

А.Ж. Жусупбеков¹, А.С. Монтаева¹, Б.Т. Шакешев^{2*}, К.А. Нариков³

¹ Евразийский Национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

² Западно-Казахстанский инновационно-технологический университет, Уральск, Казахстан

³ Западно-Казахстанский аграрно-технический университет им. Жангир хана, Уральск, Казахстан

Информация об авторах:

Монтаева Айнур Сарсенбековна – докторант, Евразийский Национальный университет имени Л.Н.Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0001-9536-3442>, email: asmontay@gmail.com

Жусупбеков Аскар Жагпарович – доктор технических наук, профессор, Евразийский Национальный университет имени Л.Н.Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0003-2229-1059>, email: astana-geostroi@mail.ru

Шакешев Бекбулат Темержанович – кандидат технических наук, Западно-Казахстанский инновационно-технологический университет, Уральск, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0001-7470-9221>, email: bekshakeshev@mail.ru

Нариков Канат Амангелдиевич – кандидат технических наук, Западно-Казахстанский аграрно-технический университет им. Жангир хана, Уральск, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0001-6459-140X>, email: knarik1969@mail.ru

ПРИМЕНЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ХИМИЧЕСКИХ РЕАГЕНТОВ В ПРОЦЕССЕ ЛОКАЛЬНОГО ОТТАИВАНИЯ СЕЗОННОМЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ

Аннотация. *Изложены результаты научно-экспериментальных работ по исследованию влияния негашеной извести в составе химического реагента на глубину оттаивания в сезонно мёрзлых грунтах в местах забивки свайных фундаментов. Предлагаемая технология обеспечивает забивку свайных фундаментов без предварительного бурения сезонно-мерзлого грунта, и использовать маломощные агрегаты для забивки свай.*

Ключевые слова: *свай, фундамент, химический реагент, негашёная известь, грунт, мерзлый грунт, оттаивание грунта, глубина промерзания.*

Одним из самых сложных и ответственных этапов строительства многоэтажных зданий является устройство фундамента. Для подобных зданий чаще всего применяются свайные фундаменты в связи с их высокой несущей способностью и экономичностью. Но в процессе устройства свайного фундамента строители зачастую сталкиваются с рядом проблем, для решения которых необходим комплексный подход и немалый опыт ведения свайных работ. Одной из наиболее часто встречающихся проблем является погружения свай в мерзлые грунты при их сезонном промерзании.

Необходимость круглогодичного возведения зданий и сооружений требовала от строителей вести свайные работы при отрицательных температурах и в мерзлых грунтах.

Погружение свай в мерзлые грунты может осуществляться без проведения подготовительных мероприятий и с проведением подготовительных мероприятий, связанных с подготовкой грунта для последующего погружения свай.

Предварительная подготовка мерзлого грунта позволяет значительно ускорить производство работ, повышает точность погружения свай в плане.

Выполнение подготовительных мероприятий вызывает увеличение стоимости и трудоемкости свайных работ в пределах 10-30%.

Поэтому необходимы новые технологические решения по устройству фундаментов в зимнее время, с целью обеспечения непрерывности строительно-монтажных работ.

В настоящее время очень часто при строительстве зданий и сооружений применяются свайные фундаменты в связи с их высокой несущей способностью и экономичностью.

В северных, восточных и западных регионах Казахстана одной из наиболее часто встречающихся проблем является погружения свай в мёрзлые грунты при их сезонном промерзании. Дело в том, что сезонно мёрзлые грунты в ненарушенном состоянии обладают высокой прочностью (в пределах от 10 до 40 кг/см² при -10°C).

Следует особо отметить, что одним из важных проблем погружения свай в мерзлые грунты является неизбежность разрушения головки свайного фундамента, что приводит к коррозионному разрушению арматуры и бетона.

Аналитический анализ технологий устройства свайных фундаментов в условиях сезонно мерзлых грунтах позволили установить, что даже при небольшой глубине промерзания точность забивки свай может резко снижаться.

