
СНИЖЕНИЕ РИСКОВ И ЛИКВИДАЦИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ. ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЧС

Научная статья

УДК 658.567.5, 543.573; DOI: 10.61260/1998-8990-2026-2-8-19

ПОИСК ОПТИМАЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ УТИЛИЗАЦИИ ПОЛИМЕРНОГО СОРБЕНТА, НАСЫЩЕННОГО НЕФТЬЮ

✉ Будыкина Татьяна Алексеевна.

Академия гражданской защиты МЧС России, Московская обл., г.о. Химки,
мкр. Новогорск.

Коваль Юлия Николаевна.

Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Красноярский край,
г. Железногорск

✉ tbudykina@yandex.ru

Аннотация. Проводится исследование по определению температурных режимов обезвреживания полимерного сорбента на основе карбамидоформальдегидной смолы после сорбции нефти методом синхронного термического анализа. Определены температуры начала термодеструкции, самовоспламенения, максимальной скорости убыли массы, тепловые эффекты, остаточная масса сорбентов (исходного и после поглощения нефти).

Установлено, что термодеструкция напитанного нефтью сорбента начинается при 100 °С, тогда как исходный сорбент проявляет термическую стойкость до 192 °С. Максимальная скорость убыли массы при термической деструкции фиксировали у насыщенного нефтью сорбента при 219 °С и при 264 °С – у исходного. Выявлено, что при проведении лабораторного анализа выделение энергии у исходного сорбента в 10 раз больше, чем у нефтезагрязненного. С целью экономии энергоресурсов рекомендовано сжигание сорбента, насыщенного нефтью, в температурном интервале 450–500 °С.

В ходе проведения анализа выявлено вспучивание насыщенного нефтью сорбента на 30–40 % вследствие выделения газообразных продуктов разложения полимерной матрицы. Преимуществом сорбента остается естественная биodeградация, а термическую утилизацию следует рассматривать как аварийную ситуацию.

Ключевые слова: сорбент, насыщенный нефтью, термогравиметрические кривые, термодеструкция, скорость деструкции, температура самовоспламенения

Для цитирования: Будыкина Т.А., Коваль Ю.Н. Поиск оптимальных температурных режимов термической утилизации полимерного сорбента, насыщенного нефтью // Проблемы управления рисками в техносфере. 2026. № 2 (78). С. 8–19. DOI: 10.61260/1998-8990-2026-2-8-19

Scientific article

SEARCH FOR OPTIMAL TEMPERATURE CONDITIONS FOR THERMAL DISPOSAL OF OIL-SATURATED POLYMER SORBENT✉ **Budykina Tatyana A.****Academy of civil defence of EMERCOM of Russia, Moscow region, Khimki, md. Novogorsk.
Koval Yulia N.****Siberian fire and rescue academy of State fire service of EMERCOM of Russia,
Krasnoyarsk Krai, Zheleznogorsk, Zheleznogorsk**✉ ***tbudykina@yandex.ru***

Abstract. A study was conducted to determine the temperature regimes for the decontamination of a urea-formaldehyde resin-based polymer sorbent after oil sorption using synchronous thermal analysis. The onset temperatures of thermal degradation, autoignition, maximum mass loss rate, thermal effects, and residual mass of the sorbents (initial and after oil absorption) were determined.

It was found that thermal degradation of the oil-saturated sorbent begins at 100 °C, while the original sorbent exhibits thermal stability up to 192 °C. The maximum mass loss rate during thermal degradation was recorded at 219 °C for the oil-saturated sorbent and at 264 °C for the original sorbent. Laboratory analysis revealed that the energy release of the original sorbent was 10 times greater than that of the oil-contaminated sorbent. To conserve energy resources, combustion of oil-saturated sorbent at temperatures ranging from 450 to 500 °C is recommended.

Analysis revealed swelling of the oil-saturated sorbent by 30–40 % due to the release of gaseous decomposition products from the polymer matrix. Natural biodegradation remains an advantage of the sorbent, and thermal disposal should be considered an emergency.

