

Исследование влияния негашеной извести в составе химического реагента на глубину локального оттаивания в сезонно-мерзлых грунтах

^{1*}МОНТАЕВА Айну́р Сарсенбековна, м.т.н., докторант, asmontay@gmail.com,

¹ЖУСУПБЕКОВ Аскар Жагпарович, д.т.н., профессор, astana-geostroi@mail.ru,

²ШАКЕШЕВ Бекбулат Темержанович, к.т.н., и.о. доцента, bekshakeshev@mail.ru,

²АДИЛОВА Нургуль Болатовна, к.т.н., ассоциированный профессор, adnur@mail.ru,

¹Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Казахстан, 010008, Нур-Султан, ул. Сатпаева, 2,

²Западно-Казахстанский аграрно-технический университет им. Жангир хана, Казахстан, 090009, Уральск, ул. Жангир хана, 51,

*автор-корреспондент.

Аннотация. Предварительная подготовка мерзлого грунта позволяет значительно ускорить производство работ, повышает точность погружения свай в плане. Поэтому необходимы новые технологические решения по устройству фундаментов в зимнее время. Целью исследования является влияние негашеной извести в составе химических реагентов на глубину оттаивания сезонно-мерзлого грунта в местах забивки свайных фундаментов в зимних условиях. Для достижения поставленной цели в качестве объекта исследований выбрали грунт под строительство жилого дома в г. Нур-Султане. В статье представлены результаты научно-экспериментальных работ по исследованию влияния негашеной извести в составе химического реагента на глубину оттаивания в сезонно-мерзлых грунтах в местах забивки свайных фундаментов. Установлено, что интенсивность оттаивания сезонно-мерзлого грунта зависит от толщины засыпки химического реагента на основе негашеной извести. Предлагаемая технология обеспечивает забивку свайных фундаментов без предварительного бурения сезонно-мерзлого грунта и использование маломощных агрегатов для забивки свай.

Ключевые слова: свайный фундамент, химический реагент, негашёная известь, сезонно-мерзлый грунт, толщина засыпки, локальное оттаивание, защита от промерзания, глинистый грунт, суглинок, строительство, здания, температура.

Введение

Необходимость круглогодичного возведения зданий и сооружений потребовала 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 погружение свай в мерзлые грунты при их сезонном промерзании. Дело в том, что сезонно-мерзлые грунты в ненарушенном состоянии обладают высокой прочностью (в пределах от 10 до 40 кг/см² при – 10°C).

Следует особо отметить, что одной из важных проблем погружения свай в мерзлые грунты является неизбежность разрушения головки свай-

ного фундамента, что приводит к коррозионному разрушению арматуры и бетона.

Аналитический анализ технологий устройства свайных фундаментов в условиях сезонно-мерзлых грунтов позволил 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 недопустимой величиной. В свою очередь это приводит к снижению их несущей способности.

Практические наблюдения за состоянием свай, забитых в слой мерзлого грунта, показали, 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-мерзлых грунтов показал высокую их трудоемкость и значительные экономические затраты.

Поэтому погружение свай в зимний период требует проведения дополнительных работ, связанных с использованием дополнительного оборудования и предварительного оттаивания грунта. В результате этого увеличиваются трудоемкость, продолжительность и стоимость работ [1].

Поэтому 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 молоты 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.

На рисунке 1 приведены фрагменты устройства свайных фундаментов в сезонно-мерзлых грунтах.

Заслуживает особого внимания технология улучшения строительных свойств вечномерзлых 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 требуют учитывать множество факторов, таких как поведение мерзлого грунта и взаимодействие грунта со сваями во время боковой нагрузки [6-8].

Как показывают результаты изучения опытов развитых стран мира, наиболее эффективным оказался метод оттаивания грунтов при отрицательных температурах с применением химиче-



Рисунок 1 – Фрагмент засыпки химического реагента с использованием негашеной извести и измерением глубины оттаивания

ских реагентов.

Цель исследований: Влияние негашеной извести в составе химических реагентов на глубину оттаивания сезонно-мерзлого грунта в местах забивки свайных фундаментов в зимних условиях.

Методы исследования и материалы

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 0,5 м, результаты которых приведены в таблице 1.

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

Выбор указанного состава обоснован с учетом их специфических химических свойств и особенных реакций 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 сезонно-мерзлого грунта в местах забивки свайных фундаментов.

