

March 2024

OBTAINING SULFUR POLYMER CONCRETE USING PRODUCTION WASTE

Durdymurad GADAMOV

Centre of Technologies of Academy of Sciences of Turkmenistan, Ashgabat, Turkmenistan,
gadamov2022@gmail.com

Umida ZIYAMUKHAMEDOVA

Tashkent State Transport University, Tashkent, Uzbekistan, z.umida1973@yandex.ru

Meretmuhammet HUDAYBERDIYEV

Centre of Technologies of Academy of Sciences of Turkmenistan, Ashgabat, Turkmenistan,
hudayberdiyev.m.b@mail.ru

Follow this and additional works at: <https://cce.researchcommons.org/journal>

Recommended Citation

GADAMOV, Durdymurad; ZIYAMUKHAMEDOVA, Umida; and HUDAYBERDIYEV, Meretmuhammet (2024) "OBTAINING SULFUR POLYMER CONCRETE USING PRODUCTION WASTE," *CHEMISTRY AND CHEMICAL ENGINEERING*: Vol. 2023: No. 1, Article 2.

DOI: 10.34920/cce202312

Available at: <https://cce.researchcommons.org/journal/vol2023/iss1/2>

This Article is brought to you for free and open access by Chemistry and Chemical Engineering. It has been accepted for inclusion in CHEMISTRY AND CHEMICAL ENGINEERING by an authorized editor of Chemistry and Chemical Engineering. For more information, please contact zuchra_kadirova@yahoo.com.

OBTAINING SULFUR POLYMER CONCRETE USING PRODUCTION WASTE

Durdymurad GADAMOV¹ (gadamov2022@gmail.com),
Umida ZIYAMUKHAMEDOVA² (z.umida1973@yandex.ru),
Meretmuhammet HUDAYBERDIYEV¹ (hudayberdiyev.m.b.@mail.ru)
¹Centre of Technologies of Academy of Sciences of Turkmenistan, Ashgabat, Turkmenistan
²Tashkent State Transport University, Tashkent, Uzbekistan

The aim of the study is to develop the composition of sulfur polymer concrete (SPB) based on the waste "cake" from the production of sulfuric acid from sulfur dioxide, steppe quartz sand, as well as the pyrolysis residue of polymer production. Some identified features of solid-phase processes controlled by the chemical interaction of the SPB charge components with liquid (molten) sulfur are presented, as well as the results of scientific studies of factors affecting the quality of the SPB samples.

Keywords: sulfur polymer concrete, composition, modifier, pyrolysis residue, modified sulfur, sulfur residue, gaseous sulfur

ПОЛУЧЕНИЕ СЕРОПОЛИМЕРБЕТОНОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОТХОДОВ

Дурдымурат ГАДАМОВ¹ (gadamov2022@gmail.com),
Умида ЗИЯМУХАМЕДОВА² (z.umida1973@yandex.ru),
Меретмухаммет ХУДАЙБЕРДИЕВ¹ (hudayberdiyev.m.b.@mail.ru)
¹Центр технологий Академии наук Туркменистана, Ашгабат, Туркменистан
²Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

Целью исследования является разработка состава серополимерного бетона (СПБ) на основе отхода «кек» производства серной кислоты из сернистого газа, степного кварцевого песка, а также пиролизного остатка полимерного производства. Приводятся некоторые выявленные особенности твердофазных процессов, контролируемых химическим взаимодействием компонентов шихты СПБ с жидкой (расплавленной) серой, а также результаты научных исследований факторов, влияющих на качество проб СПБ.

Ключевые слова: модификатор, продукт пиролиза, модифицированная сера, отходы серы, газовая сера

SANOAT CHIQINDILARIDAN FOYDALANILGAN HOLDA OLTINGUGURTLI POLIMER-BETONNI ISHLAB CHIQUISH

Durdymyrat GADAMOV¹ (gadamov 2022@gmail.com),
Umida ZIYAMUXAMEDOVA² (z.umida1973@yandex.ru),
Meretmuhammet HUDAYBERDIYEV¹ (hudayberdiyev.m.b.@mail.ru)
¹Turkmaniston Fanlar Akademiyasi Texnologiya Markazi, Ashgobod, Turkmaniston
²Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, O'zbekiston