Keywords: oil-saturated sorbent, thermogravimetric curves, thermal degradation, degradation rate, autoignition temperature

For citation: Budykina T.A., Koval Yu.N. Search for optimal temperature conditions for thermal disposal of oil-saturated polymer sorbent // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2026. № 2 (78). P. 8–19. DOI: 10.61260/1998-8990-2026-2-8-19

Введение

Процессы адсорбции широко применяются в различных отраслях – пищевой, химической, фармацевтической, перерабатывающей, горнометаллургической промышленности, теплоэнергетике, в процессах водоподготовки и очистки сточных вод [1]. Для ликвидации аварийных ситуаций, в частности разливов нефти, широко применяются сорбенты, благодаря простоте использования, высокой скорости реакции и относительной экологической безопасности [2].

Известны минеральные сорбенты (вермикулит, перлит, диатомит, опилки, торф), органические природные сорбенты (целлюлоза, шерсть, кокосовое волокно), синтетические сорбенты (полипропиленовые, полиуретановые материалы), сорбенты из отходов производства (шлак металлургического производства, дефекат сахарного производства, аспирационная пыль электропечей и пр.), био- и фитосорбенты (отходы микробиологической промышленности, сельхозпроизводства и др.).

Ликвидация чрезвычайных ситуаций (ЧС), связанных с разливом нефтепродуктов, требует мобилизации больших сил и средств – личного состава, техники, инструмента, специальной одежды, химикатов, сорбентов, но одной из важных задач является утилизация загрязненного сорбента. К сожалению, большинство сорбционных материалов обладают

недостатками – однократным применением и необходимостью обезвреживания либо утилизации отработанного материала.

Как известно, к методам утилизации насыщенных нефтью сорбентов относят следующие: повторное использование после обезвреживания, захоронение на специализированных полигонах, биоразложение с участием бактерий – нефтедеструкторов и термическая утилизация. Во всех случаях требуется предварительное обезвреживание шлама и лишь после этого определяется оптимальный вариант утилизации.

Возможность повторного использования сорбента зависит от его типа, физико-химических свойств поглощенного нефтепродукта, температурных условий проведения процесса. Захоронение отходов на специализированных полигонах является самым агрессивным методом и может быть применен лишь в исключительных случаях, при особых обстоятельствах. Биоразложение сорбентов требует наличия активной микрофлоры, деятельность которой ограничивается низкими температурами. Поэтому применение данного способа затруднительно, а чаще – невозможно в условиях Арктической зоны. Даже полимерные сорбенты, специально разработанные для отказа от термического метода утилизации, теряют мелиоративные функции и способность к биодegradации в условиях экстремально низких температур [3, 4].

При аварийных сценариях, когда биодegradация *in situ* временно невозможна, следует рассматривать термическую утилизацию насыщенного нефтью сорбента как оптимальный способ быстрого решения проблемы утилизации/обезвреживания обременительного для окружающей среды отхода. В связи с этим в данной работе представляет интерес определение температурных интервалов реализации термического способа утилизации насыщенного нефтью полимерного сорбента.

Цель исследования – изучение термодеструкции полимерного сорбента на основе карбамидоформальдегидной смолы для выбора оптимальных температурных режимов термической утилизации пропитанного нефтепродуктом вещества.

Задачи исследования:

- определение основных показателей термодеструкции исследуемых образцов сорбента в исходном состоянии и после сорбции нефтепродуктов;
- обоснование оптимального температурного режима термической утилизации насыщенного нефтью сорбента.

Характеристика объекта исследования

Исследованию подвергали полимерный сорбент, полученный на основе водорастворимой карбамидной смолы в лаборатории Сибирской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России. Свойства полученного сорбента адаптированы и определены на основании ГОСТ 33627–2015 «Уголь активированный. Стандартный метод определения сорбционных характеристик адсорбентов» и ТУ 214-10942238-03–95 [5, 6].

В соответствии с литературой [2] изучаемый сорбент имеет высокие сорбционную емкость по нефтепродуктам, олеофильность, отсутствие десорбции и открытую ячеистую развитую структуру (рис. 1).

