Тема: «Армированные геополимерные композиты и экологичные стабилизаторы грунта на их основе: структурообразование, стабильность, межфазные взаимодействия»

Российский научный фонд

Проведение исследований научными группами под руководством молодых ученых» Президентской программы исследовательских проектов, реализуемых ведущими учеными, в том числе молодыми учеными

Соглашение № 19-79-10266от 08.08.2019 года

Срок выполнения: 08 августа 2019 – 30 июня 2022 гг.

Современные масштабы развития и темпы строительства железных и автомобильных дорог остро ставят вопрос рационального и экологического использования природных ресурсов. Недостаток качественных местных строительных материалов, сложность и затратность их доставки, правовые ограничения на использование земель – всё это ведёт к необходимости создания технологии использования фактически непригодных для строительства грунтов, за счёт улучшения их физико-механических характеристик. Актуальность решения этой проблемы связана со значительным распространением на территории РФ, где ведется обширное строительство транспортных объектов, жирных набухающих глин, использование которых в теле земляного полотна имеет значительные ограничения, связанные с сильной зависимостью их физико-механических характеристик от влажности, пучинистостью, склонностью менять свои свойства и характеристики при циклах увлажнения-высыхания. Эта проблема довольно остро стоит и негативно сказывается на конечной стоимости строительства стратегически важных государственных проектов, в частности, в республике Крым, где ведется обширное строительство транспортных объектов, реализации строящейся железнодорожной магистрали «Северный широтный ход» в Ямало-Ненецком автономном округе, а также реализации проектов высокоскоростного и тяжеловесного железнодорожного сообщения, предусмотренных Указом Президента РФ от 16.03.2010 г. № 321 «О мерах по организации движения высокоскоростного железнодорожного транспорта в РФ», Прогнозом долгосрочного социально – экономического развития Российской Федерации на период до 2030 года, а также Транспортной стратегией Российской Федерации на период до 2030 года. Согласно действующим нормативным требованиям (СП 34.13330.2012, СП 32-104-98) использование набухающих жирных глин без дополнительных мероприятий, обеспечивающих сохранение свойств этих грунтов под воздействием неблагоприятных погодно-климатических факторов, в теле земляного полотна не допускается. По этим причинам поиск эффективных и малозатратных методов улучшения физико-механических свойств набухающих жирных глин путем их обработки высокоэффективными, экономически выгодными и экологически безопасными вяжущими материалами является чрезвычайно важной задачей.

Одним из наиболее широко используемых строительных материалов в самых различных приложениях, включая технологии стабилизации грунтов, являются цементные вяжущие. Ежегодно в мире каждая отрасль промышленности в среднем использует около 12 миллиардов тонн бетона и около 1,6 миллиарда тонн портландцемента. В связи с интенсивным ростом цен на цемент, важное значение приобретает задача сохранения эксплуатационных характеристик материалов на его основе при снижении расхода вяжущего и, что особенно актуально в настоящее время, уменьшения производственных энергозатрат, а также техногенного воздействия цементной промышленности на окружающую среду. По некоторым оценкам при производстве 1 тонны цемента в атмосферу выделяется около 1 тонны СО2. На долю цементной промышленности во всем мире в среднем приходится 5-8% от общего объема выбросов CO2. Данная отрасль занимает третье место среди промышленных отраслей по выбросам этого парникового газа после транспорта и энергетики. Цементное производство также сопряженно с выбросом SO3 и NOx, которые также могут вызвать парниковый эффект и образование кислотных осадков. Кроме того, при производстве цемента имеются энергоемкие процессы, в частности помол сырья и клинкера с последующим обжигом последнего при температуре 1400…1500 °С. В связи с этим развитие производства портландцемента в ближайшем будущем будет сталкиваться с энергетическими и экологическими проблемами.

Для снижения воздействия цементной промышленности на окружающую среду, в качестве перспективной энерго- и ресурсосберегающей альтернативы портландцемента на сегодняшний день могут являться геополимеры, представляющие собой неорганические полимеры с трехмерной структурой образованный низкотемпературной поликонденсацией тонкодисперсных аморфных или кристаллических алюмосиликатных материалов, активированных растворами щелочей или солей, имеющими щелочную реакцию (в частности, гидроксидов, силикатов или алюминатов калия и натрия) [7,8].

В последнее десятилетие во всем мире наблюдается экспоненциальный рост числа научных публикаций в области геополимеров. Повышенный интерес к этим материалам, объясняется их высокими механическими, термическими и барьерными характеристиками. Получаемые щелочной активации вяжущих геополимеры обладают низкой проницаемостью и высоким показателем рН поровой жидкости, что обеспечивает им высокую стойкость к коррозии арматурной стали. Хорошая устойчивость геополимеров к агрессивным средам и значительно более высокая в сравнении с обычным полимером термическая стабильность, в сочетании с высокими механическими характеристиками, делает эти материалы пригодными для работы в неблагоприятных природно-климатических условиях. Кроме того, геополимеры имеют развитую пористую структуру, что может являться предпосылкой, в частности, для их применении в качестве изолирующего материала. Их применяют в качестве связующего в составе стройматериалов, прежде всего, бетонов и строительных растворов, теплоизоляционных и огнеупорных материалов, матриц для изолирования и нейтрализации токсичных отходов. Немаловажным доводом в пользу использования геополимеров также является то обстоятельство, что по сравнению с портландцемента, их производство может обеспечить уменьшение образования парниковых газов до 80%.

