

Использование экзотермической реакции гашения извести для локального оттаивания сезонномерзлых грунтов

¹**ШИНГУЖИЕВА Алтынай Бакытжановна**, PhD, и.о. доцента, shing.a@mail.ru,

¹**НУРБАЕВА Кымбат Адылхановна**, магистр, преподаватель, kymbat13n@gmail.com,

¹***ДЖАХМЕТОВ Артур Алимович**, магистр, преподаватель, artur11081998@gmail.com,

¹**МАЖИТОВ Еркебулан Бисенгалиевич**, к.т.н., старший преподаватель, mazhitov201090@gmail.com,

¹**ЖАСҚАЙРАТ Айжан Талапқызы**, студент, aizhan.zhaskairat@mail.ru,

¹НАО «Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана», ул. Жангир хана, 51, Уральск, Казахстан,

*автор-корреспондент.

Аннотация. Описаны результаты научно-экспериментальных работ, целью которых было определить глубину оттаивания сезонномерзлых грунтов при использовании реакции гашения извести в качестве источника тепла. Проведен анализ метеорологических и агрометеорологических условий, характерных для г. Уральска. Разработан способ, который предоставляет возможность использовать выделяемое тепло в процессе взаимодействия оксида кальция с водой. Для реализации данного способа спроектирована и изготовлена теплоизоляционная конструкция, позволяющая аккумулировать и направлять накопленное тепло по системе прогрева «сверху-вниз». Установлено, что использование описанного способа позволяет достичь глубины оттаивания грунта до 56 см. На момент проведения научно-экспериментальной работы данный показатель глубины оттаивания превысил фактическую глубину промерзания грунта.

Ключевые слова: глубина промерзания грунта, оттаивание грунтов, свайный фундамент, гашение извести, экзотермическая реакция, негашеная известь.

Введение

Климат Западно-Казахстанской области – резко континентальный. Резко континентальному климату соответствуют холодная и не длительная зима и жаркое продолжительное лето, также резкие перепады температуры между днем и ночью. Для региона характерны неустойчивость атмосферных осадков, сухой воздух и почва.

Средняя температура холодного периода равна $-12,3^{\circ}\text{C}$, минимальная зафиксированная температура воздуха $-43,1^{\circ}\text{C}$. Холодный период года со среднесуточной температурой воздуха, когда температура опускается ниже 0°C , продолжается 135-154 дней.

Проведение строительных работ в зимний период сопровождается массой препятствий, которые усложняют процесс строительства: сильные порывы ветра, отрицательные температуры, снежный покров, обледенение, промерзание грунта и другие.

Сезонномерзлый грунт – это грунт, находящийся в мерзлом состоянии периодически

в течение холодного сезона [1]. По запросу в отделение «Агрометеорология» филиала РГП «КАЗГИДРОМЕТ» по Западно-Казахстанской области были получены данные наблюдений за промерзанием грунта в г. Уральске за каждую декаду холодного периода последних 5 лет (рисунок 1).

На данном графике видно, что значения глубины промерзания грунта непостоянны и меняются каждый год. Так, зимой 2018/19 гг. глубина промерзания не превышала 50 см, а за год до этого достигала значения в 130 см.

Такой разброс в значениях – следствие того, что глубина промерзания зависит от многих постоянных и переменных факторов: типа грунта, рельефа местности, суммы отрицательных температур воздуха, влажности грунта, толщины снежного покрова, продолжительности и интенсивности действия отрицательной температуры и других.