Tadqiqotning maqsadi oltingugurt dioksidi, dasht kvars qumidan sulfat kislota ishlab chiqarish chiqindilari "kek" asosida, shuningdek, polimer ishlab chiqarishning piroliz qoldig'i asosida oltingugurtli polimer beton (OPB) tarkibini ishlab chiqishdan iborat. OPB zaryad komponentlarining suyuq (erigan) oltingugurt bilan kimyoviy o'zaro ta'siri bilan boshqariladigan qattiq fazali jarayonlarning ba'zi aniqlangan xususiyatlari, shuningdek, OPB namunalari sifatiga ta'sir qiluvchi omillarning ilmiy tadqiqotlari natijalari keltirilgan.

Kalit so'zlar: modifikator, piroliz mahsuloti, modifikatsiyalangan oltingugurt, oltingugurt chiqindilari, gaz oltingugurt

DOI: 10.34920/cce202312

Введение

При открытии, разработке и вводе в эксплуатацию новых месторождений природного газа появляется проблема, связанная с содержанием в них соединений серы. Одним из приоритетных направлений является промышленное использование серы, образующейся при переработке природного газа [1-7].

Особенно широкие возможности представляет применение серы при производстве новых строительных материалов и изделий [8-23]

Использование отходов серы при приготовлении серобетона в ряде случаев более эффективно, чем использование самой элементарной серы, поскольку карбонатные частицы

в его составе играют роль модификатора в процессе согласования компонентов вяжущего или смеси, а сера играет роль катализатора реакции углеводородных компонентов [24-29].

Немаловажное влияние в деле получения качественных серосодержащих строительных материалов имеют модификаторы [30-42].

Сегодня с развитием промышленности увеличивается объем добываемого природного газа и извлекаемой из него «газовой» серы. Утилизация серосодержащих отходов промышленных предприятий, в том числе переработка отходов «кек», образующихся в процессе производственной деятельности предприятий химической промышленности, является одной из актуальных проблем. Именно поэтому в со-

временных технологиях и материалоемких производствах задачи в области нейтрализации серы и дальнейшего использования ее остатков имеют высокий приоритет.

Целью исследования является разработка состава серополимерного бетона (СПБ) на основе отхода «кек» производства серной кислоты из сернистого газа, степного кварцевого песка, а также пиролизного остатка полимерного производства Киянлинского завода.

Методы исследования

При производстве этилена и пропилена на газохимических комплексах продукт пиролиза также образуется как побочный продукт в результате крекинга природного газа.

В исследовании использовался продукт пиролиза, полученный по ТУ 13684330-02-2020.

При анализе физико-химические свойства продукта пиролиза были изучены стандартными методами (TDS 127.2-93).

Количественное содержание органических соединений в продукте пиролиза, определено с использованием газожидкостного хроматографа Agilent Technologies 7890, оснащенного масс-селективным детектором (МСД) серии 5975.

Получение жидкой полимерной мастики. В реактор загружают отходы серы и смесь серы ("кек") (в соотношении массовых долей 1:0,25) при высокой температуре 135-140 °С; растворение сернистого остатка в сере происходит с выделением тепла при их химическом взаимодействии - в ходе реакции температура самопроизвольно повышается до 156-162 °С (растворение карбонатов в жидкой сере – экзотермическая реакция), а после перемешивания в течение 15-25 мин, она снижается до изначальных показателей. После полного плавления серной смеси, её повторно нагревают до 80 °С и небольшими порциями добавляют продукт пиролиза (до 1,7-2% по массе); смесь в реакторе повторно нагревают и, в зависимости от общего количества добавляемого продукта пиролиза, температура реакционной смеси повышается до 153-157 °С, а в благоприятных условиях реакции сополимеризации до 168-175 °С (образование сополимера продукта пиролиза серы происходит за счет экзотермической реакции). Для завершения процесса

образования сополимера, реакционную смесь при интенсивном перемешивании выдерживают в реакторе и интенсивно перемешивают в течение 20-30 минут. При перемешивании температура снижается до 135-140 °С.

