становился водонепроницаемым. Прочность песчаного грунта, закреплённого двухрастворной силикатизацией, составляет 1÷10 МПа и не снижается под воздействием агрессивных подземных вод.

Двухрастворная силикатизация применяется для закрепления крупного и средней крупности песка с коэффициентом фильтрации не менее 5 м/сут.

Для закрепления мелких песков и супесей применяется однорастворная силикатизация, отличающаяся от двухрастворной тем, что используется слабоконцентрированный маловязкий силикатный раствор. Его отверждение в строго заданное время производится добавкой химических реагентов (отвердителей) [3].

Однорастворная силикатизация лёссовых грунтов применяется для закрепления просадочных грунтов, обладающих водонепроницаемостью более 0,2 м/сут и степенью влажности не более 0,7. В более влажных лёссовых грунтах применяется *газовая силикатизация*, сущность которой заключается в том, что в грунт, подлежащий закреплению, через специальные скважины и инъекторы последовательно нагнетают углекислый газ, раствор силиката натрия и вторично углекислый газ. После такой обработки грунты приобретают прочность, водоустойчивость и водонепроницаемость.

В таблице 2 приведена классификация способов однорастворной силикатизации в зависимости от вида и коэффициента

фильтрации грунтов с экстремальными и средними значениями прочности закрепления при одноосном сжатии.

*Способ однорастворной силикатизации* применяется в тех случаях, когда необходимо устройство водонепроницаемой завесы небольшой прочности в просадочных лёссовых грунтах и супесях с коэффициентом фильтрации менее 2 м/сут. Существует несколько рецептур однорастворного способа силикатизации, основанных на создании гелеобразующих растворов с малой вязкостью, которая должна сохраняться в течении всего времени нагнетания раствора в грунт. Продолжительность нагнетания зависит от проницаемости грунта в зоне распространения раствора, поэтому растворы должны обладать регулируемым временем гелеобразования. За время гелеобразования принимается период между моментом окончания введения отвердителя в основной раствор и моментом перехода смеси из жидкого состояния в желеобразное. Кроме этого закрепляющие растворы должны придавать грунту связность и некоторую прочность. Этим требования удовлетворяют силиказоли – однородные растворы, которые получают в результате смешения раствора силиката натрия (основного раствора) и коагулянта (раствора-отвердителя). На время гелеобразования влияют концентрация растворов силиката натрия и отвердителя, их температура и количество отвердителя. Силиказоли, инъецированные в грунт, заполняют его поры и через заданное время образуют гель кремниевой кислоты, цементирующей грунт. Грунт, закреплённый такими растворами, практически водонепроницаем, достаточно прочен и долговечен в агрессивных средах.

В настоящее время наиболее часто используют три рецептуры однорастворной силикатизации, которые применяют для закрепления супесей и просадочных лёссовых грунтов с коэффициентом фильтрации от 0,2 до 2 м/сут.

*Однорастворная однокомпонентная рецептура.* Применяется для закрепления лёссовых грунтов, отличающихся высокой химической активностью с использованием в качестве реагента раствор силиката натрия без отвердителя.

*Силикатно-кремнефтористоводородная рецептура.* В качестве отвердителя силикатного раствора в этой рецептуре

используется кремнефтористоводородная кислота. Специфической особенностью этой кислоты является её способность растворять металлы, особенно чугун, поэтому при её использовании рекомендуется использовать ёмкости из нержавеющей стали или ёмкости со специальным покрытием.

Основным преимуществом этой рецептуры являются; большой выход геля кремниевой кислоты, что способствует полимеризации силикатных растворов и упрочняет гель, а также то, что количество кремнефтористоводородной кислоты в 8÷10 раз меньше количества раствора силиката натрия, что даёт существенную экономическую выгоду.

Данная рецептура предназначена для прочного закрепления грунтов и позволяет закреплять грунты с широким диапазоном прочности: от 0,5 до 3,5 МПа.

Для прочного закрепления используются растворы повышенной плотности: 1,3 г/см<sup>3</sup> для силиката натрия и 1,13 – для кислоты. В течение первых 24 часов прочность грунта достигает 1,5 МПа, а через 28 суток – 3,5 МПа. Использование рецептуры с растворами

пониженной плотности (1,04 г/см<sup>3</sup> для силиката натрия и 1,037 для кислоты) даёт прочность порядка 0,25 МПа.

*Газовая силикатизация.* Сущность способа заключается в последовательном нагнетании в грунт через инъекторы или специально оборудованные скважины раствора силиката натрия и углекислого газа, в результате чего грунт приобретает прочность и водоустойчивость. Способ применяется для закрепления лёссовых просадочных грунтов и супесей с коэффициентом фильтрации не менее 0,2 м/сут. При этом происходит увеличение объёма закреплённого массива по сравнению с однорастворной силикатизацией на 25÷75%. На закрепление 1 м<sup>3</sup> расходуется 4 кг углекислого газа.