При этом вероятность отклонения свай от проектного положения составляет до 10-15 см, что является не допустимой величиной. В свою очередь это приводит к снижению их несущей способности

Практические наблюдения за состоянием свай, забитых в слой мерзлого грунта, показала, что в более 90% случаях тело свай повреждается ударами молота.

Поэтому многие ученые на основании научно-экспериментальных исследований пришли к единому мнению, что при глубине промерзания грунта более 0,4 м грунт в местах забивки свай необходимо оттаивать и защитить их от промерзания различными методами.

Однако проведенный нами анализ традиционных методов оттаивания сезонно мёрзлых грунтов показали высокую их трудоемкость и отличались значительными экономическими затратами.

Поэтому погружение свай в зимний период требует проведения дополнительных работ, связанные с использованием дополнительного оборудования и предварительному оттаиванию грунта. В результате этого увеличиваются трудоемкость, продолжительности и стоимость работ [1].

Основная задача при погружении свай в мерзлые грунты это исключение разрушения свайного фундамента с использованием прогрессивных методов оттаивания грунта и защиты их от промерзания.

В настоящее время существует несколько технологических способов забивки свай в мерзлые грунты. Если глубина промерзания грунта не превышает 0,7 метра, то для погружения свай достаточно использовать более мощные мо-

лоты и вибромолоты. Если же глубина промерзания превышает 0,7 метра, для погружения свай необходимо создавать условия, приближенные к летним.

Одним из путей решения проблемы устройства фундаментов в зимних условиях является использование винтовых свай.

Заслуживает особого внимания технология улучшения строительных свойств вечномёрзлых грунтов оттаиванием химическими реагентами [2-4].

Оттаивание мерзлых грунтов при отрицательной температуре производится путем инъектирования в их объемы концентрированных водных растворов солей, безводных сжиженных и газообразных химических реагентов способных активно оттаивать лед и предохранять оттаянные грунты от возможного последующего замерзания.

При этом уплотнение грунтов, совмещенное с оттаиванием, при отрицательной температуре рекомендуется путем отдельного инъектирования в их объемы сжиженного аммиака и раствора хлористого кальция или других реагентов, способных к взаимодействию с грунтовыми растворами и минеральными частицами с образованием цементирующего материала [5].

Исследования в области устройства фундаментов в условиях мерзлого грунта требуется учитывать множество факторов таких, как поведения мерзлого грунта и взаимодействия грунта со сваями во время боковой нагрузки [6-8]

Как показывает результаты изучения опытов развитых стран мира наиболее эффективным оказалась метод оттаивания грунтов при отрицательных температурах с применением химических реагентов.

Целью исследований является влияние негашеной извести в составе химических реагентов на глубину оттаивания сезонно мёрзлого грунта в местах забивки свайных фундаментов в зимних условиях.

Материалы и методы

Для достижения поставленной цели в качестве объекта исследований выбрали грунт под строительство жилого дома в г. Нур-Султане.

На начальном этапе исследований были проведены научно-экспериментальные работы по изучению физико-механических свойств грунта, отобранных на глубине 0,5м. результаты которых приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Физико-механические свойства грунта по строительству жилого дома в г. Нур-Султане

Наименование грунта	Глубина отбора, м	Плотность частиц, ρ_s г/см ³	Влажность природная, W %	Число пластичности, I_p	Показатель текучести, I_L	Коеф. пористости, e	Коефф. водонасыщения, S_r д.е.
Суглинок	0,5	2,7	10,4	9,9	-0,52	0,722	0,34

Для проведения дальнейших научно-экспериментальных работ выбрана трехкомпонентная смесь химических реагентов с использованием негашеной извести (табл. 2).

Таблица 2 – Исследуемые составы химических реагентов

№ состава	Наименование и содержание химических элементов, масс.%		
	Негашеная известь (CaO)	Хлорид кальция CaCl	Хлорид натрия NaCl (сверх 100%)
1	95	5	2
2	85	15	5
3	75	25	7
4	65	35	10
5	55	45	15

Выбор указанного состава обоснован с учетом их специфических химических свойств и особенных реакции при взаимодействии с водой и мерзлым грунтом.

Негашёная известь-наиболее распространенный и доступный строительный материал и широко используется не только в строительстве, но и в сельском хозяйстве для улучшения плодородности почвы [9-14].