Исходными компонентами для получения полимерного сорбента является водорастворимая синтетическая карбамидоформальдегидная смола с классом эмиссии формальдегида не более 0,2 %, пенообразователь, отвердитель (кислота) и, в зависимости от рецептуры, – модификатор. Для улучшения физико-химических, механических, эксплуатационных и гигиенических свойств полимерный сорбент может быть наполнен различными компонентами – эмульгаторами пластификаторами антипиренами золой-уноса, вермикулитом [7–9].

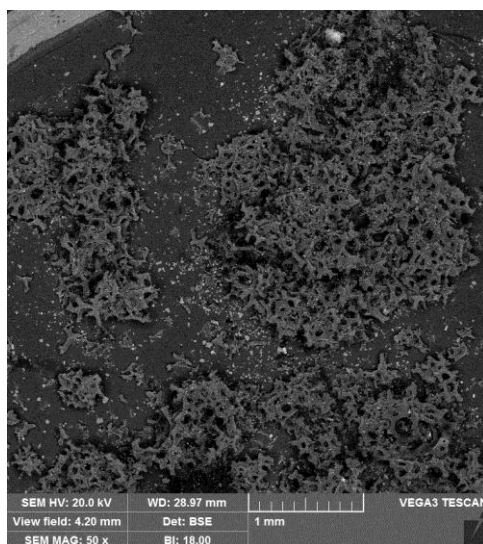


Рис. 1. Изучаемый полимерный сорбент (увеличение в 50 раз)

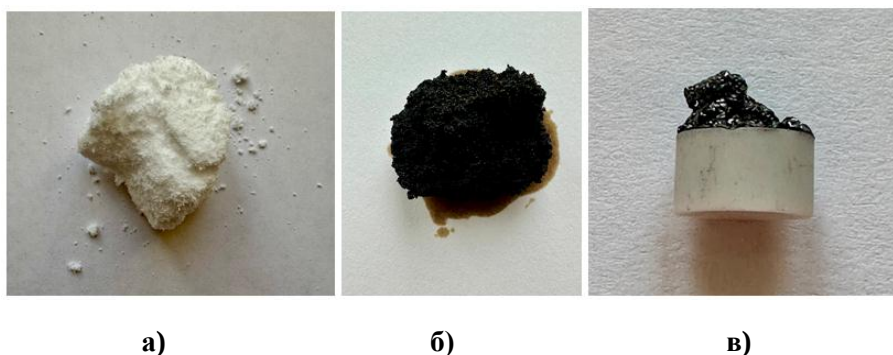
Сорбент, участвующий в эксперименте, имеет следующий состав, масс. %: вода – 50, смола – 25, поверхностно-активные вещества – 8, отвердитель (кислота) – 17. Маркировка – «Сорбент полимерный универсальный».

Данный сорбент имеет следующие характеристики [2, 7, 10]:

- сорбционное увлажнение (за 24 ч) по массе, % – 3;
- объемная масса, г/дм³ – 12;
- водопоглощение, % – 200;
- нефтеемкость при времени сорбции, $\Gamma_{\text{неф}}/\Gamma_{\text{сорб}}$ – 60;
- pH водной вытяжки – 5,5.

В качестве нефтепродукта для проверки работоспособности сорбента использовался сорт нефти Siberian Light – легкая нефть с низким содержанием серы Ханты-Мансийского месторождения. Нефтепродукт отобран на нефтеперекачивающей станции «Вознесенка» Красноярского края АО «Транснефть – Западная Сибирь». Эта станция является промежуточной нефтеперекачивающей станцией, входящей в состав магистрального нефтепровода Анжеро – Судженск – Красноярск, протяженностью 602 км (диаметр трубопровода 1 000 мм).

Термодеструкции подвергались два образца сорбента – образец 1, исходный сорбент (рис. 2 а), и образец 2 – сорбент, насыщенный нефтью (рис. 2 б). На рис. 2 в представлены изменения, происходящие с сорбентом, при нагревании в тигле до 600 °С.



а – исходный вид сорбента (образец 1); б – сорбент, насыщенный нефтью (образец 2);
в – тигель с остатками сорбента, насыщенного нефтью,
после нагрева в термоанализаторе до температуры 600 °С

Рис. 2. Исследуемый сорбент

Образец 2 имел высокую обводненность, влажность образца составляла 100 %. Для исследования был использован необезвоженный сорбент, аналогичный отработанному сорбенту, получаемому в реальных условиях при ликвидации ЧС. Обезвоживание сорбента в данных экспериментах не проводилось.