Получение серополимербетона. Для получения серополимербетона жидкую полимерную мастику, состоящую из сополимера серы и ее остатка, перемешивают при 145-147 °С, при той же температуре последовательно и в малых порциях добавляют кварцевый песок фракции 0,14-0,63 мм и дробленый гравий фракции 0,315-1,25 мм, формируют образцы серобетона размерами 100x100x100 см³ из мелко- и среднезернистых фракций минеральных порошков. Полученная полимербетонная смесь постепенно схватывается и получает желто-зеленый цвет (если в бетоне содержится сера и песок) или в цветовом спектре от серого до темно-серого (при наличии остатков серы и гравия). Полимеризуется полностью за сутки.

Физико-технические свойства серобетона определяли в соответствии с ГОСТ 10180-2012 и ГОСТ 25192-2012.

Изучено поглощение света составом функциональных групп модифицированной серы с пиролизным остатком при длине волны 4000 – 500 см⁻¹ спектра на преобразователе Фурье ThermoFisher Scientific ИК спектрофотометре.

Результаты и их обсуждение

Количественное содержание органических соединений в продукте пиролиза, представлено в таблице 1.

Результаты химического анализа отходов серы и газовой серы представлены в таблице 2. Как видно из таблицы 2, содержание элементарной серы в отходах серы составляет 66% по массе, зольный компонент - 34% по массе; основная доля зольных компонентов составляет: диоксид кремния - 49,56%, CaO - 13% и Fe₂O₃ - 8,2%. Активность отхода связана с наличием зольной фракции.

Ориентировочным модельным составом наполнителя для серополимерных бетонов является состав, приведенный в таблице 3.

Свойства полученного серобетона приведены в таблице 4. Как видно из

Таблица 1

Физико-химические показатели и групповой углеводородный состав пиролизного остатка полимерного производства

Физико-химические показатели	Значение
Внешний вид	Густая коричневая жидкость
Плотность, d^{20} , g/sm ³	0,895
Средняя молекулярная масса, m.a.b.	267
Температура возгорания (в герметичном контейнере), °C	40
Вязкость, 40°C, sst	4
Механические смеси	нет
Бромидное число, Br ₂ 100g	28,83
Выделение в соответствии с исходным сырьем, %	10
Групповой углеводородный состав, масса, %	100
изопарафино-нафтеновые углеводороды	7,99
(олефины + ароматические углеводороды)	91,11
В том числе: олефины	48,11
Ароматические углеводороды	43
Смолы	0,9

Таблица 2

Результаты химического отходов серы и газовой серы

Исследуемый состав	Нормативные документы	Наименование индикатора и его количество (% масс.)
Газовая сера	TDS 127.2-93	1. сера - 99,55; 2. зола - 0,033; 3. органические вещества всего - 0,015; 4. кислоты—всего 0,0035
Отходы серы: (нефильтрованный жидкий сернистый продукт)	TDS 127.2-93	Сера - 66%; Зола - 34%, в том числе: -SiO ₂ - 49,56; -CaO- 13% -Fe ₂ O ₃ - 8,2% -Al ₂ O - 0,96%

Таблица 3

Ориентировочный состав шихты для серобетона, модифицированного продуктом пиролиза

Компоненты в составе шихты СПБ	Массовое содержание, %		Примечание
	I вариант	II вариант	
Полимерная мастика (Газовая сера (техническая) + отходы серы)	37	43	Соотношение массы -1: 0.25
Кварцевый песок	37	37	Фракция 0,14-0,63
Гравийная фракция	24	15	Фракция 0,315-1,25 продукта дробления,
Продукт пиролиза	2	5	Модификатор серы

представленных данных, опытный образец № 2 обладает лучшими свойствами. Увеличение содержания серосодержащей мастики и модификатора в сочетании со

снижением содержания гравийной фракции положительно влияет на прочностные свойства бетонов и снижает их плотность до 2,31 г/см³.

