

DOI - 10.32743/UniTech.2022.97.4.13539

**МОДИФИКАЦИЯ СЕРЫ ГОССИПОЛОВОЙ СМОЛОЙ  
ИЛИ ПИРОЛИЗНЫМ ДИСТИЛЛЯТОМ И ПОЛУЧЕНИЕ СЕРНОГО БЕТОНА****Тураев Хайит Худойназарович***д-р хим. наук, профессор,  
Термезского государственного университета,  
Республика Узбекистан, г. Термез***Аманова Нодира Давлятовна***PhD  
Термезского государственного университета,  
Республика Узбекистан, г. Термез  
E-mail: [amanova0176@gmail.com](mailto:amanova0176@gmail.com)***Хайитова Жавхар Мураталиевна***PhD  
Термезского государственного университета,  
Республика Узбекистан, г. Термез***Махмудова Юлдуз Азамат кизи***студент  
Национальный университет Узбекистана,  
Республика Узбекистан, г. Ташкент***Ахадов Бехзод Баходирович***магистрант  
Термезского государственного университета,  
Республика Узбекистан, г. Термез***MODIFICATION OF SULFUR WITH GOSSYPOL RESIN OR PYROLYSIS DISTILLATE  
AND PRODUCTION OF SULFUR CONCRETE****Hayit Turaev***Dr chem. sciences, professor  
Termez State University,  
Republic of Uzbekistan, Termez***Nodira Amanova***PhD  
Termez State University,  
Republic of Uzbekistan, Termez***Zhavkhar Khayitova***PhD.  
Termez State University,  
Republic of Uzbekistan, Termez***Yulduz Makhmudova***Student  
National University of Uzbekistan,  
Uzbekistan, Tashkent***Bekhzod Ahadov***Master,  
Termez State University,  
Republic of Uzbekistan, Termez*

## АННОТАЦИЯ

Изучены оптимальные условия проведения процесса модификации серы из госсиполовой смолы и пиролизного дистиллята. Проведены его термический анализ, ИК-спектроскопия, рентгенофазовый анализ. Термический анализ также показал, что скорость разложения при 400°C составляет около 26%. Рентгенофазовый анализ показал, что большую часть поверхности вещества занимает оксид серы и кремния. На основе этого состава показано, что можно получить серобетон, устойчивый к различным внешним факторам.

## ABSTRACT

The optimal conditions for carrying out the process of sulfur modification from gossypol resin and pyrolysis distillate were studied. Its thermal analysis, IR spectroscopy, X-ray phase analysis were carried out. Thermal analysis also showed that the decomposition rate at 400°C is about 26%. X-ray phase analysis showed that most of the surface of the substance is occupied by sulfur and silicon oxide. Based on this composition, it is shown that it is possible to obtain sulfur concrete that is resistant to various external factors.

**Ключевые слова:** сера, модифицированная сера, модификатор, госсипол, серобетон.

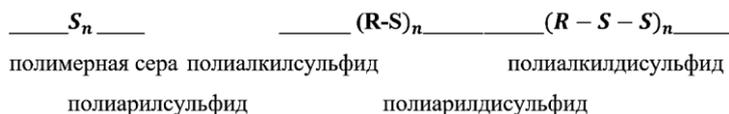
**Keywords:** sulfur, modified sulfur, modifier, gossypol, sulfur concrete.

В мире быстро растет потребление ископаемого топлива, как и количество серы, которая образуется в качестве побочного продукта процесса промышленной очистки топливного сырья. Поскольку ожидается, что в будущем содержание серы будет постоянно увеличиваться, при отсутствии встречного плана потребуются огромные затраты на удаление отходов. Поэтому, модифицируя серу, важно синтезировать серосодержащие связующие и получить на их основе новые типы модифицированного серобетона для получения прочных строительных материалов, таких как асфальт и бетон, устойчивых к различным агрессивным средам.

Сера является десятым по распространенности элементом на земле и с древних времен считалась ценным химическим агентом. Он использовался в медицине, отбеливании тканей, изготовлении фитилей для ламп, в производстве порошка для пистолета, а в последнее время при вулканизации латекса [1; с. 5-66, 2; с. 39-54]. В развитых странах промышленности из остатков нефтепереработки расходуется высоко реакционноспособный и токсичный сероводород ( $H_2S$ ). Из сырой нефти газообразный смеси получается элементарная сера ( $S_8$ ) с технологий теплового расширения [3; с.387-394]. При ежегодном производстве примерно 70 миллионов тонн побочной серы, переработка нефти путем гидрообессеривания в настоящее время является крупнейшим источником производства серы в мире [4; р. 156-157]. Значитель-

ная часть серы используется в промышленном производстве серной кислоты, каучука и удобрений [5] кроме того, современная синтетическая химия также извлекла выгоду из разностороннего химического состава элементарной серы [6; с. 1066–1130]. Однако по-прежнему существует чистый избыток серы, который предлагает мало экономических применений, таким образом, обнаружение крупномасштабных применений этой серы, таких как преобразование в полезные материалы, было бы важным достижением [7; с.2002–298].

За последние несколько десятилетий были достигнуты многочисленные успехи в синтезе новых типов серосодержащих полимеров и модификации свойств некоторых важных классов полимеров путем добавления серы или полисульфидных фрагментов в полимерные композиции [8; с. 2780–2792, 9; с. 246-368]. Эти новые методы синтеза позволили получить ценные полимерные материалы и вызвали большой интерес в этой области, о чем свидетельствуют многочисленные исследования серосодержащих полимеров. Недавние исследования, как академические, так и прикладные, были сосредоточены на улучшении свойств и технологические характеристики этих материалов путем введения групп серы в основную цепь для расширения области технологического применения этих материалов. Различные серосодержащие полимеры были обобщены в различных обзорах [9; с. 246-368].



