

МЕХАНОАКТИВАЦИОННЫЙ СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ВЯЖУЩЕГО ДЛЯ УСТРОЙСТВА ЦЕМЕНТОГРУНТОВЫХ СВАЙ

Н.Г. Серегин¹✉, В.И. Запруднов²

¹ФГБОУ ВО «Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), 129337, г. Москва, Ярославское ш., д. 26

²Мытищинский филиал ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», 141005, Россия, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

SereginNG@mgsu.ru

Рассмотрены физико-химические процессы измельчения веществ механоактивационным способом. Приведен анализ процессов, происходящих в твердых телах во время их механической обработки. Описаны основные виды дефектов, возникающих в процессе механической обработки слоистых силикатов. Представлены такие наиболее распространенные типы мельниц, как дезинтеграторы и планетарные мельницы, предназначенные для механоактивации. Охарактеризованы принципы их работы. Дана классификация мельниц, предназначенных для помола клинкера. Проанализирована зависимость удельных энергозатрат на помол клинкера и прочности образцов от типа мельницы. Исследована зависимость удельной поверхности измельченного клинкера и прочности образцов от скорости ротора ударно-отражательной мельницы. Сформулированы рекомендации по выбору типа мельниц для помола клинкера.

Ключевые слова: бурсмесительный способ, свайный фундамент, цементогрунтовые сваи, вяжущее, механоактивационный способ, клинкер

Ссылка для цитирования: Серегин Н.Г., Запруднов В.И. Механоактивационный способ получения вяжущего для устройства цементогрунтовых свай // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023. Т. 27. № 1. С. 114–120. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-1-114-120

В настоящее время появились тенденции выделять под новое строительство территории, которые ранее не застраивались в связи со сложными инженерно-геологическими условиями. Они сформировались вследствие неоднородности в плане грунтовых напластований, просадочных и других типов грунтов. Поэтому проектные организации при конструировании фундаментов зданий и сооружений все чаще вынуждены прибегать к применению свай [1, 2].

В Российской Федерации свайные фундаменты в общем объеме фундаментов составляют примерно 25 % [3]. Свайные фундаменты получили широкое распространение в практике мирового фундаментостроения [4], поскольку обеспечивают возможность возведения зданий и инженерных сооружений на грунтах с недостаточной несущей способностью, а также в условиях вечной мерзлоты. Внедрение промышленных методов строительства на современном этапе, оснащение строительных организаций мобильными высокопроизводительными машинами для производства свайных работ способствуют расширению применения свайных фундаментов [5, 6].

В целях борьбы с просадочностью грунтов для улучшения их свойств, применяют методы технической мелиорации [7]. При мощных толщах

просадочных грунтов наибольшей эффективностью отличаются буронабивные сваи, поскольку при бурении скважин грунт околоствайного пространства уплотняется, что увеличивает несущую способность свай [8].

Особое место среди буронабивных свай занимают сваи, изготовленные бурсмесительным способом [9, 10]. Его использование предусматривает применение специальных бурсмесительных машин и буровых установок, имеющих вертлюги, полые буровые штанги и принудительную подачу бурового материала [11]. С помощью бурсмесительного способа закрепляют все виды слабых и структурно-неустойчивых грунтов независимо от их влажности, расположения горизонта подземных вод и коэффициента фильтрации вида грунтовых напластований [12]. Высокая экономичность способа за счет использования местных грунтов строительной площадки, низкой стоимости, полной механизации работ с перспективой закрепления грунтов делают бурсмесительный способ наиболее перспективным в фундаментостроении.

К изготавливаемым бурсмесительным способам сваям следует отнести и цементогрунтовые сваи, полученные посредством способа механоактивации [13]. Этот способ отличается экологической чистотой и возможностью применения как для новых, так и для усиления оснований существующих зданий и сооружений.

Цель работы

Цель работы — характеристика механоактивационного способа получения вяжущего для устройства цементогрунтовых свай.

Материалы и методы

Механоактивационный способ получения вяжущего выполняют в целях диспергирования и активации грунтов, как одной из важнейших технологических операций. Благодаря существованию механической активации появляется возможность решения разнообразных задач, в частности, повышения реакционной способности твердых тел, изменения их структуры, ускорения твердофазных реакций и др. [14].

Физико-химические процессы, обусловленные механическим воздействием на твердые тела, особенно интенсивно проявляются при измельчении веществ.