Таблица 4

Результаты лабораторных физико-технических испытаний образцов серобетона

Номер образца	Состав шихты, мас. %				Плотность, г/см ³	Водопоглощение, мас. %	Разрушающая нагрузка, МПа
	полимерная мастика	кварцевый песок	гравийная фракция	продукт пиролиза			
№1	37	37	24	2	2,41	0,0005	45
№2	43	37	15	5	2,31	0,0009	82

При растворении серы в сырье и материалах в составе отходов серы, продукта пиролиза от общей суммы реакций, протекающих при обжиге бетона, выделяется большое количество тепла, поэтому из-за экзотермичности этих процессов температура по сравнению с изначальной температурой реакционной смеси повышается, достигая при этом от 153 до 175 °С в зависимости от природы и состава компонентов, и соответственно, реакционная смесь нагревается, что в большей мере способствует процессу термической обработки бетона.

Как известно [23, 39-41], наличие в составе исходной шихты карбонатной составляющей значительно способствует протеканию реакции взаимодействия серы и продукта пиролиза с образованием сополимера серы: вероятно, благодаря каталитическому действию карбонатов и оксидов (CaO, MgO, Al₂O₃) в растворяемом сырье

раствор бетона гомогенизируется (разжижается), что облегчает и поддерживает процесс твердения бетона.

Образование сополимера серы с продуктом пиролизного остатка подтверждено результатами спектроскопического анализа (рис. 1). Длине волны 2344 см⁻¹ соответствуют валентные колебания S-H, а длине волны 694 см⁻¹ – валентные колебания C-S.

Образование сополимера серы с продуктом пиролиза в значительной степени способствует растворению и гомогенизации в нем минеральных компонентов и наполнителей, формированию однородного состава СПБ, что положительно сказывается на прочностных свойствах бетонов.

На основании расчетов и экспериментальных наблюдений установлено, что количество модификатора (продукта пиролиза) в СПБ должно быть до 2-5% при приготовлении бетона. Увеличение/уменьшение количества

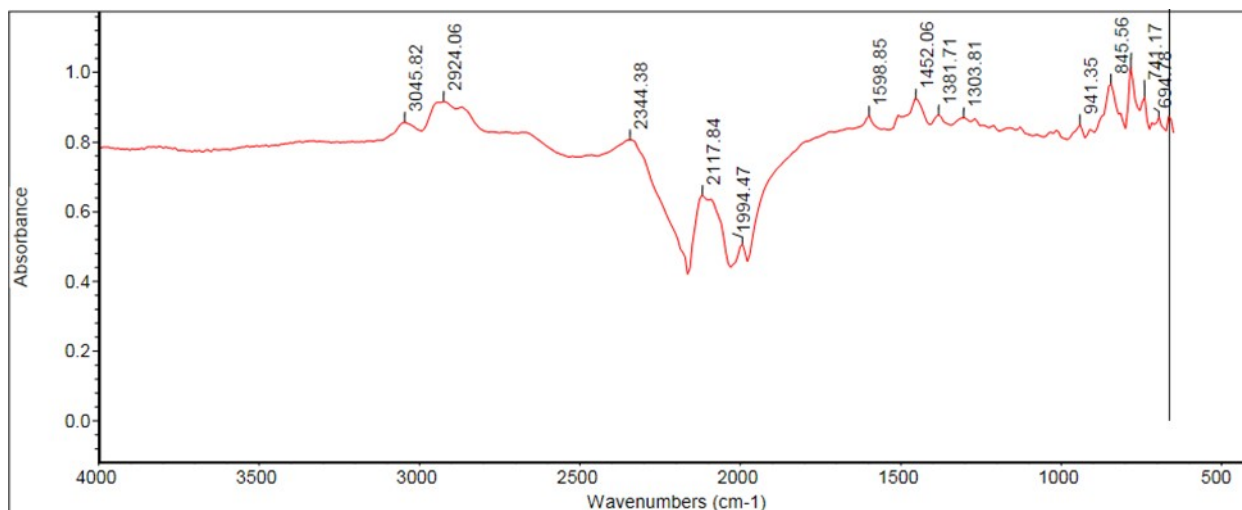


Рисунок 1. ИК спектры сополимера серы с продуктом пиролизного остатка.

модификатора влияет на качество и на прочность продукции.

Определенная экспериментальным путём норма количества серы в составе бетона варьируется в пределах 37-43%, отклонение от этой нормы приводит к снижению качественных показателей СПБ, что чревато смягчением общей массы, её хрупкостью и ломкостью, снижением схватываемости минеральных компонентов в ней. Если содержание серы меньше указанного количества, то сказывается нехватка связующего вещества для скрепления и затвердевания всего минерального состава бетона.