Метод исследования: синхронный термический анализ (СТА) на термоанализаторе STA 449 F3 фирмы NETZSCH Jupiter 449 выполнялся на кафедре пожарной безопасности Академии гражданской защиты МЧС России. Обработка результатов осуществлялась с применением программного обеспечения NETZSCH Proteus Thermal Analysis в виде графических зависимостей по изменению массы образца от продолжительности нагрева (ТГ-кривые), тепловым процессам (ДСК-кривые), скорости уменьшения массы образца во времени (ДТГ-кривые), скорости тепловыделений (dДСК-кривая).

Массу образцов сорбента определяли на лабораторных весах ВСЛ-60/0,1А «Невские весы».

Метод СТА позволяет проводить эксперимент с образцом минимальной массы (мг), что является его значительным преимуществом, наряду с высокой точностью, информативностью в дополнении к графическому отображению полученных результатов.

Условия эксперимента: нагрев до температуры 600 °С, скорость нагрева – 20 °С/мин, продувочный газ печи – воздух с расходом 20 мл/мин, защитный газ весовой части прибора – азот с расходом 20 мл/мин. Масса образца исходного сорбента – 11,0 мг; масса сорбента, насыщенного нефтью, – 63,5 мг.

Возникающие экзо- и эндоэффекты (дифференциальная сканирующая калориметрия, ДСК).

Результаты исследований

На рис. 3–6 представлена визуализация полученных на термоанализаторе термогравиметрических кривых образцов 1 и 2. На рис. 3 и 4 – термогравиметрические кривые в виде графиков ТГ/ДТГ/ДСК; на рис. 5 и 6 – изменение массы (ТГ) с выделением температуры, шагом 100 °С.

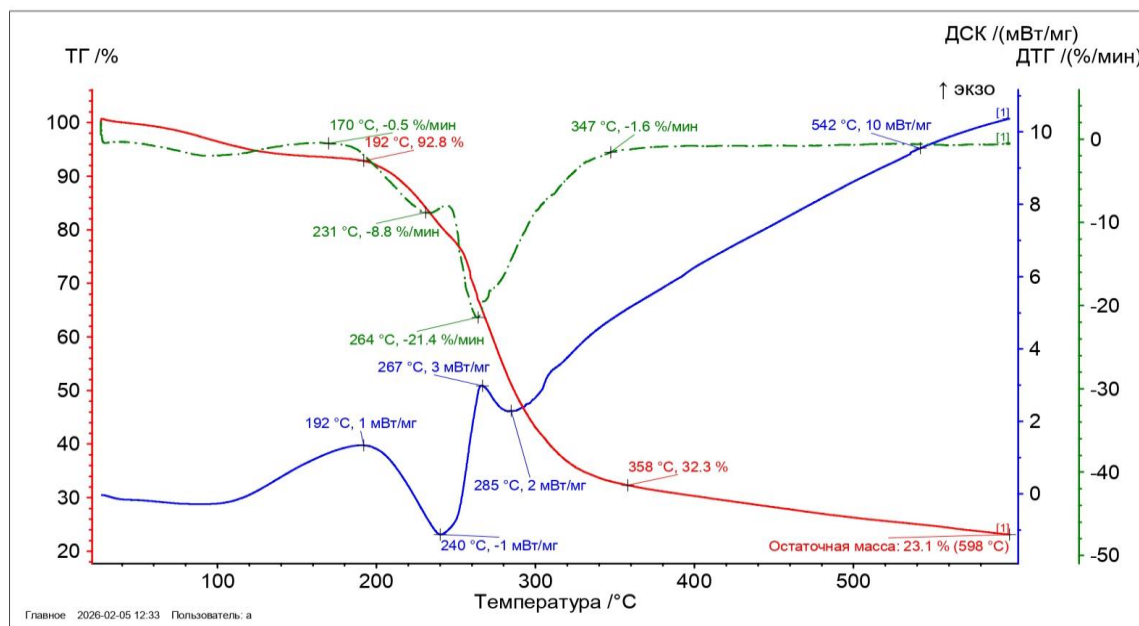


Рис. 3. Термогравиметрические кривые сорбента в исходном состоянии (образец 1)