Экспериментальные исследования раскрыли особенности физико-химических процессов, что позволило создать модель механической активации, которая позволяет исследовать возникновение поля напряжений в результате механического воздействия в определенных областях твердого вещества [15]. Релаксация поля напряжений может происходить с выделением тепла, образованием новой поверхности и различного рода дефектов в кристаллах или возбуждением химических реакций в твердой фазе. В основном направление релаксации зависит от свойств вещества, условий нагружения и свойств частиц [16, 17].

Анализ процессов, происходящих в твердых телах во время их механической обработки, показывает, что существуют два основных физических процесса, которые способствуют возбуждению химических реакций в твердых телах: деформация кристаллов и их излом. В ходе этих процессов выделяется теплота, возникают сдвиговые напряжения и разрушение кристаллов, обычно сопровождающиеся локальным повышением температуры и давления, эмиссией света и электронов, разрывом химических связей на вновь образованных поверхностях. Вследствие этого особенно важное значение приобретает формирование активных центров на свежесформированных поверхностях [18].

Основными видами дефектов, возникающих в результате применения механоактивационного способа получения вяжущего слоистых силикатов, являются образование новой поверхности, сдвиговые напряжения в решетке и образование твердых продуктов физико-химических реакций [19]. Аналогом кремния в структурах силикатов является алюминий. При условии идентичности кристаллохимических позиций атомов Si и Al,

например, в качестве центральных атомов тетраэдров SiO_4 и AlO_4 , сочленение координационных полиэдров в структурах силикатов осуществляется через общие вершины двух соседних многогранников, что приводит к образованию каркасных или слоистых структур [20, 21].

Для более детальной классификации соединений силикатов требуется координационное число элемента по кислороду. К классу силикатов относятся соединения, в структурах которых металлический элемент является катионом, не входит в состав кремниево-кислородного радикала и имеет координационное число, не равное четырем. Если атом кремния изоморфно замещен атомом металла, то координационное число равно четырем, а последний входит в состав комплексного отрицательно заряженного кремния. Однако в ряде случаев координация металла по кислороду не имеет столь решающего значения [22, 23].

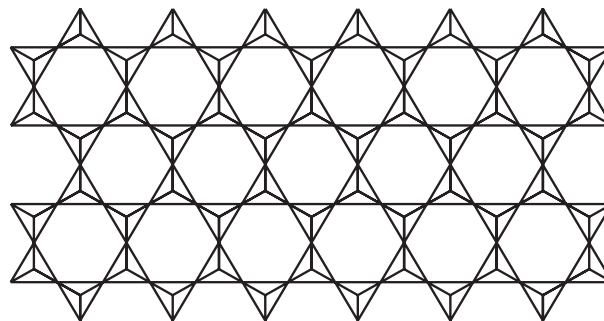


Рис. 1. Гексагональная сетка из SiO_4 -тетраэдров в структуре слюды

Fig. 1. Hexagonal grid of SiO_4 — tetrahedra in the mica structure

Для слоистых силикатов типичны пластинчатая морфология кристаллов, наличие хорошей спайности и гексагональной симметрии элементов. Черты сходства в структурах слоистых силикатов обусловлены тем, что в их основе лежат сетки из SiO_4 -тетраэдров, связанных через общие вершины в гексагональную структуру. В качестве примера на рис. 1 показана гексагональная сетка из кремниево-кислородных тетраэдров в структурах слюд [24].

В идеализированной структурной модели слюд все координационные полиэдры и гексагональные тетраэдрические сетки геометрически правильные. Положение катионов в них центральное. Координационное число межслоевых катионов по кислороду постоянное и равно 12.

Современные представления о структуре слюд, не отрицая принципиальной правильности идеальной базовой модели, учитывают искажения основных структурных элементов, а именно, разворот SiO_4 -тетраэдров в гексагональной сетке и ее гофрировку, неравноценность среднего межатомного расстояния, переменную координацию катионов межслоевого промежутка по кислороду и переменные значения межатомного расстояния [26].

Дислокации в структурах слоистых силикатов могут возникать путем сдвига сеток в пределах слоев, главным образом за счет смещения самих слоев в плоскости скольжения, совпадающей с плоскостью спайности. При наличии определенных условий дислокации могут перемещаться и располагаться с образованием дислокационных стенок или субграниц. В этом случае монокристалл слоистого силиката представляет собой агрегат, состоящий из дискретных симметрично разориентированных блоков, разделенных дислокационными стенками. Изменение дифракционной картины слоистых минералов по мере упорядочивания структуры обусловлено не только дислокациями, но и размерами блоков когерентного рассеяния, при уменьшении которых возрастает интегральный эффект изменения интенсивности рефлексов на рентгенограмме минерала [27].