Основным преимуществом СПБ является то, что для их производства не используется вода, а их повторное восстановление является безотходным про-

цессом. В ходе исследований, после деформации образцов серополимербетона в процессе испытаний на прочность, были получены восстановленные образцы СПБ путем их обработки рекомендованным способом, и даже были отлиты образцы после двух- и трехкратной обработки. Это позволяет создавать безотходные технологии.

Заключение

С использованием молекулярной серы и промышленных отходов разработан состав композиционного серополимербетона. Для получения СПБ с высокими стабильными свойствами было определено наилучшее соотношение минеральных компонентов (отвердителя, модификатора и наполнителя), обеспечивающее его улучшенные потребительские характеристики.

REFERENCES

1. Golubeva I.A., Lapidus A.L. Sovremennoye sostoyaniye proizvodstva sery iz prirodnykh gazov. Oblasti primeneniya sery [Modern state of sulfur production from natural gases. Areas of application of sulfur]. *Promyshlenny servis*, 2012, 43/2, pp. 40-46.
2. Yeregin O.G. Vozmozhnosti ispol'zovaniya sery v stroitel'noy industrii [Possibilities of using sulfur in the construction industry]. *Tsvetnaya metallurgiya*, 2005, 11, 14-15.
3. Vasil'yev YU.E., Motin N.V., Sarychev I.YU., Kochetkov A.V. [Physico-chemical bases for the use of sulfur as a material as a binder for sulfur asphalt concrete and sulfur cement concrete]. *Materialy mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii* [Proceedings of the international scientific conference], Kirov, 2013, 64-71.
4. Kislenko N.N., Motin N.V., Medvedev M.A. *Analiz proizvodstva i ispol'zovaniya sery na predpriyatiyakh OAO «Gazprom». Nauchno - tekhnicheskij progress v tekhnologii pererabotki prirodnogo gaza i kondensata* [Analysis of the production and use of sulfur at the enterprises of OAO Gazprom. Scientific and technical progress in the technology of natural gas and condensate processing]. Moscow, 2003, 115-120.
5. Kozhukhova N.V., Bazhanov R.E. Utilizatsiya burovyykh otkhodov i sery neftegazovykh kompleksov [Utilization of drilling waste and sulfur of oil and gas complexes]. *Vestnik nauchnykh konferentsiy. OOO Konsaltingovaya kompaniya Yukom*, 2017, 4-5, 89-91.
6. Lapidus A.L., Golubeva I.A. Sovremennoye sostoyaniye proizvodstva sery iz prirodnykh gazov. Oblasti primeneniya sery [Current state of production of sulfur from natural gases. Areas of application of sulfur]. *Promyshlenny servis*, 2012, 2, 40-46.
7. Remnev V.V. Primeneniye tekhnicheskoy sery v stroitel'stve [The use of technical sulfur in construction]. *Tekhnologii betonov*, 2016, 9-10, 18-19.
8. Belosludtseva L.A. Proizvodstvo sernogo tsementa [Production of sulfur cement]. *Zashchita okruzhayushchey sredy v neftegazovom komplekse*, 2007, 6, 81-83.