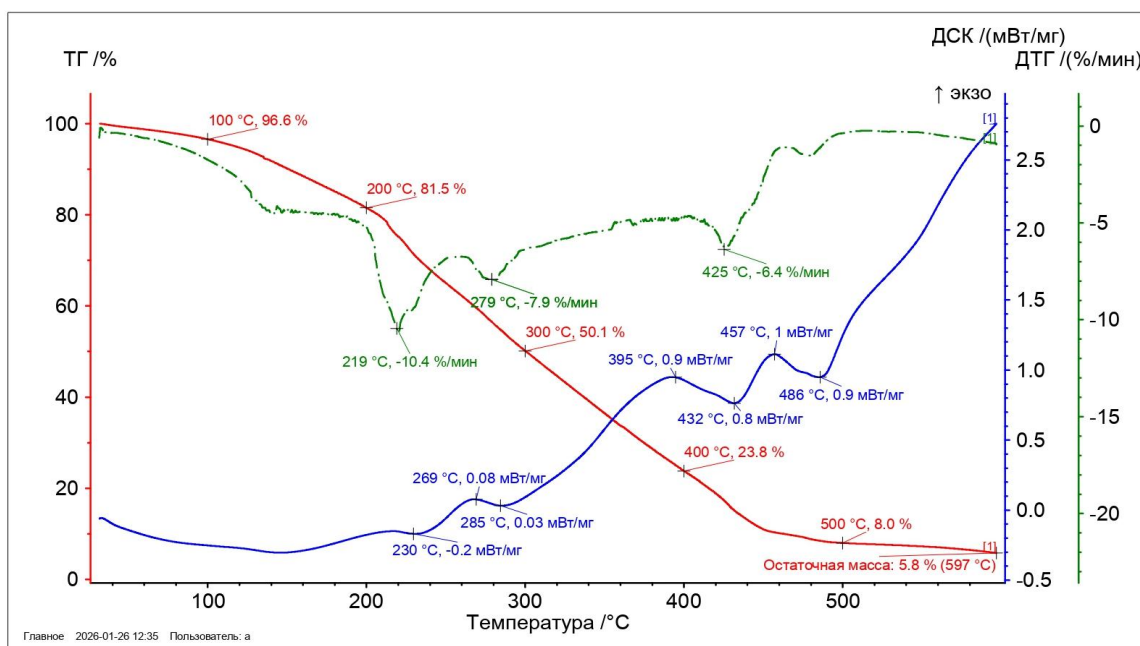


Рис. 4. Термогравиметрические кривые сорбента, насыщенного нефтью (образец 2)