Механоактивационный способ получения вяжущего применяют в измельчительной аппаратуре, поэтому следует учитывать особенности процессов, которые при этом протекают. Для получения ожидаемого после механической обработки результата существенное значение имеют характер формирования поля напряжений во времени и кинетика последующих релаксационных процессов. Если вещество разрушается, то каждая новая открывающаяся поверхность становится активной [28].

В мельницах удары мелющих тел действуют на их совокупность, которая подобна поликристаллу. При этом граница между частицами является препятствием для дислокаций. Таким образом, основные результаты теории разрушения поликристаллов можно применить к механической обработке в мельницах.

Для применения механоактивационного способа получения вяжущего наибольшее распространение среди мельниц получили дезинтеграторы и планетарные мельницы [29].

Принцип работы дезинтеграторов состоит в осуществлении быстро следующих один за другим ударов по активируемой частице при возрастающей относительной скорости движения частиц. Возрастание окружной скорости движения частиц происходит естественным образом по мере продвижения частицы от периферии к центру вращения дисков дезинтегратора. Благодаря высокой скорости вращения дисков в дезинтеграторах можно обеспечить очень высокий уровень подвода энергии к частице обрабатываемого вещества.

Планетарные мельницы представляют собой машины типа барабанных шаровых мельниц, в которых воздействие гравитационного поля на рабочее тело заменено центробежной силой. Это позволяет увеличить количество энергии, подводимой к частицам обрабатываемого вещества. К

недостаткам планетарных мельниц можно отнести невысокий коэффициент полезного действия (КПД) и технологические сложности при изготовлении машин большой производительности, что ограничивает их применение для крупнотоннажных процессов. К достоинствам дезинтеграторов причисляют возможность достижения различной производительности до 80...100 т/ч. Поэтому в строительстве для механической активации более перспективными ударно-отражательными мельницами являются дезинтеграторы.

Основные принципы конструкций роторов дезинтеграторов связаны с возникающей в веществе активацией, поскольку, чем больше их скорость ударов и чем меньше интервал между следующими один за другим ударами, тем большая возникает активность. Важно также и то, что скорости следующих один за другим ударами постоянно возрастают. Выполнение этого процесса обеспечивает конструкция дезинтеграторов. Активное состояние измельчения вещества, достигаемое в дезинтеграторе при помоле грунта, довольно устойчиво.

При одновременной обработке нескольких сырьевых компонентов в дезинтеграторах независимо от количественного их соотношения, различий в удельном весе и влажности, образуется гомогенная смесь. Высокая гомогенность смеси достигается при одновременной обработке жидкого и твердого сырья.

Однако если за один месяц хранения слоистых силикатов на открытом воздухе снижения их активности не наблюдается, то за 2 мес. активность снижается примерно на 10 % и полностью исчезает при таком хранении в течение 6 мес. [30].

По виду нагружения мельницы классифицируют следующим образом:

- 1) с низкой скоростью нагружения и преимущественным нагружением сжатием (шаровые, стержневые, бегуны, центробежные, шарокольцевые);
- 2) со средней скоростью нагружения, разрушающие частицы (вибрационные, магнитно-вихревые, центробежно-планетарные);
- 3) с высокой скоростью нагружения, измельчающие материалы преимущественно свободным ударом (ударно-отражательного действия, ударные мельницы, дезинтеграторы, молотковые, роторные и струйные мельницы).

Таковы подходы реализации механоактивационного способа получения вяжущего для устройства цементогрунтовых свай.