Зависимость от большого количества переменных значений делает прогнозирование

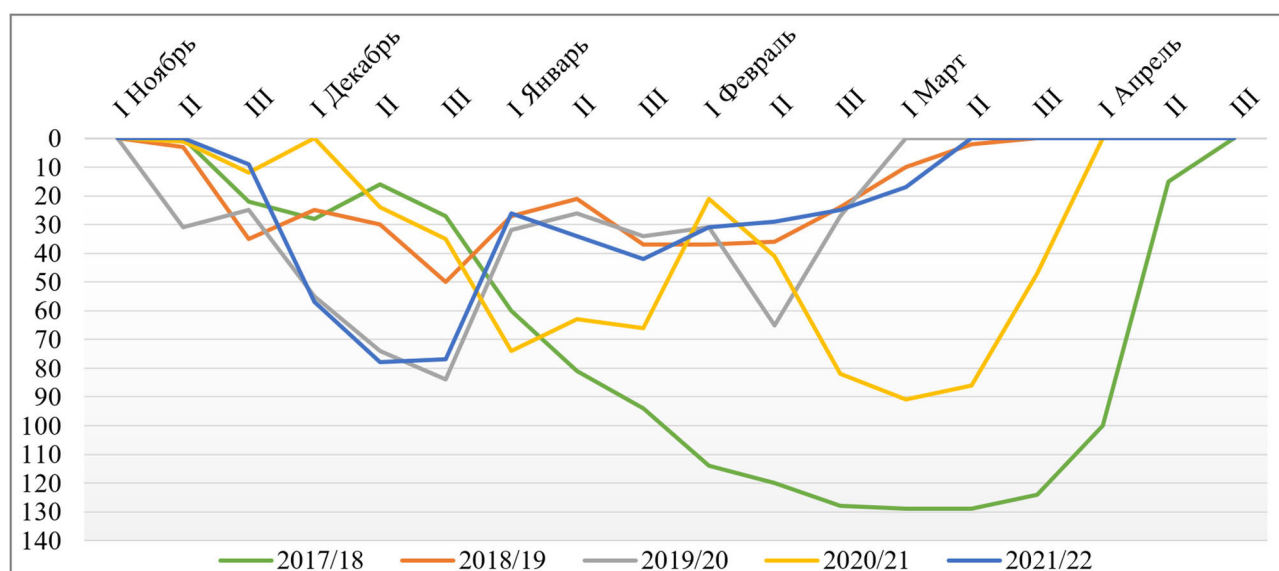


Рисунок 1 – Диаграмма средних значений глубины промерзания грунта

промерзания грунта при помощи расчетов практически невозможным, что подтверждается в работе [2].

Сезонномерзлые грунты характерны преимущественно для стран средней полосы Азии, поэтому работы ученых Казахстана, Китая, России и других стран направлены на изучение процессов, происходящих при замораживании и оттаивании грунта [3-6].

Криогенные процессы в сезонномерзлых грунтах происходят благодаря содержанию в их порах воды. Одной из важнейших характеристик, влияющих на промерзание и оттаивание грунта, является водопроницаемость. В связи с этим работы [3-4] направлены на изучение характеристик проницаемости с использованием дисперсного грунта из северо-восточного Китая, а также влияние засоления почвы и замерзания-оттаивания на изменение водопроницаемости.

Глубина промерзания грунта в зимнее время доставляет значительные трудности при его разработке, в связи с чем земляные работы стараются перенести на теплый период или закончить работы до замерзания грунта. Однако при необходимости проведения строительных работ нулевого цикла в зимний период значительно повышаются расходы на содержание рабочих и обслуживание машин и оборудования, помимо этого увеличивается риск аварийных ситуаций, что приводит к дополнительным затратам на их ремонт.

При этом для строительного объекта одним из важнейших рисков является возрастание вероятности повреждения конструктивных элементов здания или сооружения. Особое внимание стоит уделить установке

свайного фундамента в промерзший грунт: процесс забивки железобетонных свай может привести к повреждениям свай, вплоть до излома или разрушения; предварительное бурение сопровождается повышенным сопротивлением грунта, в связи с его затвердеванием [7].

Данные проблемы влекут привлечение дополнительных материальных и финансовых ресурсов, что приводит к удорожанию строительства.

Для уменьшения сопротивления грунта в процессе устройства свайного фундамента следует рассмотреть возможность предварительного локального оттаивания сезонномерзлого грунта. Данное оттаивание относительно площади застройки носит точечный характер, т.к. прогрев грунта будет проводиться на небольших участках в местах последующих установок отдельных свай.