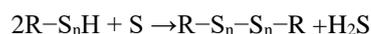
С 2011 года Пюн и другие продвинули эту область, продемонстрировав получение серосодержащих полимеров путем прямой полимеризации элементарной серы с органическими сомономерами. В 2013 году этот процесс был назван обратной вулканизацией, и материалы, полученные с помощью этой методологии, обычно упоминались в новаторской литературе по этой работе как «серосодержащие (со)полимеры» или

полисульфиды. Однако с тех пор предпринимались многочисленные попытки переименовать этот класс полимеров, производных от элементарной серы. К ним относятся «обратные вулканизированные полимеры», впервые появившиеся в 2014 г. [10; с.973-982], «органически модифицированные халькогениды» в 2017 г [11; с.259-262] и совсем недавно «тиополимеры» в 2019 г [12; с.647]. Сложность и избыточность в том, что все

вышеупомянутые термины относятся к одному и тому же классу неорганических/органических веществ. Гибридные полимеры, полученные в результате полимеризации элементарной серы. Независимо от субъективных предпочтений или предубеждений, представленных для обозначения этого класса материалов, важно установить четкую и рациональную рубрику для наименования этих типов полимеров. Эта путаница уже усугубляется номенклатурным сходством и двусмысленностью органо-полисульфидов, неорганических полисульфидов или аллотропов серы. Чтобы отличить полимеры, полученные в результате полимеризации элементарной серы, от других серосодержащих полимеров, мы кратко резюмируем классические термины, используемые для описания этих типов материалов. Исторически термин «полисульфид» относился как к неорганическим формам серосодержащих ковалентных твердых веществ цепей серы ( $-S_n-$ ), ионным соединениям ( $S_n^{2-}$ ,  $n > 2$ ), так и к сероорганическим соединениям, в которых цепь серы оканчивается органическими заместителями. R ( $R-S_n-R$ ). Для решения этой проблемы номенклатура на основе сульфанов и полисульфанов была предоставлена во всестороннем обзоре Стюдель в 2002 году [13]. В соответствии с этой номенклатурой название полисульфид было создано для описания неорганических ионных соединений [14; 737-746, 15; с. 127-152]. Термин «органические полисульфаны» использовался для обозначения описывают соединения типа  $R-S_n-R_{cn} > 2$ , в которых органические остатки (алкил или арил) связаны с серной цепью через атомы углерода. Полимерные материалы, содержащие несколько звеньев серы и углеводороды в основных цепях, часто называют полисульфидными полимерами [6; с. 81-121, 17; с. 165-199, 18; с. 197-210, 19; с. 13-15, 20; с. 73-144, 21; с. 3489-3497, 30]. Пензик и другие были одним из первых, кто провел всесторонний обзор полимеров на основе серы, наиболее распространенными из которых являются полиалкиленсульфиды, полиарилсульфиды, политиомочевины, полисульфоксиды и полисульфоны [9]. С химической структурной точки зрения все эти вышеупомянутые серосодержащие полимеры, показанные на рис. 1, состоят из одного фрагмента C-S на повторяющееся звено. Дисульфидорганические сополимеры также широко исследовались и содержат фрагмент S-S на повторяющееся звено [23; с. 1752-1763, 24; с. 367-388].

В недавнем обзоре Теато и другие элегантно обсудили недавние достижения в получении полимеров, содержащих тиоэферы, тиокарбонаты, тиокарбаматы и тиоамиды, которые содержат несколько C-S-фрагментов на повторяющееся звено, включенное через функциональные группы на основе тиокарбоната. При реагировании серы с неопределенными соединениями первоначально образуется маркаптопроизводные,

превращающиеся под влиянием серы или ускорителя в ди- и полисульфиды:



С появлением обратной вулканизации и других методов полимеризации элементарной серы стало очевидно, что была создана новая подгруппа серосодержащих полимеров или полисульфидов, которая требует классификации по сравнению с этими известными материалами. В обзорах 2016 года исследователи сосредоточились на классах серосодержащих полимеров и синтетических методах получения этих материалов, однако они не рассмотрели этот вопрос описательной номенклатуры. В частности, полимеры, полученные в результате полимеризации элементарной серы, превратились в особый класс серосодержащих полимеров, которые исследователи рекомендуют называть халькогенидными гибридными неорганическими/органическими полимерами (ХГНОП). С точки зрения химической структуры, ХГНОП, полученные в результате полимеризации элементарной серы, будут содержать статистическую/случайную последовательность и состав звеньев  $-S_x-$ , связанных с звеньями органического сомономера. Эти серные звенья могут быть моно-, ди- или множественными связями S-S в (co) полимерной основной цепи, что является отличительной структурной особенностью ХГНОП, полученных в результате полимеризации S8 (рис. 1). На сегодняшний день процессы свободнорадикальной обратной вулканизации или анионной полимеризации являются основными методами, используемыми для получения полимерных материалов из элементарной серы. Мы предлагаем серосодержащие полисульфиды, полученные в результате полимеризации элементарной серы с органическими сомономерами, обычно называть ХГНОП и соответствующим образом классифицировать как класс органо-полисульфидов в соответствии с исходным формализмом Пенчека. Однако, независимо от того, ХГНОП или используются другие варианты, упомянутые ранее, мы рекомендуем использовать единообразную рубрику, чтобы отличать эти полимеры от других серосодержащих полимеров.

В центре внимания этого обзора - обсуждение последних достижений в полимеризации элементарной серы для получения ХГНОП с акцентом на новые достижения в области синтеза, появившиеся после нашего первоначального всестороннего обзора по этой теме в 2016 г. В частности, мы обсуждаем недавние работы по свободным радикалам и обратным радикалам, процессы вулканизации, а также новые методы анионной полимеризации для получения материалов ХГНОП. Кроме того, мы впервые рассматриваем синтетические методы для введения функциональности в мономеры и полимеры, полученные из элементарной серы [25; с. 90-125].

Модификация серы госсиполовой смолой или пиролизным дистиллятом и получение серного бетона.