Его основные активные составляющие – CaO превращается в Ca(OH)₂ при взаимодействии с влажной средой или водой. Этот процесс происходит с самопроизвольным выделением тепла. Основная идея нашей работы – это использование этой тепловой энергии для локального оттаивания сезонномёрзлого грунта в местах забивки свайных фундаментов.

Для проведения научно-экспериментальных работ использовалась стандартная порошкообразная медленногасящаяся негашеная известь 1 сорта по ГОСТ 9179-2018 «Известь строительная. Технические условия» (EN 459-1:2010, NEQ). Содержание активных CaO + MgO, не менее 90%.

Результаты и обсуждение

Для установления максимальной температуры выделяемого тепла при взаимодействии с водой проведены лабораторные исследования по следующей методике: негашеную известь в количестве 100г засыпали в стеклянную химическую посуду. Затем в посуду с негашеной известью добавлялась вода комнатной температуры ($t = 20-22\text{ }^{\circ}\text{C}$) в количестве 150г. Для измерения температуры выделяемого тепла по центру стеклянной посуды установили термометр в глубину до половины высоты засыпанной негашеной извести.

Как показали результаты эксперимента, после взаимодействия негашеной извести с водой наблюдалась бурная реакция с выделением пара воды. Следует отметить, что бурная реакция началась не сразу, а по истечении 5-7мин. Параллельно начала подниматься температура тепловыделения. По истечении 20 минут температура тепловыделения составляло 100°C.

Для изучения эффекта тепловыделения негашеной извести при взаимодействии с водой в реальных зимних условиях нами был подготовлен участок на строительной площадке.

Для достижения поставленной цели в заранее спланированный грунт под строительство подземной части зданий и сооружений, производят обозначения контура место забивки свайных фундаментов с отступами на 0,2-0,3м от поперечного сечения свайного фундамента. Затем на поверхность грунта локально

засыпают химический реагент и заливают с 20-50 процентным водным раствором хлорида кальция и натрия предложенного состава с общим расходом раствора 10-15 литров на 1 м³ мерзлого грунта.

С целью проведения научно-экспериментальных работ на поверхность обозначенного контура сезонномёрзлого грунта на строительной площадке засыпали химический реагент на основе негашеной извести толщиной 1,0 см, 2,0 см и 3,0 см.

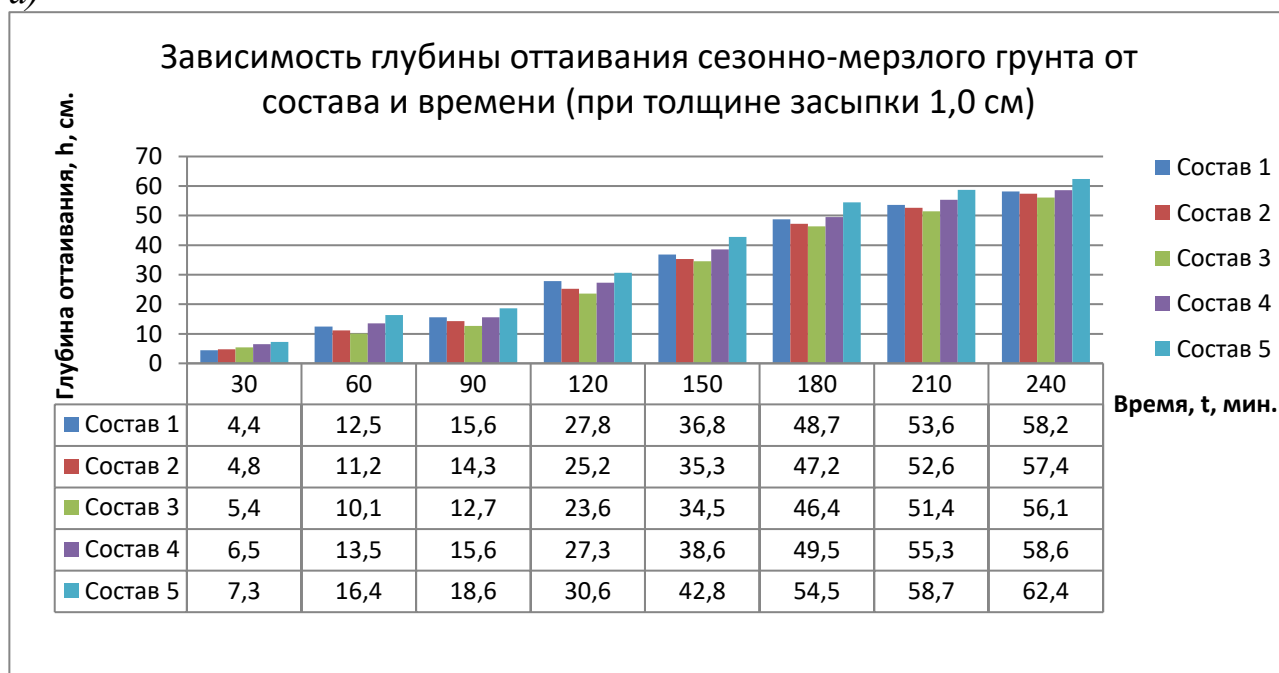
Для изучения глубины оттаивания в зависимости от толщины засыпки химического реагента и от времени экспериментальные работы были проведены для каждой засыпки отдельно в открытом воздухе в зимнее время. Температура наружного воздуха составляло $t = -20^{\circ}\text{C}$. На поверхность химического реагента добавлялась вода комнатной температуры ($t = +22^{\circ}\text{C}$) с целью вызова выделения самопроизвольного тепла из негашеной извести связанных с процессом их гашения.