С этой целью были проведены научно-экспериментальные работы по исследованию возможности использования экзотермической реакции взаимодействия оксида кальция с водой для локального оттаивания грунта.

Материалы и методы

Оксид кальция CaO (негашеная известь) – вещество белого оттенка с кристаллической структурой, получаемое при термическом разложении карбоната кальция. В производстве известь получается путем обжига во вращающихся печах при температуре $900-1300^{\circ}\text{C}$ кальциево-магниевого карбонатных пород (различный известняк, мел). При обжиге происходит декарбонизация пород. При термическом разложении из кар-

боната кальция выделяется углекислый газ.

Продуктом реакции взаимодействия оксида кальция (CaO) с водой (H_2O), называемой гашением извести, является гидроксид кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$, или гашеная известь. Гашеная известь может быть в 3 состояниях: гидратная известь, известковое тесто или известковым молоком (рисунок 2).

Для проведения научно-экспериментальных работ разработана теплоизоляционная конструкция квадратной формы, представляющая собой коробку с отсутствующим дном (далее – конструкция). Материалом, из которого изготовлена данная конструкция, является пенополистирол ПСБ-С-25. Плотность материала составляет 12-17 кг/м³. Данный вид пенопласта имеет хорошие теплоизоляционные свойства (Теплопроводность составляет 0,039 Вт/м*К), позволяющие удерживать внутри конструкции выделенное тепло. Плита пенопласта поддается разрезке, это предоставляет возможность без затруднений вырезать детали для изготовления деталей необходимых форм и размеров.

Конструкция состоит из 10 деталей: 8 де-

талей бортов и 2 детали крышки. В таблице 1 представлены размеры деталей, указаны размеры деталей, количество, необходимое для изготовления одной конструкции, цветом обозначены детали для демонстрации на схемах.

Стандартный размер плиты пенопласта ПСБ-С-25 составляет 2000*1000*50, этого достаточно для изготовления деталей двух конструкций (рисунок 3).

Бортовые детали скреплены так, чтобы образовать квадрат со следующими габаритами: длиной и шириной 500 мм, высотой 150 мм, толщиной 50 мм. Внутрь устанавливается квадрат меньшего размера 400*400*100 и толщиной стенок 50 мм. Крышка конструировалась из двух деталей размерами: 500*500*50 и 400*400*50 мм. Таким образом из вырезанных деталей пенопласта изготавливается теплоизоляционная конструкция, размеры которой равны 500*500*200 мм с закрытой крышкой, толщиной стенок 100 мм, внутреннее пространство равняется – 300*300*100 мм или 9 л.

Детали были скреплены при помощи клея универсального «Titan» Wild (рисунок 4).