200 г серу нагревали реакторе емкостью 500 мл до 185 °С на масляной бане с термостатом при интенсивном перемешивании до образования вязкой оранжевой расплавленной массы серы. После этого непосредственно добавляли 20 г госсиполовую смолу (или пиролизную дистиллят) к фазе расплавленной серы. Полученную смесь смешивали при 185–190 °С в течение 60–70 мин, что привело к некоторому уменьшению вязкости данной реакционной среды. После завершения процесса полученную модифицированную полимерную серу взяли из реактора и им дали остыть до температуры 20–25 °С. [26; с. 120].

Полимерная модифицированная сера (ПМС, серное связующее) был приготовлен из элементарной серы и из пиролизного дистиллята: смешанной смеси, в взвешенной пропорции 1:1. Определенное количество серы, помещенное цилиндрическую трубку с внутренним диаметром 2 см, расправляли глицериновой бане, нагревали до 140 °С и интенсивно перемешивали с помощью механической мешалки. При этой температуре модифицирующий реагент (пиролизный дистиллят) добавляли к расплавленной сере примерно 2,4,6 или 8% от массы серы. После завершения добавления модификаторов полученный расплав ПМС перемешивали при температуре 150–180 °С ещё 20–30 мин. Вязкую массу помещали в выкроформу для улучшения адгезионных свойств, затем, чтобы формировать удерживали в течение час, и охлаждали до комнатной температуры. [27; с. 95]. Процесс изготовления образцов и методы исследования физико-механических свойств

*Процесс изготовления образцов.* Образцы серобетона были изготовлены с использованием стандарта ПНСТ 105-2016, «Смеси серобетонные и серобетон». Сначала грубые (песок) и мелкие (зола унос) заполнители, предварительно нагретые в печи до 180 °С в течение 6 часов, были добавлены в контейнер, который был предварительно нагрет до 130 °С с помощью нагревательной рубашки. После 1 минуты сухого перемешивания в контейнер также залили модифицированное серосодержащее связующее. Перемешивание продолжали до тех пор, пока серное связующее не стало жидким, и еще 10 мин после оживания. Затем был отлит и утрамбован серобетон. Полученные серные бетоны испытывали через 3 дня и хранили при комнатной температуре (20–25 °С) и влажности [26; с. 120].

*Испытания на прочность и модуль упругости.* Цилиндрические образцы, использованные для испытаний на прочность при сжатии и раскалывании, имели диаметр 100 мм и высоту 200 мм, изготовленные по требованиям ГОСТ 10180-2012 [28; с. 53–57]. Испытания на прочность при сжатии проводились в соответствии с ГОСТ 10180-2012. Испытания на разрыв при раскалывании проводились в соответствии с ГОСТ 10180-90. Для измерения зависимости

напряжения от деформации серобетона использовались три компрессометра с измерительной длиной 100 мм. Гидравлическая универсальная испытательная машина 1500kN SATECTM Series 1500HDX, использовалась для проведения испытаний на прочность и измерения модуля упругости [28; с. 53–57].

*Изучение модуля упругости.* Модуль упругости для бетона при одноосном сжатии принимается как наклон кривой напряжения-деформации. Поскольку зависимость напряжения от деформации для бетона является нелинейной, для расчета модуля обычно используются три разных метода. Во-первых, касательный модуль упругости в определенной точке определяется наклоном линии, касательной к кривой изменения напряжения в любой точке. Секущий модуль упругости задается наклоном линии, проведенной от начала координат до точки кривой, соответствующей 40% максимальной нагрузки. Наконец, модуль упругости хорды задается наклоном линии, которая проходит от точки, представляющей деформацию  $50 \cdot 10^{-6}$  мм/мм, до точки, соответствующей 40% максимальной нагрузки. В этом исследовании, Секущий модуль упругости был рассчитан и использован для сравнения модуля упругости серобетона [29; с. 186–194].

*Изучение на химическую стойкость.* Чтобы оценить химическую стойкость серобетона, цилиндрические образцы были погружены в три различные агрессивные химические среды: 10% раствор HCl, 20% раствор H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и 3% раствор NaCl. Получающееся разрушение серобетона в течение 60 дней наблюдалось путем периодического измерения массы на цифровой лабораторной шкале и сравнения с начальной массой. Также измеряли прочность на сжатие после погружения на 60 дней. Перед определением изменения массы и прочности на сжатие образцы вынимали из химического раствора, промывали и сушили в печи при 105 °С. Три образца были использованы для измерения прочности на сжатие серобетона перед погружением. Изменение массы и прочность на сжатие трех образцов были также измерены после погружения для каждого случая [30; с. 118].

*Коэффициент испытаний на тепловое расширение.* Расширение и сжатие серобетона из-за изменений температуры может повлиять на долговечность. В этом исследовании использовалось техническое условия «ПНСТ 105-2016 Смеси серо бетонные и серо бетон» для оценки коэффициента теплового расширения серо бетона. Сначала образец замачивали в воде на 2 дня и измеряли длину образца. Образец помещался в опорную раму, которая погружалась в резервуар для воды. Температуру резервуара для воды регулировали от 10 °С до 50 °С. Изменение длины из-за температуры регистрировалось дифференциальным трансформатором для измерения линейных перемещений. Линейное расширение образца измерялось при скорости нагрева 0,2 °С/мин [31; с. 27–38].

Испытания на устойчивость к замораживанию и оттаиванию. Испытания на сопротивление замораживанию и оттаиванию серо бетона проводились в соответствии с процедурой в ASTM C 666 на призматических образцах размером 100×100×400 мм. Для каждого случая смеси одновременно испытывали по три образца. Относительный динамический модуль упругости образца измеряли через каждые 100 циклов. Один цикл длился 4 часа и повторялся 300 раз в диапазоне температур от 4 до -18 °С. Испытание прекращали, когда количество циклов достигало 300 циклов

или когда динамический модуль упругости уменьшался ниже 60% от начального значения перед 300 циклами [31; с. 27-38].

Состав и структура полученных модифицированной серы и модифицированных серных бетонов.

Следующие физико-химические свойства полученного серного бетона были изучены: температура плавления, растворимость, плотность, ИК-спектры, термогравиметрические (ТГ) и дифференциально-термогравиметрические (ДТГ) анализы. Физические характеристики синтезированной модифицированной серы (сера с пиролизным дистиллятом и госсиполовой смолой) представлены в табл. 1 [32; с. 5-8].