Для проведения научно-экспериментальных работ использовалась стандартная порошко-

образная медленногасящаяся негашеная известь 1 сорта по ГОСТ 9179-2018 «Известь строительная. Технические условия» (EN 459-1:2010, NEQ). Содержание активных $\text{CaO} + \text{MgO}$, 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 100 г засыпали в стеклянную химическую посуду. Затем в посуду с негашеной известью добавлялась вода комнатной температуры ($t = 20-22^\circ\text{C}$) в количестве 150 г. 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 5-7 мин. Параллельно начала подниматься температура тепловыделения. По истечении 20 минут температура тепловыделения составляла 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 места забивки свайных фундаментов с отступами на 0,2-0,3 м от поперечного сечения свайного фундамента. Затем на поверхность грунта локально засыпают химический реагент и заливают 20-50-процентным водным раствором хлорида кальция и натрия предложенного состава с общим расходом раствора 10-15 л.

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	Коэфф. пористости, e	Коэфф. водонасыщения, S_r д.е.
Суглинок	0,5	2,7	10,4	9,9	-0,52	0,722	0,34

Таблица 2 – Исследуемые составы химических реагентов

№ состава	Наименование и содержание химических элементов, масс. %		
	Негашеная известь (CaO)	Хлорид кальция CaCl_2	Хлорид натрия NaCl (сверх 100%)
1	90	10	2
2	80	20	5
3	70	30	7
4	60	40	10
5	50	50	15

тров на 1 м³ мерзлого грунта.

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

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 составляла $t = -20^{\circ}\text{C}$. На поверхность химического реагента добавлялась вода комнатной температуры ($t = +22^{\circ}\text{C}$) с целью вызова выделения самопроизвольного тепла из негашеной извести, связанного с процессом их гашения.

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

После добавления воды фиксировали время прохождения бурной реакции и параллельно измеряли глубину оттаивания сезонно-мерзлого грунта методом шурфования. Интервал между измерениями составлял 30 мин.

Результаты научно-экспериментальных исследований представлены на рисунке 2.

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

Изучение динамики изменения глубины оттаивания в остальных составах показывает, что изменение содержания негашеной извести в сторону уменьшения (до 50) за счет увеличения CaCl (до 50) и NaCl (до 15% сверх 100%) наблюдается увеличение 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 значительное 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 засыпки химического реагента 2 и 3 см наиболее максимальное оттаивание наблюдается в составах № 4 и № 5. В этих составах глубина оттаивания 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.

Процесс взаимодействия негашеной извести с водой происходит по реакции: $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca(OH)}_2 + 15,5 \text{ ккал}$, 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-мерзлого грунта в местах забивки свайных фундаментов.

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

На 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 течение длительного времени.

Выводы

Установлено, что интенсивность оттаивания сезонно-мерзлого грунта зависит от толщины засыпки химического реагента на основе негашеной извести. При этом наиболее интенсивное и относительно быстрое оттаивание 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