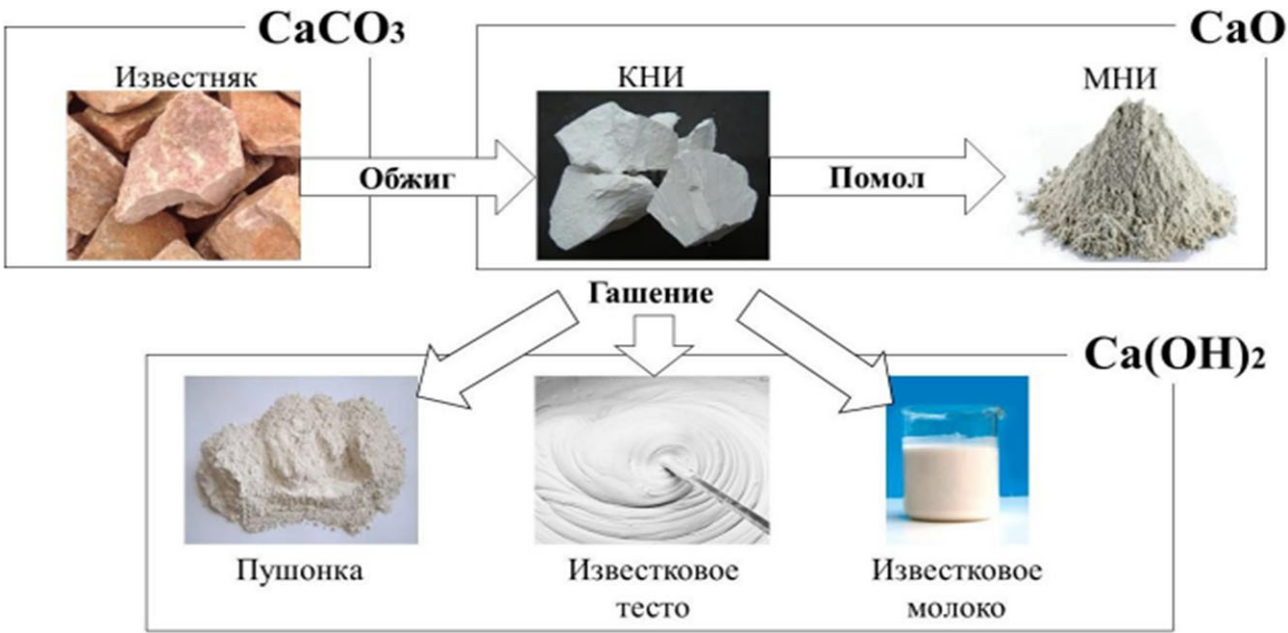


Рисунок 2 – Получение оксида и гидроксида кальция

Таблица 1 – Детали теплоизоляционной конструкции

Название	Борта			Крышка		
Размер (мм)	50*150*500	50*150*400	50*100*400	50*100*300	50*500*500	50*400*400
Кол-во	2	2	2	2	1	1
Цвет						