Проект направлен на разработку технологии синтеза неорганических полимеров (геополимеров) на основе тонкодисперсных аморфных и/или кристаллических алюмосиликатных материалов, активированных растворами щелочей или солей, имеющими щелочную реакцию, а также композиционных материалов на их основе, армированных натуральными целлюлозными волокнами. Исследование возможности использования данных материалов для стабилизации набухающих жирных глин с целью улучшения их физико-механических свойств, обеспечивая возможность использования ранее непригодных для строительства материалов, позволив решить проблему недостатка для строительства местных грунтов со значительным экономическим эффектом.

Решение поставленных задач будет способствовать решению важнейших практических задач, стоящих перед строительным и транспортным комплексом РФ, в части повышения показателей экологичности, энерго- и ресурсосбережения технологии строительства железных и автомобильных дорог, повышения надежности работы и устойчивости объектов транспортной инфраструктуры и инженерных сооружений, а также уменьшения интенсивности накопления расстройств и дефектов конструкции железных и автомобильных дорог за счет повышения качества грунтов оснований, стабилизированных разрабатываемыми геополимерными композиционными материалами, с существенным экономическим эффектом за счет сокращения стоимости строительства.

По результатам проведения исследований выполнен аналитический обзор по тематике проекта, включающий анализ перспектив использования отходов добычи и обогащения рудного сырья в геополимерах и щелочно-активированных материалах с особым акцентом на физико-химические аспекты формирования структуры и свойств рассматриваемых материалов, а также технологических факторов их определяющих. Систематизированы и проанализированы особенности химического и минерального состава отходов обогащения (хвостов), используемых в геополимерах, а также их физические свойства. Обсуждены описанные в литературе способы утилизации хвостов в качестве прекурсоров или наполнителей геополимеров, а также общие закономерности процесса геополимеризации. Проанализирована структура, особенности процесса выщелачивания, механические, термические и другие свойства данных материалов. Описаны области их применения. Освещены технологические проблемы и перспективы развития данной области исследований.

Выполнен комплекс работ по теоретическим исследованиям (компьютерный дизайн материалов) с использованием ресурсов суперкомпьютера «Ломоносов» лаборатории параллельных информационных технологий научно исследовательского вычислительного центра МГУ им. М.В. Ломоносова. DFT исследование характера межфазных взаимодействий в геополимерах различного стехиометрического состава и влияния фактора примесей на пространственную и электронную структуру геополимера проведено на примере его кристаллической фазы, соответствующей цеолитной структуре.

Проведены экспериментальные исследования по разработке технологии получения и изготовлению геополимерных композитов, армированных натуральными целлюлозными волокнами. Впервые была оценена возможность использования низкосортной льняной продукции (пакли) для приготовления новых «зеленых» геополимерных композитов на основе зольной пыли с объемно-произвольной ориентацией коротких волокон (0.25-1.0 вес.%), а также анализ их механических свойств, характера разрушения и микроструктуры. В развитие экспериментальной работы исследовано влияние предварительной обработки льняной пакли (ЛП) путем механической очистки ее от костры и сорных примесей с последующей мерсеризацией водном растворе NaOH и ультразвуковой (УЗ) кавитационной обработкой высокой интенсивности в щелочной среде, на механические характеристики и микроструктуру геополимерных (ГП) композитов на основе зольной пыли.

**Текущие результаты работы представлены в следующих публикациях:**

- Krishna, R.S., Shaikh, F., Mishra, J., Lazorenko, G., Kasprzhitskii, A., Mine tailings-based geopolymers: Properties, applications and industrial prospects (2021) Ceramics International. DOI: [10.1016/j.ceramint.2021.03.180](https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2021.03.180" \t "_blank" \o "Persistent link using digital object identifier)

- Lazorenko, G., Kasprzhitskii, A., Shaikh, F., Krishna, R.S., Mishra, J. Utilization potential of mine tailings in geopolymers: Physicochemical and environmental aspects (2021) Process Safety and Environmental Protection, 147, pp. 559-577. DOI: 10.1016/j.psep.2020.12.028

- Lazorenko, G., Kasprzhitskii, A., Yavna, V., Mischinenko, V., Kukharskii, A., Kruglikov, A., Kolodina, A., Yalovega, G. Effect of pre-treatment of flax tows on mechanical properties and microstructure of natural fiber reinforced geopolymer composites (2020) Environmental Technology and Innovation, 20, статья № 101105. DOI: 10.1016/j.eti.2020.101105

-Lazorenko, G., Kasprzhitskii, A., Yavna, V. Comparative study of the hydrophobicity of organo-montmorillonite modified with cationic, amphoteric and nonionic surfactants (2020) Minerals, 10 (9), статья № 732, pp. 1-8. DOI: 10.3390/min10090732

- Lazorenko, G., Kasprzhitskii, A., Kruglikov, A., Mischinenko, V., Yavna, V. Sustainable geopolymer composites reinforced with flax tows (2020) Ceramics International, 46 (8), pp. 12870-12875. DOI: 10.1016/j.ceramint.2020.01.184

**Результаты работы представлены на следующих конференциях:**

- 5th Green and Sustainable Chemistry Conference, г. Дрезден (Германия), 10-11 ноября 2020 г.