9. Volgushev A.N., Shesterkina N.F., Yelfimov V.A. Primeneniye sery i serosoderzhashchikh otkhodov v tekhnologii proizvodstva stroitel'nykh konstruksiy i izdeliy [The use of sulfur and sulfur-containing waste in the technology of production of building structures and products]. *Stroitel'nyye materialy*, 1990, 10, 21-23.
10. Asylbekova G.Ye., Boldishor I.V., Mukanova R.ZH. [Alternative use of sulfur as a raw material for the manufacture of paving slabs]. *Proryvnyye nauchnyye issledovaniya kak dvigatel'. Sbornik statey mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Breakthrough scientific research as an engine: a collection of articles of the international scientific and practical conference]. Samara, 2015, 33-36.
11. Davidiuk A.N. [Concrete modified with polymer compositions and sulfur]. *Teoriya i praktika zashchity ot korrozii: materialy Mezhdunarodnoy konferentsii* [Durability of building structures. Theory and practice of corrosion protection: Proceedings of the International Conference]. Moscow, 2002, 147-151.
12. Dobrosmyslov S.S., Nagibin G.Ye., Nazirov R.A., Zadov V.Ye. [Construction materials based on sulfur binder and ash and slag waste]. *Perspektivnyye materialy v tekhnike i stroitel'stve* [Promising materials in engineering and construction]. Tomsk, 2013, 339-341.
13. Ерофеев В.Т., Соломатов В.И., Яушева Л.С. Технология и свойства строительных композитов на серных связующих. *Вестник МГУ*, 1997, no. 2-3, pp. 134-139.
14. Журавлев А.П., Шаяхмедов Р.И. Производство серного битума и серного цемента. *Газификация. Подготовка, переработка и использование газа*, 2000, no. 8-9, pp. 24-37.
15. Karchevskiy S.G., Sangalov YU.A., Larionov S.L., Lakeyev S.N., Yakovlev V.V., Yakovleva L.A. Kompozitsionnyye materialy na osnove seropolimernykh vyazhushchikh [Composite materials based on sulfur polymer binders]. *Khimicheskaya promyshlennost' segodnya*, 2010, 1, 25-33.
16. Korolev Ye.V. *Radiatsionno-zashchitnyye i korroziionno-stoykiye sernyye stroitel'nyye materialy* [Radiation-protective and corrosion-resistant sulfur building materials]. Moscow, Paleotip Publ., 2006. 272.
17. Korolev Ye.V. Sernyye kompozitsionnyye materialy spetsial'nogo naznacheniya [Sulfur composite materials for special purposes]. *Stroitel'nyye materialy*, 2008, 3, 99-104.
18. Korolev Ye.V. *Stroitel'nyye materialy na osnove sery* [Sulfur based building materials]. Saransk, Mordov. Un-t Publ., 2003. 372.
19. Korolev Ye.V., Boltyshev S.A. *Sernyye kompozity - materialy spetsial'nogo naznacheniya* [Sulfur Composites - Special Purpose Materials]. Penza, PGUAS Publ., 2008. 212.
20. Kukhareno L.V., Lichman N.V., Nikitin I. V. Spetsial'nyye betony na sernom vyazhushchem [Special concretes based on sulfur binder]. *Stroitel'nyye materialy*, 2005, 8, 38-40.
21. Lazovskaya I.V., Yakubovskiy S.F., Glukhov D.O., Lazovskiy Ye.D. Serobeton kak perspektivnyy stroitel'nyy material [Sulfur concrete as a promising building material]. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2017, 8, 53-57.