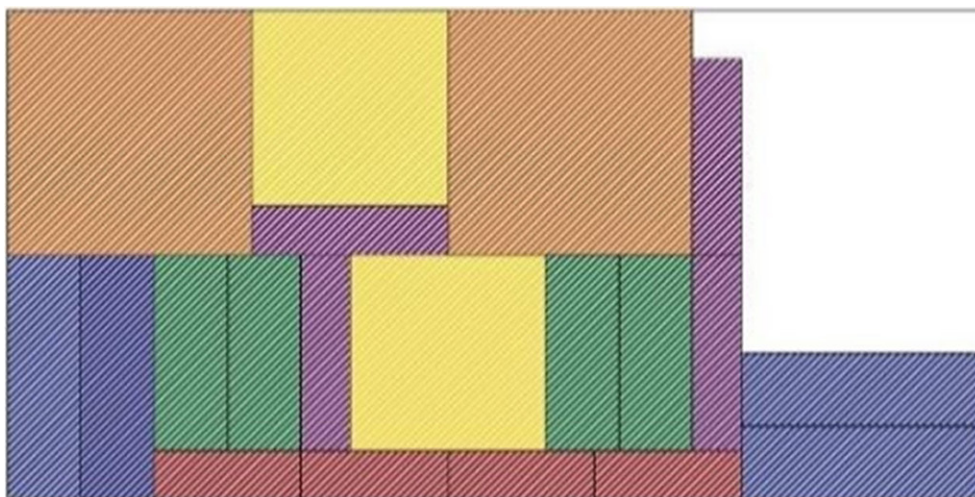


Рисунок 3 – Схема резки детали конструкции

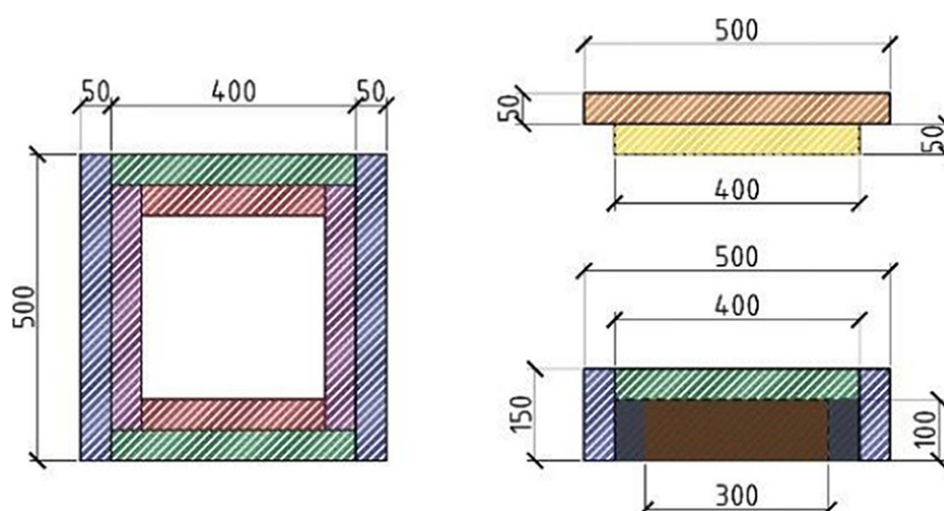


Рисунок 4 – Теплоизоляционная конструкция

Клей «Titan» Wild помимо высоких качеств склеивания различных поверхностей обладает другими качествами: устойчивостью к механическим нагрузкам, ультрафиолетовому излучению, высоким температурам и к их перепадам, водостойкостью, а также экологическими качествами. Данный клей идеально подходит для соединения поверхностей пенопласта и пенополистирола.

Для проведения реакции конструкция была наполнена 2 кг оксида кальция с добавлением 200 г хлорида натрия. Хлорид натрия принимает на себя функции антифриза, препятствуя дальнейшему замерзанию оттаявшего грунта, по этой причине большинство противогололедных средств в своем составе содержат различные хлориды. Для начала реакции конструкция была наполнена 7 л воды. С целью накопления теп-

ла внутри конструкция сверху закрывалась крышкой.

Замеры проводились в следующих интервалах: 1 ч, 2 ч, 3 ч, 24 ч, 48 ч, 72 ч, 1 неделя. Замеры показателей оттаивания осуществлялись заостренным металлическим стержнем длиной 600 мм, имеющим поперечное сечение 6*4 мм в 5 точках, как показано на рисунке 5.

Результаты и обсуждение

Результаты исследования глубины оттаивания грунта составляли в среднем спустя: 1ч – 7,7 см; 2 ч – 16,6 см; 3 ч – 28,7 см; сутки – 49 см. Замер через 48 и 72 часа – стержень погружался в грунт без сопротивления на максимальную длину стержня. Это может свидетельствовать о том, что грунт оттаял ниже глубины промерзания, т.к. согласно

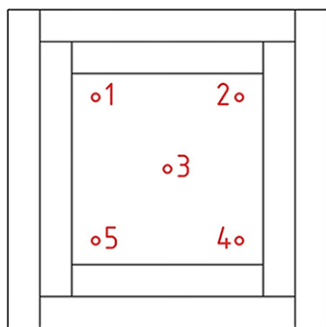


Рисунок 5 – Точки замеров оттаивания грунта

данным РГП «Казгидромет» в конце января 2021/22 года средняя глубина промерзания составляла примерно 40,5 см.

По факту, в месте проведения оттаивания глубина промерзания равнялась в 50-55 см. Результаты замеров оттаивания грунта по каждой точке представлены в виде таблицы 2.

Звездочкой (*) отмечены значения, при которых во время погружения не ощущалось сопротивление и стержень был погружен на максимальную глубину.

Схематичное изображение оттаивания грунта изображено на рисунке 6, а пятно оттаивания имеет форму неровной окружности диаметром приблизительно $\approx 47,5$ см.

Таким образом, на основании полученных результатов установлено, что использование теплоты, выделяемой при взаимодействии негашеной извести и воды, можно достичь глубины оттаивания сезонномерзлого грунта свыше 56 см.

Хоть за нормативную глубину промерзания грунта в г. Уральске принимают значение 1,56 м, стоит учитывать, что фактически средняя глубина промерзания не составляет 56 см. Согласно данным РГП «КАЗГИДРОМЕТ» зимой 2021/22 в момент проведения исследований средняя глубина промерзания по г. Уральску не превышала 42 см.