Таблица 1.

Физико-химические данные модифицированной серы

Показатель	Тпл °С	Плотность, г/см <sup>3</sup> ГОСТ 15139-69	П <sub>хв</sub>	Растворимость	Внешний вид и цвет
Модифицированная сера	134	2,270	0,081	Толуол	Желто-коричневый порошок

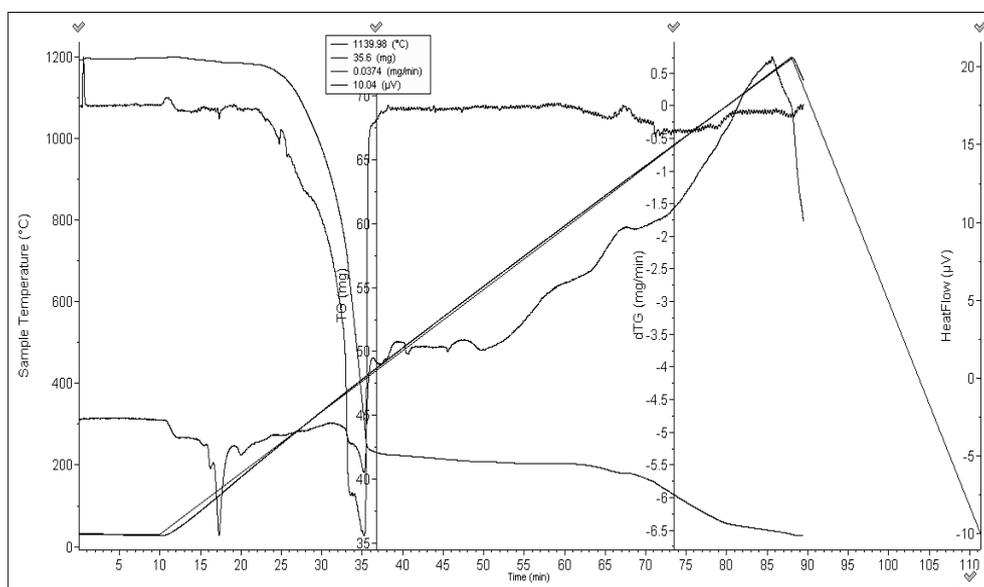


Рисунок 1. ТГА данные модифицированной серы

Таблица 2.

Термогравиметрические данные модифицированной серы

№	Температура, °С	Потеря массы, %	Потеря массы, мг(73)	Количество расходуемой энергии (µV*s/mg)
1	100	0,31	72,77	0
2	200	0,43	72,66	6,81
3	300	4,99	69,35	3,99
4	400	26,3	53,79	3,79
5	500	11,3	42,30	4,23
6	600	3,58	52,90	4,67
7	700	0,26	37,30	6,50
8	800	0,07	37,00	4,42
9	900	1,04	36,05	5,62
10	1000	3,21	34,10	5,46
11	1100	1,96	33,05	3,65
12	1200	0,96	32,01	4,56

Термогравиметрические свойства модифицированной серобетона исследовалось на дериватограмме ДТ-60. В термогравиметрическом анализе потеря массы образца у модифицированной серы не изменяется до 270°C. На кривой ДТА в температурном диапазоне 150-120°C наблюдается один эндотермический пик (при 127,8°C). Это обозначает что отвечает плавлению модифицированных серных вяжущих (рис.1). В таблице 2.3 показан значительное повышение температуры до 336°C, в этом температурном интервале образец начинает разлагаться в два этапа – до 365°C со скоростью 4,23%/мин, и при выше 500°C со скоростью 2.3%/мин, с общей потерей массы 34,19%. Из-за перегруппировки молекул и реакция разложения серобетона эндотермическая, энергия

при разложении серобетона составляют -297.6 Дж/г. [30; с. 118].

Термическая устойчивость серного бетона изучали методом дифференциально-термогравиметрического анализа. Масса образца не меняется до температуры 237 °C (рис. 2 и таблица 2.). На кривой ДТГ в температурном диапазоне от 190 до 220°C обнаруживаются широкая эндотермическая пик, что соответствует двум фазовым переходам. При высокой температуре 500°C образец начинает разложиться в два этапа – до 580°C со скоростью 4%/мин, потерей массы 3.42%, и выше 580°C со скоростью 2.89%/мин. Первый этап разложения – эндотермический (Энергия 3.79 μV\*s/mg), второй экзотермический (Энергия -29.8 J/g). Рис.2.