Наблюдения за ходом оттаивания вели с момента внесения трехкомпонентного химического реагента в течение 4-х часов.

После добавления воды фиксировали время прохождения бурной реакции и параллельно измеряли глубину оттаивания сезонномёрзлого грунта методом шурфования. Интервал между измерениями составляло 30 мин.

Результаты научно-экспериментальных исследований представлены на рисунке 1.

a)



б)



в)

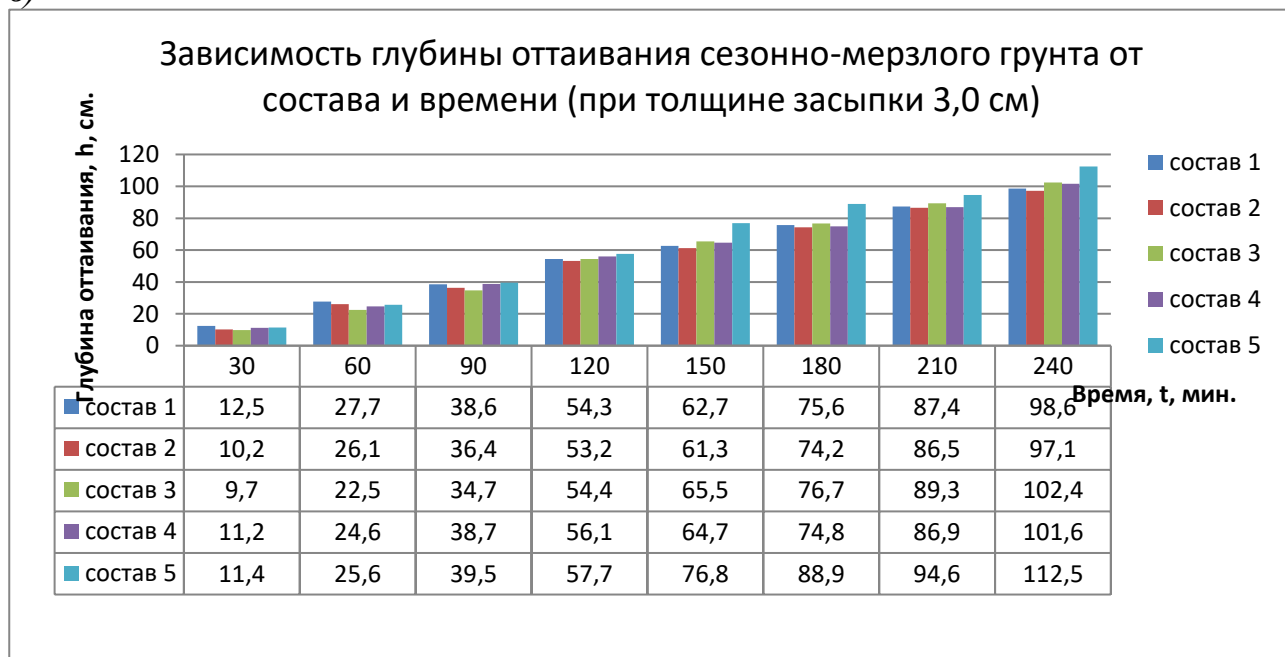


Рисунок 1 – Зависимость глубины оттаивания сезонно мерзлого грунта от состава и времени: а) при толщине засыпки 1,0 см; б) то же при толщине засыпки 2,0 см; в) то же при толщине засыпки 3,0 см. [Материал автора]

Как показывают результаты исследований, при засыпке химического реагента толщиной 1 см наблюдается постепенное оттаивание грунта в зависимости от времени. У состава №1 глубина оттаивания через 30 мин составила 4,4 см. В интервале времени от 60 до 90 мин глубина оттаивания постепенно увеличивается и достигает от 12,5 см до 27,8 см.

По истечении времени от 120 мин до 180 мин наблюдается увеличение глубины оттаивания на 15,3 см и 33,1 см по сравнению глубиной оттаивания в период времени от 60 до 90 мин. Максимальная глубина оттаивания при тол-

щине засыпки химического реагента $h = 1$ см достигает при достижении времени 240 мин и составляет 58,2 см. Такой результат получено при максимальном содержании негашеной извести (90% CaO).

Изучение динамики изменения глубины оттаивания в остальных составах показывает, что изменения содержание негашеной извести в сторону уменьшения (до 50) за счет увеличения CaCl (до 50) и NaCl (до 15% сверх 100%) наблюдается увеличения показателей глубины оттаивания. Так при использовании состава № 5 глубина оттаивания в начальный период (до 30 мин) больше на 2,9 см. При этом по истечении времени 240 мин глубина оттаивания больше на 4,2 см и составляет 62,4 см.