На момент проведения исследования глубина оттаивания (56 см) превысила фактическую глубину промерзания грунта. Таким образом при проведении испытаний удалось полностью разморозить промерзший грунт в диаметре $\approx 47,5$ см.

Заключение

На основании проведенных комплексов научно-экспериментальных исследований

Таблица 2 – Глубины оттаивания грунта

Точки	1 ч	2 ч	3 ч	24 ч	48 ч	72 ч	168 ч
1	101	221	352	502	560*	560*	558
2	85	163	286	491	560*	560*	543
3	72	154	261	481	560*	560*	531
4	63	151	282	482	560*	560*	522
5	65	139	253	491	560*	560*	532

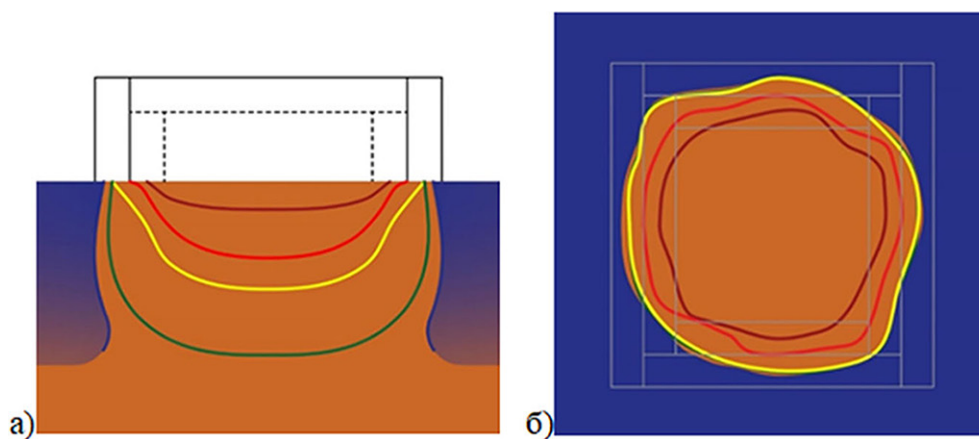


Рисунок 6 – Оттаивание грунта

1ч (коричневая), 2ч (красная), 3ч (желтая), 24ч (зеленая), 48ч (синяя)

можно выделить следующие выводы:

1) Проанализированы климатические, метеорологические, агрометеорологические и криогенные условия г. Уральска.

2) Исследована возможность использования негашеной извести, которая вступает в экзотермическую реакцию при взаимодействии с водой, в качестве химического реагента для оттаивания мерзлых грунтов.

3) С целью проведения исследований локального оттаивания сезонномерзлого грунта разработан способ, который предоставляет возможность использовать выделяемое тепло в процессе взаимодействия негашеной извести и воды. Для реализации данного способа спроектирована и изготовлена теплоизоляционная конструкция, позволяющая аккумулировать и направлять накопленное тепло по системе прогрева «свер-

ху-вниз».

4) Из результатов, полученных во время исследований, установлено, что использование теплоты, выделяемой при взаимодействии оксида кальция и воды, можно достичь глубины оттаивания сезонномерзлого грунта до 56 см. На момент проведения научно-экспериментальной работы данный показатель глубины оттаивания превысил фактическую глубину промерзания грунта. Таким образом при проведении испытаний удалось полностью разморозить промерзший грунт в диаметре $\approx 47,5$ см.