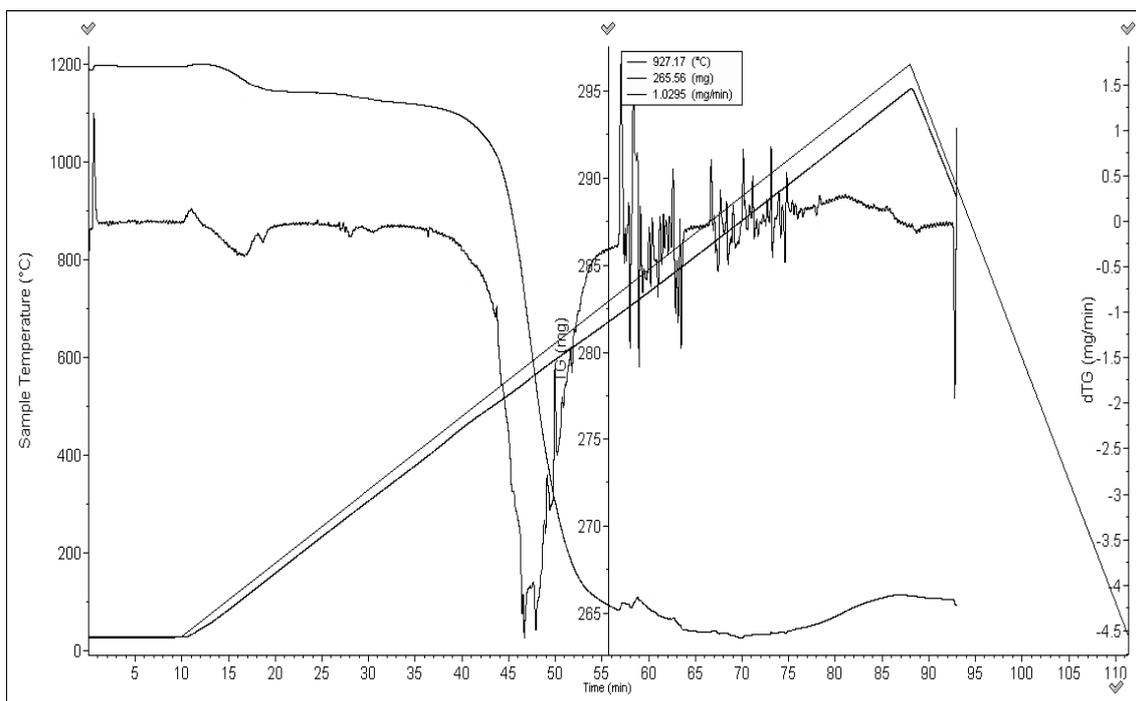


Рисунок 2. ДТГ и ТГ анализ серобетона

Таблица 3.

Данные термогравиметрического анализа модифицированного серного бетона

№	Температура, °C	Потеря массы, мг(295)	Потеря массы, %	Количество расходуемой энергии (μV*s/mg)
1	100	295,3	0,19	1,34
2	200	294,6	0,51	4,81
3	300	290,4	3,26	3,79
4	400	285,2	6,5	2,69
5	500	273,6	9,90	3,23
6	600	269,10	0,07	4,07
7	700	267,8	0,56	3,50
8	800	266,23	3,26	5,32
9	900	265,43	0,66	3,92
10	1000	264,4	0,48	6,06
11	1100	264,1	0,03	3,65
12	1200	263,4	0,45	4,56

Исследование результатов электронной сканирующей микроскопии и элементного анализа серобетона.

С помощью электронной сканирующей микроскопии можно определить количество элементов и структурирование модифицированных серобетонах. При изучении серобетона образец был поставлен в держатель, после этого образец накрыли до 5 нм золотым порошком. Прибор QUORUM Q150 RS был применен для покрытия поверхности образца золотым порошком. С помощью сканирующей электронной микроскопии исследована микроструктура образца, модифицированного серобетона. Образцы для изучения микроструктуры серобетона проводили и подготовили по разработанной методике. Для ионного напыления в вакуумной установке наносили слой золота, толщиной -5 нм на поверхность серобетона. Образцы металлизированные золотом изучали в сканирующем электронном микроскопе QUORUM

Q150 RS. На рис.3. приведены результаты микроструктурных исследований.

В рисунке.3 можно видеть, что при добавке 5 г госсиполовую смолу или пиролизного дистиллята на 100 г серы значительно увеличиваются размеры частиц дисперсной фазы с -0,2 до 0,6 мкм, в то время как параллельно при добавлении 3 г госсиполовую смолу или пиролизного дистиллята на те же 100 г серы подобного эффекта не наблюдается. Если же госсиполовую смолу или пиролизного дистиллята прибавлять в пластифицированное полимерной сере, то значительное увеличение размеров дисперсной фазы случается прямо пропорционально увеличению содержания модифицирующей добавки.

На рисунке 4. приведены процентные соотношения серы, и других компонентов в составе серобетона.

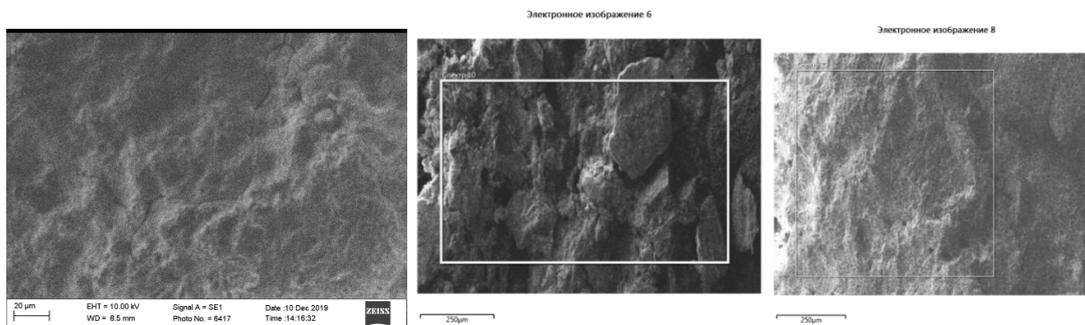


Рисунок 3. СЭМ данные серного бетона

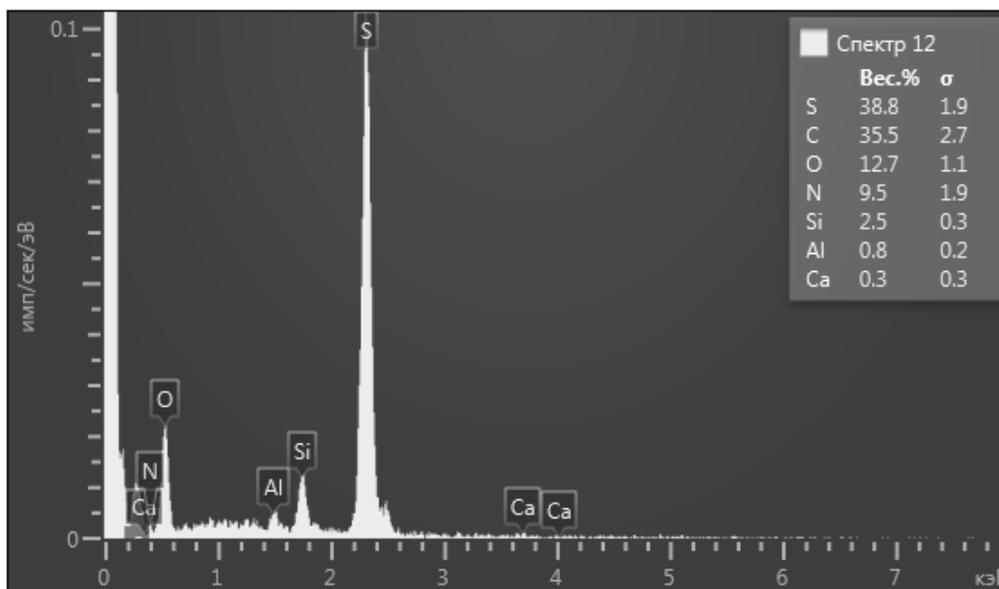


Рисунок 4. Данные элементного анализа

Данные физико-химических характеристик модифицированного серного бетона (модифицированной