Результаты исследования

Сравнение удельных энергозатрат и эффективности механоактивационного способа получения вяжущего с помощью трех мельниц, представителей трех групп приведенной классификации, а именно мельниц ударно-отражательного

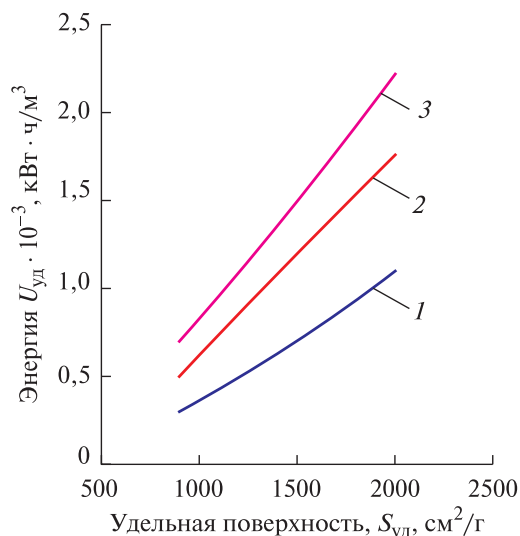


Рис. 2. Удельные энергозатраты на помол клинкера в зависимости от типа мельницы: 1 — ударно-отражательная; 2 — вибрационная; 3 — шаровая

Fig. 2. Specific energy consumption for clinker grinding depending on the type of mill: 1 — impact-reflective; 2 — vibration; 3 — ball

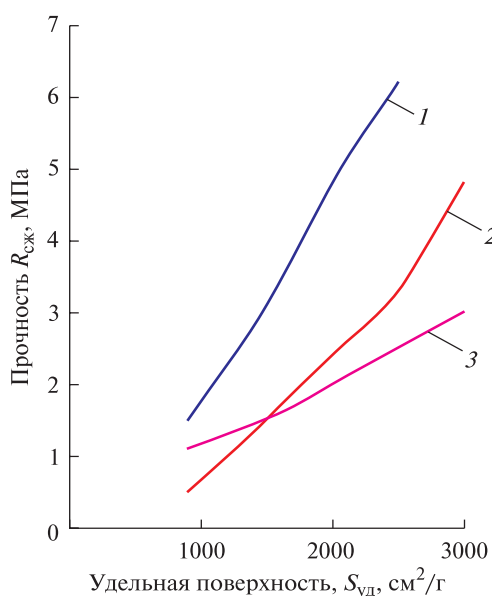


Рис. 3. Зависимость прочности образцов от типа мельницы: 1 — ударно-отражательная; 2 — вибрационная; 3 — шаровая

Fig. 3. Dependence of the strength of the samples on the type of mill: 1 — impact-reflective; 2 — vibration; 3 — ball

действия, шаровой и вибрационной показало следующие результаты. Исследования основаны на анализе зависимости удельных энергозатрат $U_{уд}$ (10^{-3} кВтч/м²) на измельчение вещества (клинкера) от его удельной поверхности $S_{уд}$ ($см^2/г$), т. е. $U_{уд} = f(S_{уд})$.

Из рис. 2 видно, что мельницы с преимущественным нагружением сжатием так же, как и при разрушении одиночных частиц, наиболее энергоёмки. Разница в удельных энергозатратах стано-

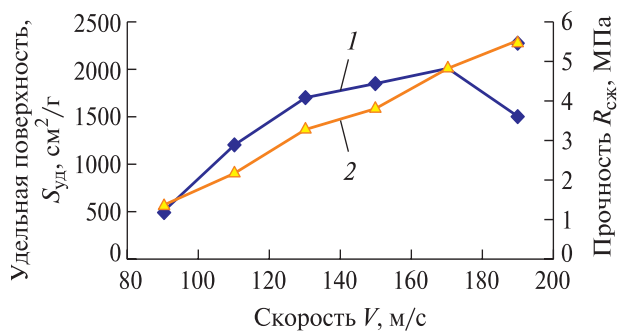


Рис. 4. Зависимость удельной поверхности $S_{уд}$ измельченного клинкера и прочности $R_{сж}$ образцов от скорости ротора ударно-отражательной мельницы: 1 — удельная поверхность; 2 — прочность

Fig. 4. Dependence of the specific surface $S_{уд}$ of crushed clinker and the strength $R_{сж}$ of samples on the rotor speed of an impact mill: 1 — specific surface; 2 — strength

вится еще более заметной при увеличении производительности мельниц до 300...500 кг/ч и более.

Изменение свойств измельчаемых материалов механоактивационным способом наиболее наглядно можно продемонстрировать на таком объекте, как измельчаемый цементный клинкер по прочности образцов, сравниваемых при одинаковой удельной поверхности материала.

Из рис. 3 следует, что несмотря на меньшие удельные энергозатраты в трехступенчатой мельнице ударно-отражательного действия, степень механической активации клинкера в ней значительно выше по сравнению с вибрационной и шаровой мельницами. Разница в прочности образцов $R_{сж}$, испытываемых на сжатие, тем выше, чем больше удельная поверхность клинкера $S_{уд}$.