Эффективность закрепления грунта повышается в результате его активации путём предварительной обработки углекислым газом. Активация грунта вызывает подкисление грунтовой воды с замещением воздуха и поровой воды на углекислый газ с образованием трёхфазной системы.

Таблица 2 - Классификация способов однорастворной силикатизации грунтов

Инъекционные способы и исходные химические реагенты	Реакция среды закрепляющих реагентов	Номенклатура и некоторые характеристики грунтов	Коэффициент фильтрации грунтов, м/сут	Экстремальные и средние значения прочности закрепления при одноосном сжатии, МПа
Однорастворная двухкомпонентная силикатизация на основе растворов силиката натрия и кремнефтористоводородной кислоты	Щелочная	Пески средней крупности, мелкие и пылеватые, в том числе карбонатные	0,5-20	1-5/3
Однорастворная однокомпонентная силикатизация просадочных грунтов на основе одного раствора силиката натрия	Щелочная	Просадочные лёссовые грунты, обладающие ёмкостью поглощения не менее 10 мг/экв на 100 г сухого грунта	Не менее 0,2	0,5-3,5/2
Газовая силикатизация на основе силиката натрия	Щелочная	То же но степень влажности не	Не менее	0,5-3,5/2

и углекислого газа		более 0,75	0,2	
Однорастворная двухкомпонентная силикатизация на основе раствора силиката натрия и кремнефтористоводородной кислоты	Щелочная	То же	0,5-26	1-3/2
Однорастворная двухкомпонентная силикатизация на основе растворов силиката натрия и ортофосфорной кислоты	Кислая	Пески средней крупности, мелкие и пылеватые	0,5-10	0,2-0,5/0,35
Однорастворная двухкомпонентная силикатизация на основе растворов силиката натрия и алюмината натрия	Щелочная	Пески средней крупности, мелкие и пылеватые, в том числе карбонатные	0,5-10	0,2-0,3/0,25

Окончательное отверждение раствора силиката натрия происходит при вторичном нагнетании углекислого газа, что приводит к образованию более прочного геля кремниевой кислоты и более прочному закреплению. Ещё одним фактором, улучшающим качество закрепления, является самоуплотнение грунта, возникающие при взаимодействии предварительно закаченного газа с силикатом натрия. Вытеснение части раствора к периферии с одновременным его отверждением увеличивает радиус закрепления. При применении этого способа

прочность закреплённого грунта составляет от 0,5 до 3,5 МПа.

Выводы: Для 70 % территории грунтовых условий г. Алматы наиболее целесообразны следующие способы инъекционного закрепления грунтов:

- однорастворная однокомпонентная силикатизация просадочных грунтов на основе одного раствора силиката натрия;
- газовая силикатизация на основе силиката натрия и углекислого газа;
- однорастворная двухкомпонентная силикатизация на основе раствора силиката натрия и кремнефтористоводородной кислоты.

#### Источники:

1. Цай Т.Н., Талалай А.Л., Сорокин В.В. и др. Методические рекомендации по проектированию организации строительства заглублённых частей объектов в сложных условиях. – М.: НИИОУС при МИСИ им. В.В. Куйбышева, 1984 г.
2. Ржаницын Б.А. Химическое закрепление грунтов в строительстве. – М.: Стройиздат, 1986 г.
3. Конюхов Д.С. Строительство городских подземных сооружений мелкого заложения. – М.: Архитектура-С, 2005 г.
4. Сағыбекова А. Обоснование применения и определения качественных свойств крупнообломочных грунтов // Вестник Казахского гуманитарно-юридического инновационного университета № 3 (43). - 2019 г.
5. Сағыбекова А.О., Наурузбаев К.А., Жанакова Р.К., Абиев Б.А. Практическое использование полученных результатов испытания крупнообломочных грунтов в строительстве // Вестник Казахского гуманитарно-юридического инновационного университета № 3 (43). - 2019 г.