серы госсиполовой смолой и пиролизным дистиллятом) представлены в табл.4 [32; с.5-8].

Таблица 4.

Физико-химические данные синтезированных олигомеров

Свойства	$\rho_{\text{хв}}$	$T_{\text{пл}}$ °С	Плотность, г/см <sup>3</sup> ГОСТ 15139-69	Растворимость	Внешний вид и цвет
Показатели модифицированного серного бетона	0,072	132	2,258	Нерастворим	Серый порошок

На ИК-спектроскопическом анализе появляются интенсивный пики в областях 649-3753 см<sup>-1</sup>, относящаяся гидроксильным группам -ОН госсиполовой смолы, также наблюдается пики в области 1701 и 1735 см<sup>-1</sup>, доказывающие карбонильных групп -СО- в нафтеновых производных. ИК-спектр малоинтенсивной полосы поглощения в области 3676 см<sup>-1</sup>, отражает связанных гидроксильных -ОН групп. По данным ИК-спектроскопии можно предполагать вывода о сложной структуре. Четвертичные аммониевые -NH<sub>4</sub> группы некоторых соединений образца наблюдается в области 2364-2345 см<sup>-1</sup>. Остальные функционально-активные группы соответствует деформационном колебаниям органических соединений эти пики отражает новых связей связанной серы с функциональными группами, которое содержится в модификаторах. В области 1508 – 1543 см<sup>-1</sup> наблюдается связанные карбонильные группы – CH<sub>2</sub>-CO-. Также появляется новый пики в области

1701 и 1735 см<sup>-1</sup>, относящаяся циклическим соединениям нафтального радикала, которая существуют в модификаторе. Серные соединения органическими функциональными группами относящаяся – S-O- и S-C группами. Эти соединения появляется в виде широкой интенсивной полосы в области 1000, 1050 и 1100 см<sup>-1</sup>, эти пики объясняется наличием новых серосодержащих соединений. Также связанные серные соединения наблюдается в области 462,92 и 775,38 см<sup>-1</sup>, 1000-1050 см<sup>-1</sup> и 1100-900 см<sup>-1</sup> [33; с. 202-205]. В связи с этим можно наблюдать малоинтенсивных пиков в области 1420 см<sup>-1</sup> и 648-674 см<sup>-1</sup>, эти пики тоже относятся новым связям серы с органическими соединениями. Анализ серобетона отличается от модифицированной серы, в этих появляются совершенно новые пики в области 1400-1440 см<sup>-1</sup>, относящая димерным соединениям -CH<sub>2</sub>-S- группы. [33; с. 202-205].

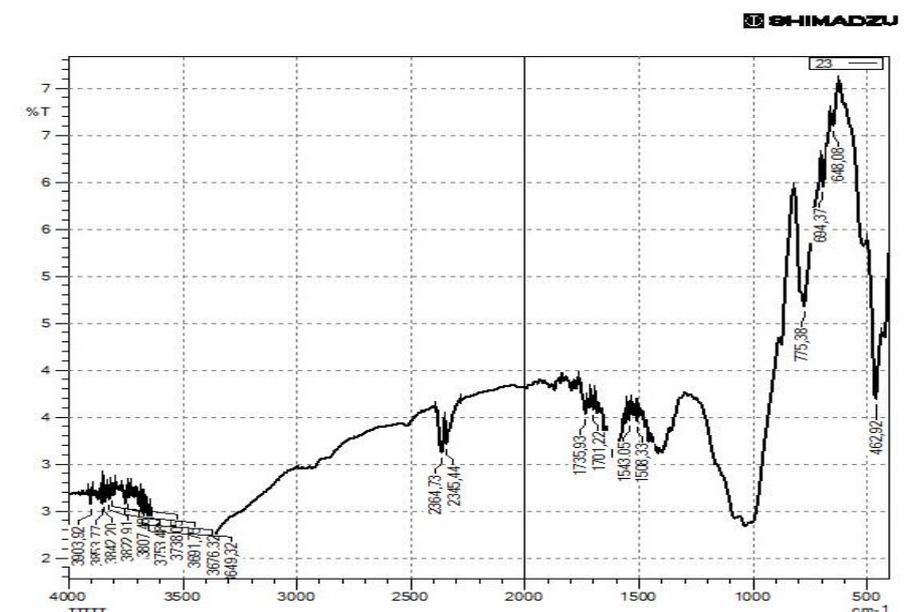


Рисунок 5. ИК-спектр модифицированного серного бетона

При исследовании состава и структуру серобетона методом рентгенофазового анализа (рис. 6) показал, что реакция между серой и наполнителями протекают твердофазные химические реакции с образованием соединений сложного состава, полисульфидные соединения различного типа образуется при взаимодействии серы с наполнителем [33; с. 202-205].

В реакционной системе модифицированная сера при реагировании с щелочными металлами, зола

уносом и песком вызывают сложные химические изменения, модифицированная сера затвердевает в системе посредством предварительного подогрева. Поскольку в реакционной системе присутствуют активная сера, и они при реакции соединяются с фазой железа и силикатом алюминия с образованием твердого раствора, а также другие присутствующие фазы без твердого раствора легко упаковываются этими промежуточными слоями [33; с. 202-205].