При удельной поверхности 2000 $см^2/г$ прочность образцов, изготовленных из клинкера, измельченного на мельнице ударно-отражательного действия, более чем в 2 раза выше прочности образцов, изготовленных из клинкера, разрушенного в вибрационной и шаровой мельницах.

При изменении линейной скорости рабочих органов мельницы ударно-отражательного действия от 70 до 170 м/с, при наличии ярко выраженного максимума по величине удельной поверхности, минимума прочности не замечено (рис. 4). При более высокой скорости нагружения это свидетельствует о большей величине накопленной твердым телом энергии.

Оптимальный тип измельчителя следует выбирать не только по удельным энергозатратам и стоимости мельницы, но и по величине механической активации, особенно в тех случаях, когда полученные порошки применяют в последующих технологических процессах. Из чего можно сделать вывод, что мельницы третьей группы, приведенной выше классификации, значительно эффективнее мельниц первой и второй групп.

Общепринятой характеристикой мельниц, определяющей их эффективность, является энергонапряженность, но подводимую к веществу мощность можно изменять как за счет частоты ударов, так и за счет средней энергии удара. Однако эти пути изменения энергонапряженности неэквивалентны. Так, увеличение частоты ударов изменяет временной масштаб, и эффекты в этом случае будут только количественные. Если увеличивать среднюю энергию удара, то частицы будут испытывать при ударах большие напряжения, что может стимулировать протекание новых процессов. Из чего следует, что энергонапряженность представляет собой техническую характеристику мельницы, а не физический параметр процесса обработки клинкера.

Выводы

1. Для закрепления неустойчивых грунтов следует применять свайные фундаменты из цементогрунта, возводимые буросмесительным способом.

2. Главными недостатками лёссовых грунтов являются их просадочность и неоднородность. Устранить эти недостатки позволяет устройство цементогрунтовых свай и повышение их прочности с помощью механоактивационного способа получения вяжущего.

3. Применение способа механоактивации позволяет снизить расход цемента и добиться улучшения прочностных характеристик цементогрунтовых свай.