#### Сағыбекова Акмарал Оразбековна

**Лауазымы:** техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Л.Б. Гончаров атындағы Қазақ автомобиль-жол институті (Қазади), «Көлік құрылысы және құрылыс материалдарының өндірісі» кафедрасының доценті

**Пошталық мекен-жайы:** 050000, Қазақстан Республикасы, Алматы қ., Райымбек даңғылы, 415 В

**Ұялы. тел:** +7 7477148124

#### Абиев Бакытжан Абылкасымович

**Лауазымы:** техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Л.Б. Гончаров атындағы Қазақ автомобиль-жол институті (Қазади), «Көлік құрылысы және құрылыс материалдарының өндірісі» кафедрасы

**Пошталық мекен-жайы:** 050000, Қазақстан Республикасы, Алматы қ., Райымбек даңғылы, 415 В

**Белов Алексей Геннадьевич**

**Лауазымы:** техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Л.Б. Гончаров атындағы Қазақ автомобил-жол институті (Қазади), «Көлік құрылысы және құрылыс материалдарының өндірісі» кафедрасы

**Пошталық мекен-жайы:** 050000, Қазақстан Республикасы, Алматы қ., Райымбек даңғылы, 415 В

**Ахметжанова Кунсулу Моташевна**

**Лауазымы:** техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Л.Б. Гончаров атындағы Қазақ автомобил-жол институті (Қазади), «Көлік құрылысы және құрылыс материалдарының өндірісі» кафедрасы

**Пошталық мекен-жайы:** 050000, Қазақстан Республикасы, Алматы қ., Райымбек даңғылы, 415 В

**Нурахова Акмарал Куанышбаевна**

**Лауазымы:** техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Л.Б. Гончаров атындағы Қазақ автомобил-жол институті (Қазади), «Көлік құрылысы және құрылыс материалдарының өндірісі» кафедрасы

**Пошталық мекен-жайы:** 050000, Қазақстан Республикасы, Алматы қ., Райымбек даңғылы, 415 В

**Қалалық жағдайында ғимараттар мен имараттар негіздерінің топырақтарын егу тәсілдерімен күшейту**

**Сағыбекова Акмарал Оразбековна**

**Должность:** кандидат технических наук, ассоциированный профессор, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, доцент кафедры «Транспортное строительство и производство строительных материалов»

**Почтовый адрес:** 050000, Республика Казахстан, г. Алматы, проспект Райымбека, 415В

**сот. тел:** +7 7477148124

**Абиев Бакытжан Абылкасымович**

**Должность:** кандидат технических наук, ассоциированный профессор, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, доцент кафедры «Транспортное строительство и производство строительных материалов»

**Почтовый адрес:** 050000, Республика Казахстан, г. Алматы, проспект Райымбека, 415В

**Белов Алексей Геннадьевич**

**Должность:** кандидат технических наук, ассоциированный профессор, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, доцент кафедры «Транспортное строительство и производство строительных материалов»

**Почтовый адрес:** 050000, Республика Казахстан, г. Алматы, проспект Райымбека, 415В

**Ахметжанова Кунсулу Моташевна**

**Должность:** кандидат технических наук, ассоциированный профессор, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, доцент кафедры «Транспортное строительство и производство строительных материалов»

**Почтовый адрес:** 050000, Республика Казахстан, г. Алматы, проспект Райымбека, 415В

**Нурахова Акмарал Куанышбаевна**

**Должность:** кандидат технических наук, ассоциированный профессор, Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б. Гончарова, доцент кафедры «Транспортное строительство и производство строительных материалов»

**Почтовый адрес:** 050000, Республика Казахстан, г. Алматы, проспект Райымбека, 415В

**Инъекционные способы усиления грунтов оснований зданий и сооружений в городских условиях**

**Sagybekova Akmaral Orazbekovna**

**Position:** Candidate of technical Sciences, Associate professor of the department of “Transport construction and production of building materials”, Kazakh automobile and road Institute. L. B. Goncharova

Postal address: 415b Raiymbek Avenue, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan

**Mob.phone:** +7 7477148124

**Abiev Bakytzhan Abylkasymovich**

Candidate of technical Sciences, Associate professor

**Position:** Candidate of technical Sciences, Associate professor of the department of “Transport construction and production of building materials”, Kazakh automobile and road Institute. L. B. Goncharova

Postal address: 415b Raiymbek Avenue, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan

**Belov Alexey Gennadievich**

Candidate of technical Sciences, Associate professor

**Position:** Candidate of technical Sciences, Associate professor of the department of “Transport construction and production of building materials”, Kazakh automobile and road Institute. L. B. Goncharova

Postal address: 415b Raiymbek Avenue, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan

**Akhmetzhanova Kunsulu Motachevna**

Candidate of technical Sciences, Associate professor

**Position:** Candidate of technical Sciences, Associate professor of the department of “Transport construction and production of building materials”, Kazakh automobile and road Institute. L. B. Goncharova

Postal address: 415b Raiymbek Avenue, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan

**Nurakhova Akmaral Kuanichbaevna**

Candidate of technical Sciences, Associate professor

**Position:** Candidate of technical Sciences, Associate professor of the department of “Transport construction and production of building materials”, Kazakh automobile and road Institute. L. B. Goncharova

Postal address: 415b Raiymbek Avenue, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan

**Injection methods for strengthening soils of buildings and constructions foundations in urban areas**