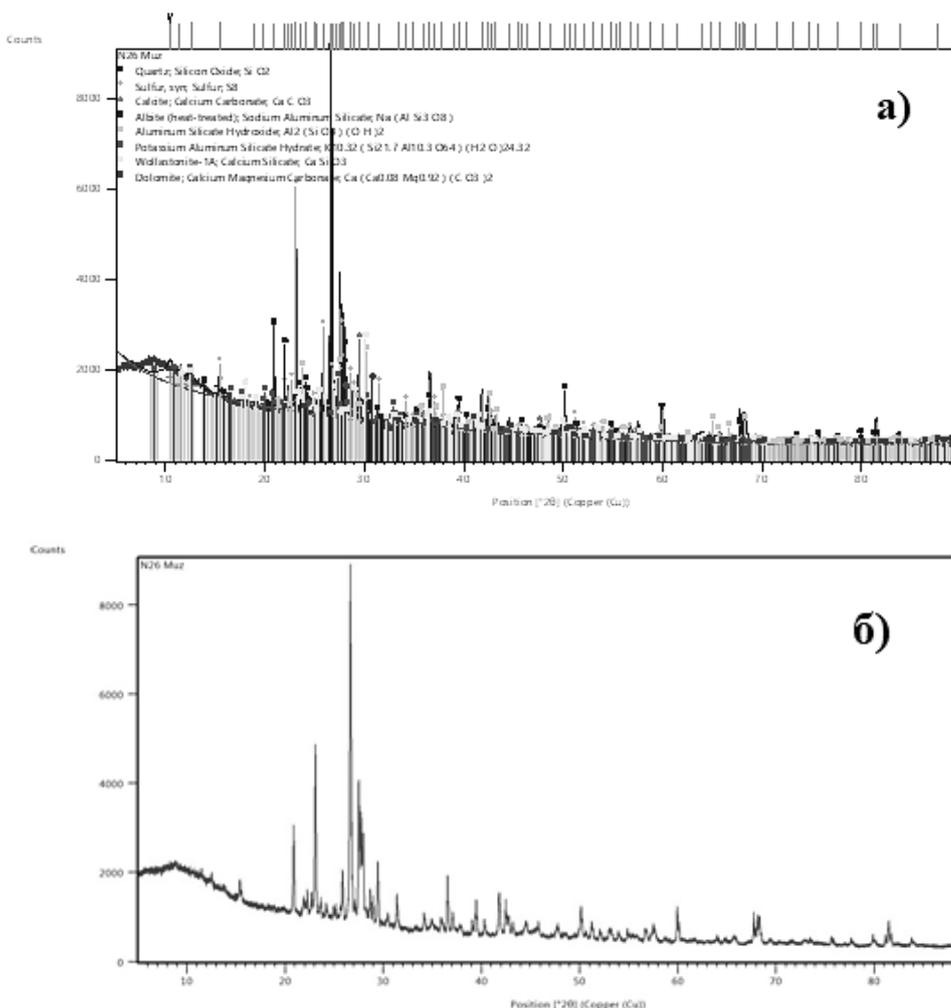


Рисунок 6 а и б. Дифрактограмма серобетона

Исследование представляет, что серобетон по фазовому и оксидному составам отвечают заявленным характеристикам и удовлетворяют требованиям

нормативных документов. Состав и структура серобетона изученного методом рентгеноструктурного анализа показан в таблице 5.

Таблица 5.

Состав и структура полученного методом рентгеноструктурного анализа

Код сведения	балл	Название вещества	Показ. [°2θ]	Факт. объём.	Хим. Формула
01-075-8321	66	Силиконовый оксид	0.031	1.015	SiO <sub>2</sub>
01-078-1889	67	Сера	0.022	0.549	S <sub>8</sub>
01-072-1652	39	Карбонат кальций	0.012	0.199	CaCO <sub>3</sub>
01-089-6428	28	Силикат аломиний натрий	0.000	0.177	Na(AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )
01-082-1217	20	Дигидроксо силикат аломиний Гидроксид	0.005	0.170	Al <sub>2</sub> (SiO <sub>4</sub> )(OH) <sub>2</sub>
01-086-1110	16	Поташ Аломиний Силикат Гидрат	0.020	0.098	K <sub>10,3</sub> (Si <sub>21,7</sub> Al <sub>10,3</sub> O <sub>64</sub> )(H <sub>2</sub> O) <sub>24,32</sub>
00-042-0547	14	Силикат кальций	0.065	0.201	CaSiO <sub>3</sub>
01-074-7799	4	Кальций Магний Карбонат	-0.111	0.102	Ca(Ca <sub>0,08</sub> Mg <sub>0,92</sub> )(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>

**Заключение.** Госсиполовая смола и пиролизный дистиллят впервые был использован в качестве модификатора серы, и были определены оптимальные условия получения серных бетонов. Полученные

новые составы рекомендованы для получения стабильного серобетона который не теряет свойства при хранении.