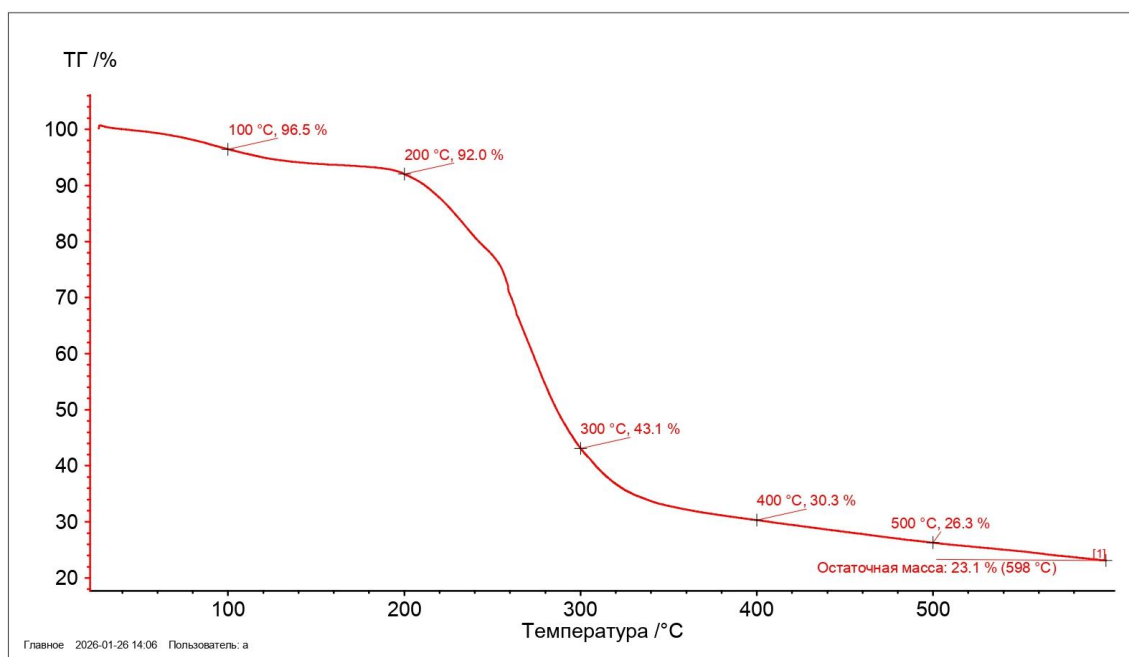


Рис. 5. ТГ-кривые образца 1

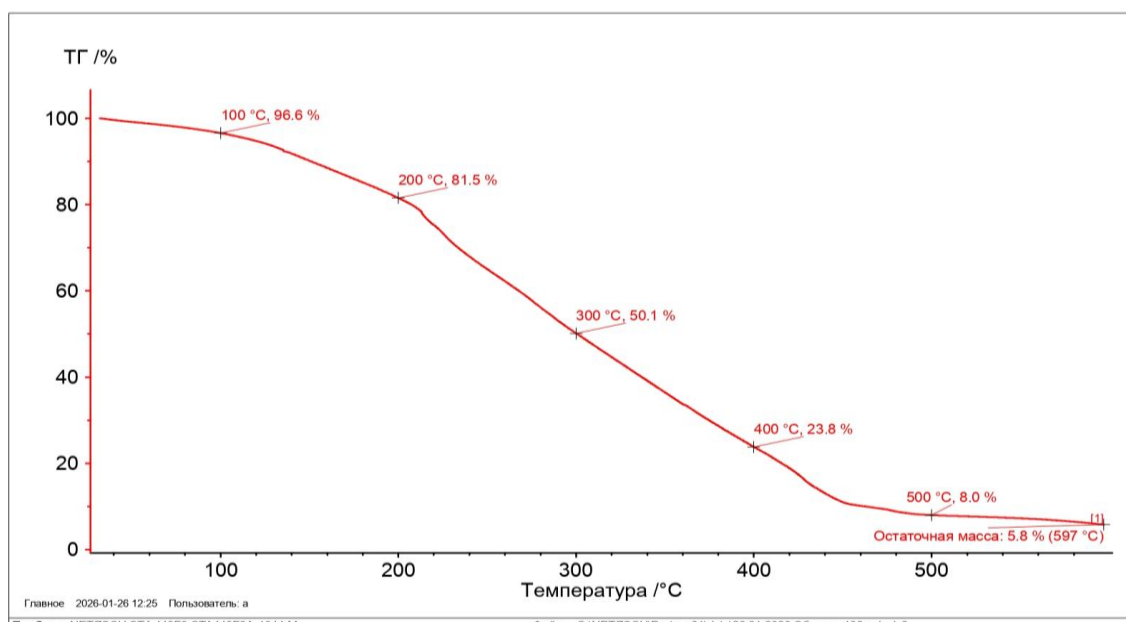


Рис. 6. ТГ-кривые образца 2

Как видно из рис. 3 и 4, характер кривых отличается: сорбент, насыщенный нефтью (образец 2), при сгорании демонстрирует более плавные кривые, нежели сорбент в исходном положении (образец 1). В образце 2 (рис. 4) снижение массы и, соответственно, отклик на температуру, начинается раньше – при 100 °C (96,6 %), чем у образца 1 – при 192 °C (92,8 %). Разница в температурах – почти 100 °C. При этом следует обратить внимание на термическую стойкость образца 1 и начало термодеструкции лишь при достижении 192 °C. После этой температуры образец 1 начинает резко терять массу, приблизительно на 60 % (до 32,3 %), при нагреве всего на 160 °C (при температуре 358 °C).