С увеличением толщины засыпки на 2 и 3 см глубина оттаивания в начальный период (до 30 мин) значительно больше. Так, в составе №1 глубина оттаивания в этот период времени составляет 7,2 см и 12,5 см соответственно, что больше на 2,8 и 8,1 см, чем при использовании химического реагента толщиной 1 см.

Наиболее значительные повышение глубины оттаивания наблюдается при использовании химических реагентов с толщиной засыпки 2 и 3 см.

Так при использовании химического реагента толщиной 3 см уже в начальный период наблюдается более глубокое оттаивание грунта по сравнению с толщиной засыпки 2 и 3 см. При этом в период времени от 30 до 90 мин глубина оттаивания (при $h=3$ см) составляет от 12,5 до 38,6 см. При толщине засыпке химического реагента 2 и 3 см наиболее максимальное оттаивание наблюдается в составах №4 и №5. В этих составах глубина оттаивание грунта в период времени до 240 мин составляет соответственно 73,9 и 98,5 см (при $h=2$ см) и 101,6 и 112,5 см (при $h=3$ см).

Более тщательный анализ динамики оттаивания грунта в зависимости от состава, толщины засыпки и во времени наглядно показывает, что в процессе оттаивания грунта наибольшее значение имеет вид и состав химического реагента, а также толщина засыпки на поверхность грунта.

При этом особо следует отметить роль негашеной извести в составе химического реагента.

В процессе взаимодействия не гашеной извести с водой происходит по реакции: $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca}(\text{OH})_2 + 15,5 \text{ ккал.}$, где $1 \text{ ккал} = 4,1868 \cdot 10^3 \text{ Дж}$.

При этом реакция протекает бурно, с большим выделением тепла – 15,5 ккал на грамм-молекулу или 277 ккал на 1 кг извести.