Благодарность

Выражаем благодарность филиалу РГП «КАЗГИДРОМЕТ» по Западно-Казахстанской области за предоставленные данные наблюдений за промерзанием грунта в г. Уральске.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Монтаев С.А. К вопросу локального оттаивания сезонно-мерзлых грунтов для устройства свайных фундаментов / С.А. Монтаев, А.Б. Шингужиева, А.А. Джахметов // Ғылым және білім. – 2021. – Т. 1, № 4 (65) – С. 215-223.
2. Леонович И.И. Статистический метод определения глубины промерзания грунтов / И.И. Леонович, Н.П. Вырко, М.Н. Демидко // Труды БГТУ. № 2. Лесная и деревообрабатывающая промышленность. – 2015. – № 2 (175). – С. 27-31.
3. Жусупбеков А.Ж. Исследования зависимости теплофизических свойств сезоннопромерзающего грунта под основания фундаментов от их влажности, плотности и глубины котлована / А.Ж. Жусупбеков, А.С. Монтаева, С.А. Монтаев // QazBSQA хабаршысы. Құрылыс конструкциялары және материалдары. – 2020. – № 4 (78). – С. 184-192.
4. Yan Han, Qing Wang, Yuanyuan Kong. Effect of freeze-thaw cycles on shear strength of saline soil // Cold Regions Science and Technology. Volume 154, October 2018, Pages 42-53. 20 June 2018.
5. Song Xu, Deping Liu, Tianxiao Li, Qiang Fu, Dong Liu, Renjie Hou, Fanxiang Meng, Mo Li, Qinglin Li. Spatiotemporal evolution of the maximum freezing depth of seasonally frozen ground and permafrost continuity in historical and future periods in Heilongjiang Province, China // Atmospheric Research. Volume 274, 15 August 2022, 106195.
6. Tomasz Kozlowski. Some factors affecting supercooling and the equilibrium freezing point in soil-water systems // Volume 59, Issue 1, October 2009, Pages 25-33.
7. Жусупбеков А.Ж. Исследование возможности использования химических реагентов для локального оттаивания грунта для забивки свайных фундаментов в зимнее время / А.Ж. Жусупбеков, А.С. Монтаева, С.А. Монтаев // Вестник КазГАСА. – 2020. – № 2. – С. 119-125.

Әкті сөндірудің экзотермиялық реакциясын маусымдық мұздатылған топырақты жергілікті жібіту үшін қолдану

¹**ШИНГУЖИЕВА Алтынай Бакытжановна**, PhD, доцент м.а., shing.a@mail.ru,
¹**НУРБАЕВА Кымбат Адылхановна**, магистр, оқытушы, kymbat13n@gmail.com,
¹***ДЖАХМЕТОВ Артур Алимович**, магистр, оқытушы, artur11081998@gmail.com,
¹**МАЖИТОВ Еркебулан Бисенғалиевич**, т.ғ.к., аға оқытушы, mazhitov201090@gmail.com,
¹**ЖАСҚАЙРАТ Айжан Талапқызы**, студент, aizhan.zhaskairat@mail.ru,
¹«Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті» КеАҚ,
Жәңгір хан көшесі, 51, Орал, Қазақстан,
*автор-корреспондент.

Аңдатпа. Әк сөндіру реакциясын жылу көзі ретінде пайдалану кезінде маусымдық мұздатылған топырақтың еру тереңдігін анықтауға бағытталған ғылыми-эксперименттік жұмыстардың нәтижелері сипатталған. Орал қаласына тән метеорологиялық, агрометеорологиялық жағдайларға талдау жүргізілді. Кальций оксидінің сумен әрекеттесу процесінде бөлінетін жылуды пайдалануға мүмкіндік беретін әдіс әзірленді. Осы әдісті іске асыру үшін жылу оқшаулағыш конструкциясы әзірленді және дайындалды, бұл жинақталған жылуды «жоғарыдан төменге» жылыту жүйесі бойынша жинақтауға және бағыттауға мүмкіндік береді. Сипатталған әдісті қолдану топырақтың еру тереңдігіне 56 см-ге дейін жетуге мүмкіндік беретіні анықталды. Ғылыми-эксперименттік жұмыс кезінде еріту тереңдігінің бұл көрсеткіші топырақтың қату тереңдігінен асып түсті.

Кілт сөздер: топырақтың қату тереңдігі, топырақтың еруі, қадалар, әк сөндіру, экзотермиялық реакция, сөндірілмеген әк.