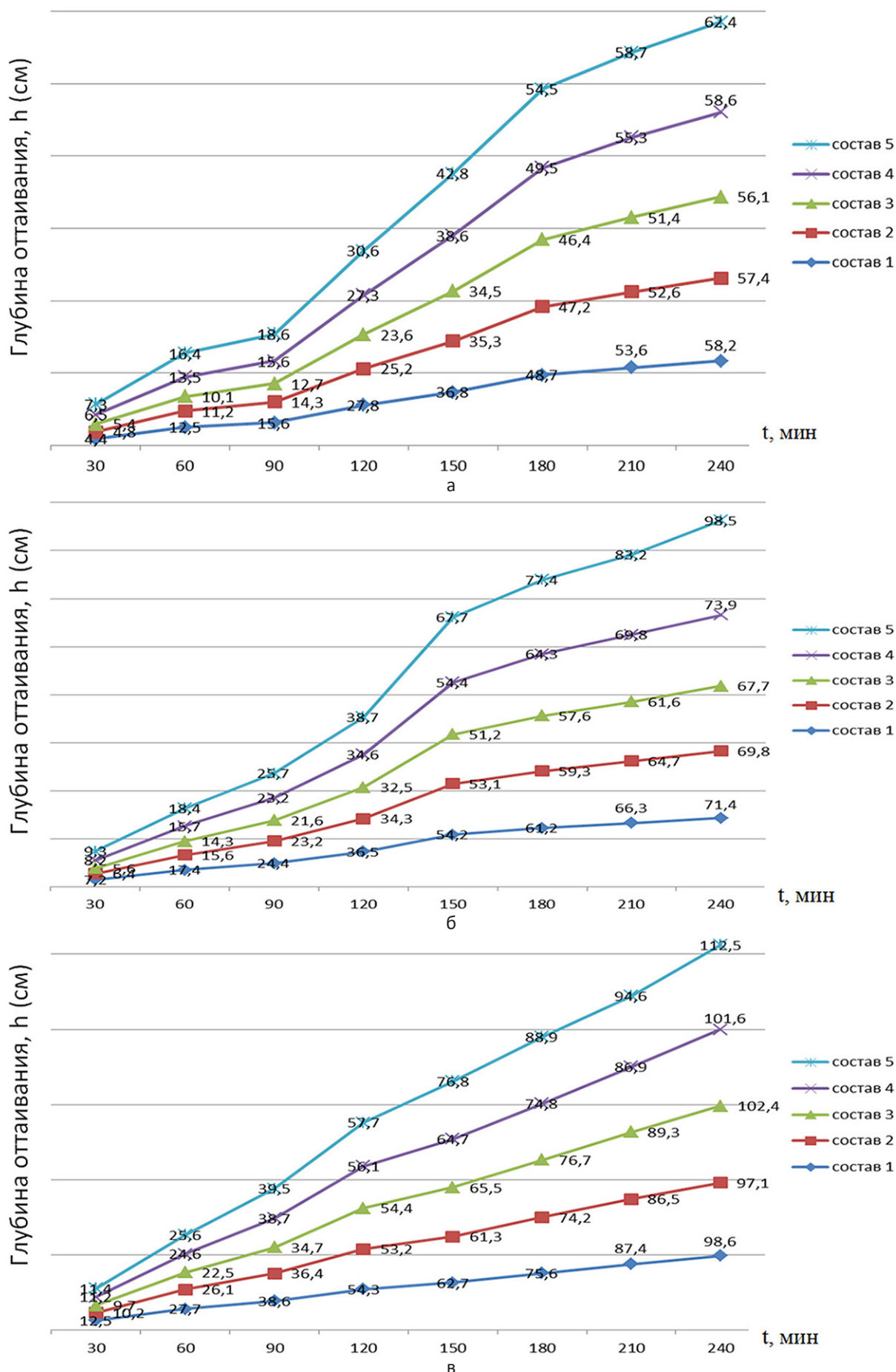


Рисунок 2 – Зависимость глубины оттаивания сезонно-мерзлого грунта от состава и времени
а) при толщине засыпки 1,0 см, б) то же, при толщине засыпки 2,0 см, в) то же, при толщине засыпки 3,0 см

для оттаивания сезонно-мерзлого грунта, так как при взаимодействии с водой предлагаемый химический 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 использование маломощных агрегатов для забивки свай.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Верстов, В.В. Особенности погружения свай в мерзлые грунты / В.В. Верстов, А.Н. Гайдо, Н.А. Егорова. // Молодой ученый. – 2018. – № 20 (206). – С. 135-138.
2. Дашжамц, Д. Основания и фундаменты на мерзлых и пучинистых грунтах (на примерах Забайкалья и Монголии) / Дашжамц Д., Кроник Я.А., Лыкшинов Б.В. – Москва: Издательство АСВ, 2009. – 160 с.
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. Санкт-Петербург, 2004. С. 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, Pages 53-63.
5. Строительные нормы Республики Казахстан, СН РК 5.01-02-2013 Основание зданий и сооружений. Астана, 2015.
6. Wenping Fei, Zhaohui JoeyYang, Tiecheng Sun. Ground freezing impact on laterally loaded pile foundations considering strain rate effect // Cold Regions Science and Technology. Volume 157, January 2019, Pages 53-63.
7. Шестаков И.В. Исследование температурного режима пучинистых грунтов южных районов Дальнего востока // Фундаментальные исследования. – 2016. – № 11-2. – С. 328-332.

Химиялық реагент құрамындағы сәндірілмеген әктің маусымдық тоңды топырақта жергілікті еру тереңдігіне әсерін зерттеу

^{1*}**МОНТАЕВА Айнура Сарсенбековна**, т.ғ.м., докторант, asmontay@gmail.com,

¹**ЖУСУПБЕКОВ Аскар Жагпарович**, т.ғ.д., профессор, astana-geostroi@mail.ru,

²**ШАКЕШЕВ Бекбулат Темержанович**, т.ғ.к., доцент м.а., bekshakeshev@mail.ru,

²**АДИЛОВА Нургуль Болатовна**, т.ғ.к., қауымдастырылған профессор, adnur@mail.ru,

¹Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қазақстан, 010008, Нұр-Сұлтан, Сәтпаев көшесі, 2,

²Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті, Қазақстан, 090009, Орал, Жәңгір хан көшесі, 51,

*автор-корреспондент.