Этот интервал температур (192 °C – 358 °C) образца 1 (рис. 3) сопряжен с эндотермией с максимумом при температуре 240 °C (-1 мВт/мг) и высокой скоростью убыли массы – от -8,8 %/мин при 231 °C до -21,4 %/мин при 264 °C, что, вероятно, обусловлено реструктуризацией компонентов синтетического сорбента.

У образца 2 (рис. 4) эндотермические процессы практически отсутствуют, снижение массы происходит ровно, без резких скачков. Максимальная скорость убыли массы зафиксирована при 219 °C – -10,4 %/мин, затем при температуре 279 °C убыль массы имеет скорость меньше, – -7,9 %/мин. Интервалу температур от 200 °C до 300 °C соответствует наибольшая убыль массы (на 31,5 %). При температуре 425 °C выявлена скорость убыли массы – 6,4 %/мин и выгорание сорбента до остаточной массы 10,7 % (453 °C, на рисунке не показано). После этих значений наступает фиксация остаточной массы от 8,0 % при температуре 500 °C до итоговой – 5,8 % при 597 °C.

Анализируя ДСК-кривые, можно сделать заключение, что выделение энергии более свойственно образцу 1, нежели образцу 2. Так, у образца 1 при температуре 542 °C зафиксировано максимальное значение тепловыделения – 10 мВт/мг, а при более низких температурах – 192 °C, 267 °C, 285 °C встречаются незначительные тепловыделения – 1 мВт/мг, 3 мВт/мг и 2 мВт/мг соответственно. Образец 2, хоть и содержит в своей пористой и ячеистой структуре нефть, но не выделяет тепло при сгорании. Максимальное значение тепла, зафиксированное при температуре 457 °C, составляет величину 1 мВт/мг. Этим, вероятно, обусловлена разница в массе сорбента уже при температуре 500 °C.

Для определения оптимальной температуры термической утилизации сорбента экспериментальные данные были занесены в табл. 1.

Таблица 1

Убыль массы (%) при термодеструкции образцов 1 и 2

Показатель/ Образец	Убыль массы, %					
	100 °С	200 °С	300 °С	400 °С	500 °С	598 °С
Образец 1	96,5	92,0	43,1	30,3	26,3	23,1
Образец 2	96,6	81,5	50,1	23,8	8,0	5,8

Из табл. 1 видно, что лишь при достижении температуры 500 °С видны серьезные отличия в остаточной массе двух образцов. При увеличении температуры и до окончания эксперимента – 600 °С разница в значениях остаточной массы существенная: образец 1 имеет 23,1 % своей массы в то время, как образец 2, лишь 5,8 %.

Отличия в значении остаточной массы при температуре 500 °С и 600 °С у образца 2 незначительны – 8,0 % и 5,8 %. Поэтому при применении метода сжигания для изучаемого, отработанного, насыщенного нефтью сорбента, а также – экономии энергоресурсов можно рекомендовать сжигание отхода при температуре 500 °С, так как нет принципиальной разницы между величинами получаемой остаточной массы, а расход энергоносителя – существенен. Температура 453 °С также позволяет получить хороший результат – 10,7 % при сжигании насыщенного нефтью сорбента. Для установления итоговой температуры сжигания отхода в натурных условиях необходимо проведение эксперимента на полупромышленной установке с учетом моделирования процесса на мини-объекте (в термоанализаторе), когда доказано, что можно ограничиться сжиганием при температуре 450 °С.

На рис. 2 в показан тигель с сорбентом, насыщенным нефтью, после термодеструкции. При нагреве происходит вспучивание образца 2 (увеличение объема в 30–40 %), что может быть обусловлено выделением газообразных продуктов разложения карбаминоформальдегидной смолы (аммиака, формальдегида, водяных паров). Это следует учитывать при расчете рабочего объема камеры сжигания и обеспечения безопасного технологического процесса.