#### Список литературы:

1. F. Seel, Sulfur in History: The Role of Sulfur in “Black Powder”, in Sulfur - Its Significance for Chemistry, for the Geo-, Bio- and Cosmosphere and Technology, ed. A. Müller and B. Krebs, Elsevier, 1984, vol. 5, pp. 55–66.
2. Wedepohl K.H. , Sulfur in the Earth’s Crust, its Origin and Natural Cycle, in Sulfur - Its Significance for Chemistry, for the Geo-, Bio- and Cosmosphere and Technology, ed. A. Müller and B. Krebs, Elsevier, 1984, vol. 5, pp. 39–54.
3. Angelici R.J. Heterogeneous catalysis of the hydrodesulfurization of thiophenes in petroleum: an organometallic perspective of the mechanism //Accounts of Chemical Research. – 1988. – Т. 21. – №. 11. – С. 387-394..
4. L.A. Apodoca, Sulfur: US Geological Survey, mineral commodity summaries, 2014, pp. 156–157.
5. E.P.A. Reregistration, eligibility document facts: Sulfur, Office of Pesticide and Toxic Substances, Washington D.C., 1991.
6. Binh N.T. Recent Advances in Organic Reactions Involving Elemental Sulfur// Advanced Synthesis and Catalysis, - 2017. V. 359. № 7., p. 1066–1130.
7. Ober J.A. Materials flow of sulfur. – 2002. – №. 2002-298.
8. S.R. Rafikov, The characteristic features of sulphur containing polymers. A review. // Polym. Sci. U.S.S.R., 1979, 21(11), 2780–2792.
9. Duda A., Penczek S., Sulfur-containing polymers, in Encyclopedia of Polymer Science and Engineering // ed. J.I. Kroschwitz, John Wiley & Sons, Inc, New York, 1989, vol. 16, pp. 246–368.
10. Wei Y. et al. Solution processible hyperbranched inverse-vulcanized polymers as new cathode materials in Li-S batteries //Polymer Chemistry. – 2015. – Т. 6. – №. 6. – С. 973-982..
11. Boyd D.A. et al. ORMOCALCs: organically modified chalcogenide polymers for infrared optics // Chemical Communications. – 2017. – Т. 53. – №. 1. – С. 259-262.
12. Wu X. et al. Catalytic inverse vulcanization //Nature communications. – 2019. – Т. 10. – №. 1. – С. 1-9..
13. Steudel R. The Chemistry of Organic Polysulfanes R– S n– R (n> 2) //Chemical reviews. – 2002. – Т. 102. – №. 11. – С. 3905-3946..
14. Cheremisinoff N.P. Advances in Engineering Fluid Mechanics: Multiphase Reactor and Polymerization System Hydr. – Elsevier, 1996..
15. R. Steudel, Inorganic Polysulfides Sn 2– and Radical Anions Sn–, in Topic in Current Chemistry, ed. R. Steudel, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2003, pp. 127–152.
16. K. Kishore and K. Ganesh, Polymers containing disulfide, tetrasulfide, diselenide and ditelluride linkages in the main chain, in Polymer Synthesis/Polymer Engineering, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 1995, pp. 81–121.
17. Usmani A.M. Chemistry and technology of polysulfide sealants //Polymer-Plastics Technology and Engineering. – 1982. – Т. 19. – №. 2. – С. 165-199..
18. Ghatge N.D. , Vernekar S.P. , Lonikar S.V. Polysulfide sealants //Rubber Chemistry and Technology. – 1981. – Т. 54. – №. 2. – С. 197-210..
19. S.S. Maharajan and N.D. Ghatge, Pop. Plast., 1979, 24(6), 13–15.
20. Goethals E.J. Sulfur-containing polymers //Journal of Macromolecular Science—Reviews in Macromolecular Chemistry. – 1968. – Т. 2. – №. 1. – С. 73-144..
21. Isaacs L.G. , Fox R.B. Photolytic degradation of some poly (alkylene polysulfides) //Journal of Applied Polymer Science. – 1965. – Т. 9. – №. 10. – С. 3489-3497.
22. Steudel R. Sulfur: organic polysulfanes //Encyclopedia of inorganic chemistry. – 2006.
23. Bang E.K. et al. Poly (disulfide) s //Chemical Science. – 2012. – Т. 3. – №. 6. – С. 1752-1763..
24. Lu Z.R. , Wu X. Polydisulfide-based biodegradable macromolecular magnetic resonance imaging contrast agents // Israel journal of chemistry. – 2010. – Т. 50. – №. 2. – С. 220-232..
25. Griebel J.J. et al. Polymerizations with elemental sulfur: A novel route to high sulfur content polymers for sustainability, energy and defense //Progress in Polymer Science. – 2016. – Т. 58. – С. 90-125..
26. Хайитова Ж.М., Тұраев Х.Х., Бекназаров Х.С. Исследование модификации серы диамидофосфатом кальция и золошлаком Ново-Ангренский ТЭС // Развитие науки и технологии, -Вухара, -2021, №3, - С. 119- 125. (02.00.00. №14)

27. Хайитова Ж.М., Бекназаров Х.С., Тураев Х.Х. Модификация серы с промышленными отходами для получения серного бетона // *Universum: технические науки: электрон. научн. журн.* 2021. 1(82). –С. 94-97. URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/11204> (02.00.00 №1)
28. Хайитова Ж.М. Изучение свойств нового негорючего модифицированного серобетона / Ж.М.Хайитова, Н.Д. Аманова, Х.С. Бекназаров // *Материалы 84-й научно-технической конференции, посвященной 90-летию юбилею БГТУ и Дню белорусской науки, 3-14 февраля,-2020.* -Минск: БГТУ,-с. 259.
29. Mohamed A.M. O., El Gamal M. Hydro-mechanical behavior of a newly developed sulfur polymer concrete // *Cement and Concrete Composites.* – 2009. – Т. 31. – №. 3. – С. 186-194..
30. Аманова Н.Д. Разработка технологии получения модифицированной серы на базе местных сырьевых ресурсов и его применение в получении серобетона / дисс... д-ра философии. –Термез. 2020. –118 с.
31. Mohamed A., El Gamal M., El Saiy A. Thermo-mechanical Performance of the Newly Developed Sulfur Polymer Concrete. Reclaiming the Desert: towards a Sustainable Environments in Arid Land, Developments in Arid Region Research (DARE). – 2006.
32. Пат. 2284304 Российская Федерация, МПК С04В 26/26. Способ получения серобитумного вяжущего / А.Г. Лиакумович, Т.И. Лонцакова, К.А. Чернов, В.С. Козлов, В.Ю. Капитанов; заявитель и патентообладатель К.А. Чернов (RU). № 2003136725/03; заявл. 17.12.2003; опубл. 27.09.2006 Бюл. № 27–5с.
33. Хайитова Ж.М.Тураев Х.Х., Бекназаров Х.С.Исследование состава и структуры модифицированного серобетона // *Universum: технические науки: научный журнал.* Часть 2.М., Изд. «МЦНО» -2020. -№ 6 (75).- С. 202-205.