Список литературы

- [1] Seregin N. An integrated way to improve the properties of soil-cement pile foundations // J. E3S Web of Conferences, 2020, no 157, p. 06006.
- [2] Seregin N.G. Feasibility for the implementation of cement piles // J. OP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020, no. 953, p. 012093.
- [3] Серегин Н.Г., Исаев В.Г. Результаты исследования износостойкости конструкционных материалов // Информационно-технологический вестник, 2020. № 2 (24). С. 172–178.
- [4] Серегин Н.Г., Запруднов В.И. Определение оптимальных составов цементогрунтов при устройстве свайных фундаментов буросмесительным способом // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 5. С. 106–110. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-5-106-110.
- [5] Seregin N. Parametric Model of Cement Soil. // Technological Advancements in Construction. Lecture Notes in Civil Engineering, 2022, vol 180. Springer, Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-83917-8-43>.
- [6] Серегин Н.Г., Егоров Е.А. Основания и фундаменты зданий и сооружений. М.: Изд-во МИСИ–МГСУ, 2022. URL: <http://lib.mgsu.ru> (дата обращения 15.05.2022).
- [7] Запруднов В.И. Строительное дело и материалы. СПб.: Лань, 2022. 596 с.
- [8] Ang J.B., Fredriksson P.G. Trade, Global Policy, and the Environment: New Evidence and Issues // J. of Comparative Economics, 2018, no. 46, pp. 616–633.
- [9] Garmanov G., Urazaeva N. The paper presents design and calculation of cost effectiveness of various types of foundations on the example of the city of Vologda // Procedia Engineering, 2015, no. 117, pp. 465–475.
- [10] Aguiar dos Santos R., Rogério Esquivel E. Saturated anisotropic hydraulic conductivity of a compacted lateritic soil // J. of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 2018, no. 10, pp. 986–991.
- [11] Lu Z., Xian S., Yao H., Fang R., She J. Influence of freeze-thaw cycles in the presence of a supplementary water supply on mechanical properties of compacted soil // Cold Regions Science and Technology, 2019, no. 157, pp. 4252.
- [12] Sakai T., Nakano M. Interpretation of the mechanical behavior of embankments having various compaction properties based on the soil skeleton structure // Soils and Foundations, 2015, no. 55, pp. 1069–1085.
- [13] Kumor L.A., Kumor M.K. Changes in mechanical parameters of soil, considering the effect of additional compaction of embankment // Transportation Research Procedia, 2016, no. 14, pp. 787–796.
- [14] Ang J.B., Fredriksson P.G. Trade, Global Policy, and the Environment: New Evidence and Issues // J. of Comparative Economics, 2018, no. 46, pp. 616–633.
- [15] Hong Z. Executive labor market segmentation: How local market density affects incentives and performance // J. of Corporate Finance, 2018, v. 50, pp 1–21.
- [16] Garmanov G., Urazaeva N. Design and Calculation of Cost Effectiveness of Various Types of Foundations in Central Russia // Procedia Engineering, 2015, v. 117, pp. 465–475.
- [17] Baril G.L., Wright J.C. Different types of moral cognition: Moral stages versus moral foundations // Personality and Individual Differences, 2012, v. 53, iss. 4, pp. 468–473.
- [18] Kong G., Cao T., Hao Y., Zhou Y., Ren L. Thermomechanical properties of an energy micro pile — raft foundation in silty clay // Underground Space, 2019, no. 6 (3), pp. 1–9.
- [19] Li J., Wang X., Guo Y., Yu X. Vertical bearing capacity of the pile foundation with restriction plate via centrifuge modelling // Ocean Engineering, 2019, v. 181, pp 109–120.
- [20] Santos R., Esquivel E. Saturated anisotropic hydraulic conductivity of a compacted lateritic soil // J. of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 2018, v. 10, iss. 5, pp. 986–991.
- [21] Lu Z., Xian Sh., Yao H., Fang R., She J. Influence of freeze-thaw cycles in the presence of a supplementary water supply on mechanical properties of compacted soil // Cold Regions Science and Technology, 2019, v. 157, pp. 42–52.
- [22] Sakai T., Nakano M. Interpretation of the mechanical behavior of embankments having various compaction properties based on the soil skeleton structure // Soils and Foundations, 2015, v. 55, iss. 5, pp. 1069–1085.
- [23] Kumor L.A., Kumor M.K. Changes in Mechanical Parameters of Soil, Considering the Effect of Additional Compaction of Embankment // Transportation Research Procedia, 2016, v. 14, pp. 787–796.
- [24] Zhao R., Hui R., Liu L., Xie M., An L. Effects of snowfall depth on soil physical–chemical properties and soil microbial biomass in moss – dominated crusts in the Gurbantunggut Desert, Northern China // Catena, 2018, v. 169, pp. 175–182.
- [25] Zhang Q., Shao M., Jia X., Wei X. Changes in soil physical and chemical properties after short drought stress in semi-humid forests // Geoderma, 2019, v. 338, pp. 170–177.
- [26] Kante N., Kryshchuk M., Lavendels J. Charged Particle Location Modeling Based Experiment Plan Acquisition Method // Procedia Computer Science, 2017, v. 104, pp. 592–597.

- [27] Baraffe H.D., Cosson M., Bect J., Delille G., Francois B. A novel non-intrusive method using design of experiments and smooth approximation to speed up multi-period loadflows in distribution network planning // *Electric Power Systems Research*, 2018, v. 154, pp. 444–451.
- [28] Hong Y., Wang Y., Wu J., Jiao L., Chang X. Developing a mathematical modeling method for determining the potential rates of microbial ammonia oxidation and nitrite oxidation in environmental samples // *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2018, v. 133, pp. 116–123.
- [29] Jayanudin J., Fahrurrozi M., Wirawan S.K., Rochmadi R. Mathematical modeling of the red ginger oleoresin release from chitosan-based microcapsules using emulsion crosslinking method // *Engineering Science and Technology*, 2019, v. 22, iss. 2, pp. 458–467.
- [30] Stephenson C.L., Harris C.A. An assessment of dietary exposure to glyphosate using refined deterministic and probabilistic methods // *Food and Chemical Toxicology*, 2016, v. 95, pp. 28–41.

Сведения об авторах

Серегин Николай Григорьевич [✉] — канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), SereginNG@mgsu.ru

Запруднов Вячеслав Ильич — д-р техн. наук, профессор ФГБОУ ВО МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), zaprudnov@mgu.ac.ru

Поступила в редакцию 27.09.2022.