Вода, проникая в глубину известковых зерен, вступает в химическое взаимодействие с CaO, и выделяемое при этом тепло превращает воду в кипящее состояние, что приводит к выделению пара. Именно этот эффект выделения тепла с выделением пара использован для локального оттаивания сезонно мёрзлого грунта в местах забивки свайных фундаментов.

Дополнительное использование хлорида кальция (CaCl) и хлористого натрия (NaCl) в составе химического реагента позволило дальнейшее интенсификации процесса оттаивания сезонно мерзлого грунта и исключение их повторного замерзания.

В начальном этапе горячий солевой раствор с температурой не менее 100°C легко проникает в промерзающий слой грунта и образует локальную область грунта с положительной температурой. При этом выделяемое тепло аккумулируется грунтом, что позволяет поддерживать плюсовую температуру грунта в течении длительного времени.

Выводы

Установлено, наиболее интенсивное и относительно быстрое оттаивания наблюдается при толщине засыпки химического реагента 2,0 и 3,0 см. Разработанный состав химического реагента на основе негашеной извести имеет преимущества касательно снижения энергетических затрат для оттаивания сезонно мерзлого грунта так как при взаимодействии с водой предлагаемый химически реагент самопроизвольно выделяет тепло ($t= 100^{\circ}\text{C}$;) и продолжительное время не остывает несмотря на отрицательную температуру наружного воздуха. А содержание в составе CaCl и NaCl исключает повторное замерзание глинистого сезонно мерзлого грунта. Предлагаемая технология обеспечивает забивку свайных фундаментов без предварительного бурения сезонно мерзлого грунта и использовать маломощные агрегаты для забивки свай.

Литература:

1. Верстов В.В. Особенности погружения свай в мерзлые грунты. Молодой ученый. 2018, 20(206), 135-138.
2. Захаров А.Е. Исследование температурных полей в мерзлых грунтах, контактирующих с твердеющими растворными прослойками. Сборник трудов 59 научн. конф. СПбГАСУ, 2001.
3. Невзоров А.Л., Кригер Е.В., Сахаров И.И., Захаров А.Е., Парамонов В.Н., Кудрявцев С.А. Оценка деформаций грунтов, связанных с промерзанием и оттаиванием. Основания и фундаменты: Теория и практика. Межвузовский тематический сборник трудов. СПбГАСУ. 2004, 134-140.
4. Wenping Fei, Zhaohui Joey, Yang Tiecheng Sun. Ground freezing impact on laterally loaded pile foundations considering strain rate effect. Cold Regions Science and Technology, Volume 157, January 2019, 53-63
5. Руководство по технологии физико-химического укрепления промерзающих и оттаивающих грунтов. М.: Стройиздат, 1977, 64 с.

References:

1. Verstov V.V. Osobennosti pogruzheniya svay v merzlyie gruntyi [Features of immersion of piles in frozen soils] Molodoy uchenyy = A young scientist. 2018, 20(206), 135-138.
2. Zaharov A.E. (2001) Issledovanie temperaturnyih poley v merzlyih gruntah, kontaktiruyuschih s tverdeyuschimi rastvornymi prosloykami [Investigation of temperature fields in frozen soils in contact with hardening mortar layers] Sbornik trudov 59 nauchn. konf. SPbGASU. = Collection of works 59 scientific conf. SPbGASU.

3. Nevzorov A.L., Kriger E.V., Saharov I.I., Zaharov A.E., Paramonov V.N., Kudryavtsev S.A. *Otsenka deformatsiy gruntov, svyazannyih s promerzaniem i ottaivaniem. Osnova-niya i fundamentyi: Teoriya i praktika [Assessment of soil deformations associated with freezing and thawing. Foundations and foundations: Theory and Practice] Mezhevuzovskiy tematicheskii sbornik trudov = Interuniversity thematic collection of works. SPbGASU. SPbGASU. SPb., 2004, 134-140.*
4. Wenping Fei, Zhaohui Joey, Yang Tiecheng Sun (2019) *Ground freezing impact on laterally loaded pile foundations considering strain rate effect. Cold Regions Science and Technology, Volume 157, P. 53-63*
5. *Rukovodstvo po tehnologii fiziko-himicheskogo ukrepleniya promerzayuschih i ottaiva-yuschih gruntov [Manual on the technology of physico-chemical strengthening of freezing and thawing soils] - M.: Stroyizdat, 1977, 64.*