22. Semenov N.A., Platonova I.V., Filchakova M.V., Belyayeva S.V. Perspektivy i preimushchestva ispol'zovaniya innovatsionnykh materialov na osnove sery v usloviyakh Arktiki [Prospects and benefits of using innovative materials based on sulfur in the Arctic]. *Nauchnyye vesti*, 2019, 4, 156-164.
23. Sangalov YU.A., Karchevskiy S.G. Seropolimerbeton - novyy kompozitsionnyy material [Sulfur polymer concrete is a new composite material]. *Vestnik Akademii nauk Respubliki Bashkortostan*, 2008, 2, 21-28.
24. Maviyev K., Gadamov D.G. Problems of recycling and sulfur and sulfur-containing waste. *Science and technology in Turkmenistan*, 2019, 5, 86-91.
25. Gadamov D.G. *Kükürtli betony almaklyk için kompozisiya* [Composition for obtaining sulfur concrete]. Patent TM, 771, 2017.
26. Vasilovskaya G., Nazirov D.R. Seroasfal'tobeton [Sulfur asphalt concrete]. *Zhurn. Sibirsk. Federal'nogo universiteta. Ser.: Tekhnika i Tekhnologii*, 2011, 4/6, 696-703;
27. Kuz'menkov M.I. Sernyy beton iz otkhodov [Sulfur concrete from waste]. *Stroitel'stvo i arkhitektura*, 1991, 4, 16-18.
28. Kukhareno L.V., Lichman N.V. Serobeton na osnove mestnogo syr'ya i promyshlennykh otkhodov Noril'skogo regiona [Sulfur concrete based on local raw materials and industrial waste from the Norilsk region]. *Stroitel'nyye materialy*, 2000, 1, 25-26.
29. Popova I.A. *Betony s povyshennymi fiziko-tekhnicheskimi svoystvami na osnove serosoderzhashchikh vtorichnykh otkhodov. Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk* [Concrete with improved physical and technical properties based on sulfur-containing secondary waste. Abstract dis. cand. tech. Sciences]. Moscow, 2004. 18 p.
30. Seregin B.N., Strakhova N.A., El'murzayev A.A., Kortovenko L.P. Proizvodstvo i ispol'zovaniye modifitsirovannoy sery v kompozitsionnykh materialakh [Production and use of modified sulfur in composite materials]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. 2016. 45/64, 67-75.
31. Proshin A.P., Korolev Ye.V., Kalinkin Ye.G. Struktura i svoystva modifitsirovannogo sernogo vyazhushchego [Structure and properties of the modified sulfur binder]. *Stroitel'nyye materialy*, 2005, 7, 6-10.
32. Orlovskiy YU.I., Trush L.Ye., Yur'yeva Ye.V. Issledovaniye svoystv modifitsirovannykh sernykh vyazhushchikh [Study of the properties of modified sulfur binders]. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 1985, 4, 66-69.
33. Sakanov D.K., Borshchova N.M., Borshchov N.V. Primeneniye modifitsirovannoy sery v sostave asfal'tobetonov [The use of modified sulfur in the composition of asphalt concrete]. *Vestnik Kazakhskoy akademii transporta i kommunikatsiy im. M. Tynyshpayeva*, 2018, 105/2, 166-174.
34. Skripunov D.A., Motin N.V., Nedel'kin V.I. Protseess modifikatsii kak variant rasshireniya oblasti ispol'zovaniya sery [Modification process as an option for expanding the scope of sulfur use]. *Khimicheskaya promyshlennost' segodnya*, 2015, 8, 1118-1123.
35. Skripunov D.A., Motin N.V., Chaukina ZH.N., Valyushis-Ambolt I.V., Nedel'kin V.I. Issledovaniye stabil'nosti modifitsirovannoy sery [Study of the stability of modified sulfur]. *Neftepererabotka i neftekhiymiya. Nauchno-tekhnicheskiye dostizheniya i peredovoy opyt*, 2016, 8, 23-26.
36. Kamysbayeva G.B., Selenova B.S. *Novyye modifikatory sernogo vyazhushchego, dlya polucheniya serobetonov povyshennoy prochnosti* [New sulfur binder modifiers for obtaining high-strength sulfur concrete]. Kazan, 2009, 174.
37. Tkhyui Zang Le N'yat, Yepishkin N.A., Balabanov V.B., Baryshok V.P. Bysokoprochnyye betony na osnove sernogo vyazhushchego s primeneniyyem modifikatorov [High-strength concretes based on sulfur binder with the use of modifiers]. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'*, 2017, 7/4, 155-161. DOI: 10.21285/2227-2917-2017-4-155-161
38. Starynin A.YU. [Investigation of the effect of modified sulfur on sulfur-asphalt-concrete mixtures of grade II type B]. *Gaz, nef't, energetika. Tezisy doklada na konferentsi* [Gas, oil, energy. Abstracts of the report at the conference]. Moscow, 2017, 218.
39. Usov B.A., Volgushev A.N. *Tekhnologiya modifitsirovannykh sernykh betonov* [Technology of modified sulfur concrete]. Moscow, MGOU, 2010. 321.
40. Bae S.G., Gwon S.W., Kim S.W., Cha S.W. Physical properties of sulfur concrete with modified sulfur binder. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, 2014, 34/3, 763-771.
41. Bahrami Adeh N., Mohtadi Haghighi M., Mohammad Hosseini N. Preparation of sulfur mortar from modified sulphur. *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, 2008, 27/1, 123-127.
42. Balabanov V., Baryshok V., Epishkin N. Concrete based on sulfur binder being modified with inorganic additives. *MATEC Web of Conferences*, 2018, 212, 01013. DOI: 10.1051/mateconf/201821201013.