Аңдатпа. Мұзды топырақты алдын-ала дайындау жұмысы құрылыс өндірісін едәуір жылдамдатуға мүмкіндік береді, жоспардағы қадаларды батыру дәлдігін арттырады. Сондықтан қыста іргетастарды салу үшін жаңа технологиялық шешімдер қажет. Зерттеудің мақсаты химиялық реагенттер құрамындағы сәндірілмеген әктің қысқы жағдайларда қадалы іргетастарды қағу орындарында маусымдық қатқан топырақты еріту тереңдігіне әсері болып табылады. Қойылған мақсатқа қол жеткізу үшін зерттеу объектісі ретінде Нұр-Сұлтан қаласында тұрғын үй құрылысына арналған топырақ таңдалды. Мақалада химиялық реагент құрамындағы сәндірілмеген әктің қадалық іргетастарды қағу орындарындағы маусымдық қатып қалған топырақтарда еру тереңдігіне әсерін зерттеу бойынша ғылыми-эксперименттік жұмыстардың нәтижелері келтірілген. Маусымдық мұздатылған топырақтың еру қарқындылығы химиялық реагентті сәндірілмеген әк негізінде толтыру қалыңдығына байланысты екендігі анықталды. Ұсынылып отырған технология маусымдық-тоң топырақты алдын ала бұрғылаусыз қада іргетастарды қағуды және қада қағу үшін аз қуатты агрегаттарды пайдалануды қамтамасыз етеді.

Кілт сөздер: қадалық іргетас, химиялық реагент, сәндірілмеген әк, маусымдық қатқан топырақ, көмбенің қалыңдығы, жергілікті еріту, қатып қалудан қорғау, сазды топырақ, саздақ топырақ, құрылыс, ғимарат, температура.

Investigation of the Effect of Quicklime in the Composition of a Chemical Reagent on the Depth of Thawing in Seasonally Frozen Soils in the Areas of Pile Foundation Driving

^{1*}**MONTAEVA Ainur**, Mast. of Tech. Sci., doctoral student, asmontay@gmail.com,

¹**ZHUSUPBEKOV Askar**, Dr. of Tech. Sci., Professor, astana-geostroi@mail.ru,

²**SHAKESHEV Bekbulat**, Cand. of Tech. Sci., Acting Associate Professor, bekshakeshev@mail.ru,

²**ADILOVA Nurgul**, Cand. of Tech. Sci., Associate Professor, adnur@mail.ru,

Abstract. Preliminary preparation of frozen soil allows you to significantly speed up the production of work, increases the accuracy of the immersion of piles in the plan. Therefore, new technological solutions are needed for the construction of foundations in winter. The aim of the study is the effect of quicklime in the composition of chemical reagents on the depth of thawing of seasonally frozen soil in places where pile foundations are driven in winter conditions. To achieve this goal, the soil for the construction of a residential building in Nur-Sultan was chosen as the object of research. 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. It is established that the intensity of thawing of seasonally frozen soil depends on the thickness of the filling of a chemical reagent based on quicklime. The proposed technology ensures the driving of pile foundations without preliminary drilling of seasonally frozen soil, and the use of low-power units for driving piles.

Keywords: pile foundation, chemical reagent, quicklime, seasonally frozen soil, backfill thickness, local thawing, frost protection, clay soil, loam, construction, buildings, temperature.

REFERENCES

1. Verstov, V.V. Osobennosti pogruzheniya svaj v merzlye grunty / V.V. Verstov, A.N. Gajdo, N.A. Egorova // Molodoj uchenyj. – 2018. – No. 20 (206). – pp. 135-138.
2. Dashzhamc, D. Osnovaniya i fundamenty na merzlyh i puchinytyh gruntah (na primerah Zabajkal'ya i Mongolii) / Dashzhamc D., Kronik YA.A., Lykshytov B.V. – Moscow: Publ. ASV, 2009. – 160 p.
3. Nevzorov A.L., Kriger E.V., Saharov I.I., Zaharov A.E., Paramonov V.N., Kudrjavcev S.A. Ocenka deformacij gruntov, svjazannyh s promerzaniem i ottaivaniem. Osnovaniya i fundamenty: Teorija i praktika: Mezhvuzovskij tematicheskij sbornik trudov / SPbGASU. Saint Petersburg, 2004. pp. 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, Pages 53-63.
5. Stroitel'nye normy Respubliki Kazakhstan, SN RK 5.01-02-2013 Osnovanie zdaniy i sooruzhenij. Astana, 2015.
6. 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, Pages 53-63.
7. Shestakov I.V. Issledovanie temperaturnogo rezhima puchinytyh gruntov yuzhnyh rajonov Dal'nego vostoka // Fundamental'nye issledovaniya. – 2016. – No. 11-2. – pp. 328-332.