**А.С. Монтаева¹, А.Ж. Жусупбеков¹,
Б.Т. Шакешев^{2*}, К.А. Нариков³**

¹ Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-сұлтан, Қазақстан

² Батыс Қазақстан инновациялық-технологиялық университеті, Орал, Қазақстан

³ Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті, Орал, Қазақстан

Авторлар туралы ақпарат:

Монтаева Айнұр Сәрсенбекқызы – докторант, профессор, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

<https://orcid.org/0000-0001-9536-3442>, email: asmontay@gmail.com

Жусупбеков Аскар Жагпарович – доктор техникалық ғылымдар, профессор, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

<https://orcid.org/0000-0003-2229-1059>, email: astana-geostroi@mail.ru

Шакешев Бекбулат Темержанович-техника ғылымдарының кандидаты, Батыс Қазақстан инновациялық-технологиялық университеті, Орал, Қазақстан

<https://orcid.org/0000-0001-7470-9221>, email: bekshakeshev@mail.ru

Нариков Қанат Амангелдіұлы – техника ғылымдарының кандидаты, Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті, Орал, Қазақстан

<https://orcid.org/0000-0001-6459-140X>, email: knarik1969@mail.ru

**МАУСЫМДЫҚ ТОҢДЫ ТОПЫРАҚТЫ ЖЕРГІЛІКТІ ЕРІТУ
ПРОЦЕСІНДЕ ЭНЕРГИЯ ТИІМДІ ХИМИЯЛЫҚ
РЕАГЕНТТЕРДІ ҚОЛДАНУ**

Аңдатпа. Мақалада химиялық реагент құрамындағы сөндірілмеген әктің қадалық іргетастарды қағу орындарындағы маусымдық тоңды топырақтардағы еру тереңдігіне әсерін зерттеу бойынша басталған-эксперименттік жұмыстардың нәтижелері келтірілген.

Ұсынылып отырған технология маусымдық-тоң топырақты алдын ала бұрғылаусыз қада іргетастарды қағуды және қада қағу үшін аз қуатты агрегаттарды пайдалануды қамтамасыз етеді.

Түйін сөздер: қада, іргетас, химиялық реагент, сөндірілмеген әк, топырақ, еріту, аяздан қорғау, сазды топырақ.

A.S. Montayeva¹, A.J. Zhusupbekov¹, B.T. Shakeshev^{2*}, K.A. Narikov³

¹ L.N.Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan

² West Kazakhstan University of Innovation and Technology, Uralsk, Kazakhstan

³ West Kazakhstan Agrarian and Technical University. Zhangir Khan, Uralsk, Kazakhstan

Information about the authors:

Montayeva Ainur Sarsenbekovna – Doctoral student, L.N.Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0001-9536-3442>, email: asmontay@gmail.com

Zhusupbekov Askar Zhagparovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, L.N.Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0003-2229-1059>, email: astana-geostroi@mail.ru

Shakeshev Bekbulat Temerzhanovich – Candidate of Technical Sciences, West Kazakhstan innovative and technological university

<https://orcid.org/0000-0001-7470-9221>, email: bekshakeshev@mail.ru

Narikov Kanat Amangeldievich – Candidate of Technical Sciences, West Kazakhstan Agrarian and Technical University named after Zhangir Khan

<https://orcid.org/0000-0001-6459-140X>, email: knarik1969@mail.ru

**APPLICATION OF ENERGY-EFFICIENT CHEMICALS IN THE PROCESS
OF LOCAL THAWING OF SEASONALLY FROZEN SOILS**

Abstract. *The article presents the results of scientific and experimental work on the study of the effect of quicklime in the composition of a chemical reagent on the depth of thawing in seasonally frozen soils in places where pile foundations are driven. The proposed technology provides for the driving of pile foundations without preliminary drilling of seasonally frozen soil, and the use of low-power units for driving piles.*

Keywords: *piles, foundation, chemical reagent, quicklime, soil, frozen soil, soil thawing, freezing depth.*