Use of Exothermic Lime Quenching Reaction for Local Thawing of Seasonally Frozen Soils

¹**SHINGUJIEVA Altynai**, PhD, Acting Associate Professor, shing.a@mail.ru,
¹**NURBAEVA Kymbat**, Master's Degree, Lecturer, kymbat13n@gmail.com,
¹***JAKHMETOV Artur**, Master's Degree, Lecturer, artur11081998@gmail.com,
¹**MAZHITOV Erkebulan**, Cand. of Tech. Sci., Senior Lecturer, mazhitov201090@gmail.com,
¹**JASKAIRAT Aijan**, Student, aizhan.zhaskairat@mail.ru,
¹NJSC «Zhangir Khan West Kazakhstan Agrarian Technical University», Zhangir Khan Street, 51, Oral, Kazakhstan,
*corresponding author.

Abstract. The the results of scientific and experimental work are described, the purpose of which was to determine the depth of thawing of seasonally frozen soils using the lime extinguishing reaction as a source of heat. The analysis of meteorological, agrometeorological conditions typical for Uralsk was carried out. The method, which provides an opportunity to use the heat released in the interaction of calcium oxide with water, was developed. To implement this method, a heat-insulating structure is designed and manufactured, which allows to accumulate and direct the accumulated heat through the heating system «from top to bottom». It was found that the use of the described method makes it possible to achieve a thawing depth of the soil up to 56 cm. At the time of scientific-experimental work, this thawing depth indicator exceeded the actual depth of soil freezing.

Keywords: soil freezing depth, soil thawing, pile foundations, lime quenching, exothermic reaction, quicklime.

REFERENCES

1. S. Montaev, A. Shinguzhieva, A. Jakhmetov. K voprosu lokalnogo ottaivaniya sezonno-merzlyh gruntov dlya ustroystva svaynyh fundamentov [On the issue of local thawing of seasonally frozen soils for the installation of pile foundations], *Ėlym jáne bilim [Science and education]*. Vol. 1, no. 4 (65), 2021, pp. 215-223.
2. I.I. Leonovich, N.P. Vyrko, M.N. Demidko. Statisticheskij metod opredeleniya glubiny promerzaniya gruntov [Statistical method for determining the depth of soil freezing] *Trudy BGTU. No. 2. Lesnaya i derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost. [Proceedings of BSTU. No. 2. Forestry and woodworking industry]*. 2015. No. 2 (175). Pp. 27-31.
3. A.Zh. Zhusupbekov, A.S. Montaeva, S.A. Montaeв. Issledovaniya zavisimosti teplofizicheskikh svoystv sezonnopromerzayushchego grunta pod osnovaniya fundamentov ot ih vlazhnosti, plotnosti i glubiny kotlovina [Studies of the dependence of the thermophysical properties of seasonally freezing soil under the foundations on their moisture content, density and depth of the pit], *QazBSQA habarshysy. Kurylys konstrukciyalary zhane materialdary [QazBSQA Bulletin. Construction designs and materials]*. 2020. No. 4 (78). Pp. 184-192.
4. Yan Han, Qing Wang, Yuanyuan Kong. Effect of freeze-thaw cycles on shear strength of saline soil // *Cold Regions Science and Technology*. Volume 154, October 2018, Pages 42-53. 20 June 2018.
5. Song Xu, Deping Liu, Tianxiao Li, Qiang Fu, Dong Liu, Renjie Hou, Fanxiang Meng, Mo Li, Qinglin Li. Spatiotemporal evolution of the maximum freezing depth of seasonally frozen ground and permafrost continuity in historical and future periods in Heilongjiang Province, China // *Atmospheric Research*. Volume 274, 15 August 2022, 106195.
6. Tomasz Kozłowski. Some factors affecting supercooling and the equilibrium freezing point in soil-water systems // *Volume 59, Issue 1, October 2009, Pages 25-33*.
7. A.Zh. Zhusupbekov, A.S. Montaeva, S.A. Montaeв. Issledovanie vozmozhnosti ispol'zovaniya himicheskikh reagentov dlya lokal'nogo ottaivaniya grunta dlya zabivki svajnyh fundamentov v zimnee vremya [Investigation of the possibility of using chemical reagents for local thawing of soil for driving pile foundations in winter] *Vestnik KazGASA [Journal of KazGASA]* 2020. No. 2. Pp. 119-125.