Одобрено после рецензирования 16.11.2022.

Принята к публикации 22.11.2022.

MECHANICAL ACTIVATION METHOD FOR OBTAINING CEMENT-GROUND PILES BINDER

N.G. Seregin^{1✉}, V.I. Zaprudnov²

¹Moscow State Building University (NIU MGSU), 26, Yaroslavl highway, 129337, Moscow, Russia

²BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institutskaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

SereginNG@mgsu.ru

The physicochemical processes of grinding substances by mechanical activation method are considered. The analysis of the processes occurring in solid bodies during their mechanical processing is carried out. The main types of defects arising in the process of mechanical processing of layered silicates are described. For mechanical activation, the most common types of mills are presented, which include disintegrators and planetary mills. The principles of operation of disintegrators and planetary mills are considered in detail. Classification of mills intended for clinker grinding is given. The dependence of the specific energy consumption for clinker grinding and the strength of the samples on the type of mills is analyzed. The dependence of the specific surface of the crushed clinker and the strength of the samples on the speed of the rotor of the impact-reflective mill is investigated. Recommendations on the choice of the type of clinker grinding mills are given.

Keywords: drilling method, pile foundation, cement-ground piles, binder, mechanical activation method, clinker

Suggested citation: Seregin N.G., Zaprudnov V.I. *Mekhanoaktivatsionnyy sposob polucheniya vyazhushchego dlya ustroystva tsementogruntovykh svay* [Mechanical activation method for obtaining cement-ground piles binder]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2023, vol. 27, no. 1, pp. 114–120. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-1-114-120

References

- [1] Seregin N. An integrated way to improve the properties of soil-cement pile foundations. *J. E3S Web of Conferences*, 2020, no. 157, p. 06006.
- [2] Seregin N.G. Feasibility for the implementation of cement piles. *J. OP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020, no. 953, p. 012093.
- [3] Seregin N.G., Isaev V.G. *Rezultaty issledovaniya iznosostoykosti konstruktivnykh materialov* [Results of a study of the wear resistance of structural materials]. *Informatsionno-tekhnologicheskii vestnik* [Information and Technological Bulletin], 2020, no 2 (24), pp. 172–178.
- [4] Seregin N.G., Zaprudnov V.I. *Opreделение optimal'nykh sostavov tsementogruntovykh pri ustroystve svaynykh fundamentov burosmesitel'nykh sposobom* [Determination of the optimal compositions of cement soils when arranging pile foundations using the drilling mixing method]. *Lesnoy Vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, v. 25, no 5, pp. 106–110. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-5-106-110
- [5] Seregin N. Parametric Model of Cement Soil. // *Technological Advancements in Construction. Lecture Notes in Civil Engineering*, 2022, v. 180. Springer, Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-83917-8-43>.
- [6] Seregin N.G., Egorov E.A. *Osnovaniya i fundamenty zdaniy i sooruzheniy* [Bases and foundations of buildings and structures]. Moscow: MISI-MGSU. Available at: <http://lib.mgsu.ru> (accessed 15.05.2022).

- [7] Zaprudnov V.I. *Stroitel'noe delo i materialy* [Construction business and materials]. St. Petersburg: Lan', 2022, 596 p.
- [8] Ang J.B., Fredriksson P.G. Trade, Global Policy and the Environment: New Evidence and Issues. *J. of Comparative Economics*, 2018, no. 46, pp. 616–633.
- [9] Garmanov G., Urazaeva N. The paper presents design and calculation of cost effectiveness of various types of foundations on the example of the city of Vologda. *Procedia Engineering*, 2015, no. 117, pp. 465–475.
- [10] Aguiar dos Santos R., Rogério Esquivel E. Saturated anisotropic hydraulic conductivity of a compacted lateritic soil. *J. of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 2018, no. 10, pp. 986–991.
- [11] Lu Z., Xian S., Yao H., Fang R., She J. Influence of freeze-thaw cycles in the presence of a supplementary water supply on mechanical properties of compacted soil. *Cold Regions Science and Technology*, 2019, no. 157, pp. 4252.
- [12] Sakai T., Nakano M. Interpretation of the mechanical behavior of embankments having various compaction properties based on the soil skeleton structure. *Soils and Foundations*, 2015, no. 55, pp. 1069–1085.
- [13] Kumor L.A., Kumor M.K. Changes in mechanical parameters of soil, considering the effect of additional compaction of embankment. *Transportation Research Procedia*, 2016, no. 14, pp. 787–796.
- [14] Ang J.B., Fredriksson P.G. Trade, Global Policy, and the Environment: New Evidence and Issues. *J. of Comparative Economics*, 2018, no. 46, pp. 616–633.
- [15] Hong Z. Executive labor market segmentation: How local market density affects incentives and performance. *J. of Corporate Finance*, 2018, v. 50, pp. 1–21.
- [16] Garmanov G., Urazaeva N. Design and Calculation of Cost Effectiveness of Various Types of Foundations in Central Russia. *Procedia Engineering*, 2015, v. 117, pp. 465–475.
- [17] Baril G.L., Wright J.C. Different types of moral cognition: Moral stages versus moral foundations. *Personality and Individual Differences*, 2012, v. 53, iss. 4, pp. 468–473.
- [18] Kong G., Cao T., Hao Y., Zhou Y., Ren L. Thermomechanical properties of an energy micro pile — raft foundation in silty clay. *Underground Space*, 2019, no. 6 (3), pp. 1–9.
- [19] Li J., Wang X., Guo Y., Yu X. Vertical bearing capacity of the pile foundation with restriction plate via centrifuge modelling. *Ocean Engineering*, 2019, v. 181, pp. 109–120.
- [20] Santos R., Esquivel E. Saturated anisotropic hydraulic conductivity of a compacted lateritic soil. *J. of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 2018, v. 10, iss. 5, pp. 986–991.
- [21] Lu Z., Xian Sh., Yao H., Fang R., She J. Influence of freeze-thaw cycles in the presence of a supplementary water supply on mechanical properties of compacted soil. *Cold Regions Science and Technology*, 2019, v. 157, pp. 42–52.
- [22] Sakai T., Nakano M. Interpretation of the mechanical behavior of embankments having various compaction properties based on the soil skeleton structure. *Soils and Foundations*, 2015, v. 55, iss. 5, pp. 1069–1085.
- [23] Kumor L.A., Kumor M.K. Changes in Mechanical Parameters of Soil, Considering the Effect of Additional Compaction of Embankment. *Transportation Research Procedia*, 2016, v. 14, pp. 787–796.
- [24] Zhao R., Hui R., Liu L., Xie M., An L. Effects of snowfall depth on soil physical–chemical properties and soil microbial biomass in moss – dominated crusts in the Gurbantunggut Desert, Northern China. *Catena*, 2018, v. 169, pp. 175–182.
- [25] Zhang Q., Shao M., Jia X., Wei X. Changes in soil physical and chemical properties after short drought stress in semi-humid forests. *Geoderma*, 2019, v. 338, pp. 170–177.
- [26] Kante N., Kryshchuk M., Lavendels J. Charged Particle Location Modeling Based Experiment Plan Acquisition Method. *Procedia Computer Science*, 2017, v. 104, pp. 592–597.
- [27] Baraffe H.D., Cosson M., Bect J., Delille G., Francois B. A novel non-intrusive method using design of experiments and smooth approximation to speed up multi-period load-flows in distribution network planning. *Electric Power Systems Research*, 2018, v. 154, pp. 444–451.
- [28] Hong Y., Wang Y., Wu J., Jiao L., Chang X. Developing a mathematical modeling method for determining the potential rates of microbial ammonia oxidation and nitrite oxidation in environmental samples. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2018, v. 133, pp. 116–123.
- [29] Jayanudin J., Fahrurrozi M., Wirawan S.K., Rochmadi R. Mathematical modeling of the red ginger oleoresin release from chitosan-based microcapsules using emulsion crosslinking method. *Engineering Science and Technology*, 2019, v. 22, iss. 2, pp. 458–467.
- [30] Stephenson C.L., Harris C.A. An assessment of dietary exposure to glyphosate using refined deterministic and probabilistic methods. *Food and Chemical Toxicology*, 2016, v. 95, pp. 28–41.

Authors' information

Seregin Nikolay Grigor'yevich [✉] — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the Moscow State Building University (NIU MGSU), SereginNG@mgsu.ru

Zaprudnov Vyacheslav Il'ich — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), zaprudnov@mgu.ac.ru

Received 27.09.2022.

Approved after review 16.11.2022.

Accepted for publication 22.11.2022.

Вклад авторов: все авторы в равной доле участвовали в написании статьи
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов
Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article
The authors declare that there is no conflict of interest