В соответствии с литературой [11], с помощью метода синхронного термического анализа можно определить температуру самовоспламенения материалов и веществ путем дифференцирования кривой ДСК (рис. 7 и 8), определения на ней экстремума, соответствующего процессу самовоспламенения и повышению скорости тепловыделения. При совмещении графиков 3, 4 с 7, 8 можно установить температуры самовоспламенения исследуемых материалов:

- образец 1 – исходный сорбент – 258 °С;
- образец 2 – сорбент, насыщенный нефтью, – 253 °С.

У исходного сорбента и насыщенного нефтью температуры самовоспламенения практически не отличаются, что можно, вероятно, объяснить неизменностью свойств сорбента при нагревании.

На рис. 7 и 8 представлены кривые ДСК и dДСК исследуемых образцов 1 и 2.

Литературные данные [12] содержат сведения о температуре самовоспламенения нефти, которая в зависимости от места добычи имеет значения от 237 °С до 310 °С. Полученные данные также подтверждают их достоверность, так как в образце 2 велико содержание нефтепродукта, следовательно, определенная по результатам эксперимента температура самовоспламенения сорбента, насыщенного нефтью, близка к температуре самовоспламенения нефти – 253 °С, но и почти не отличается от исходного сорбента.

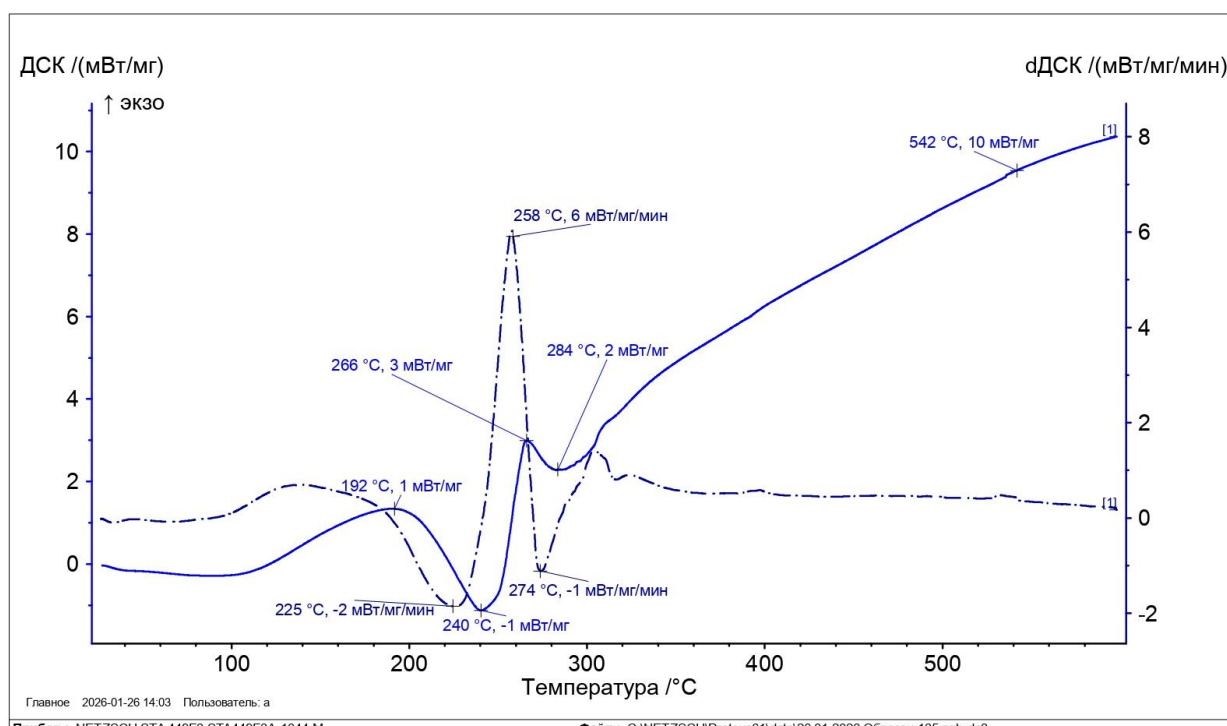


Рис. 7. ДСК и dДСК-кривые образца 1

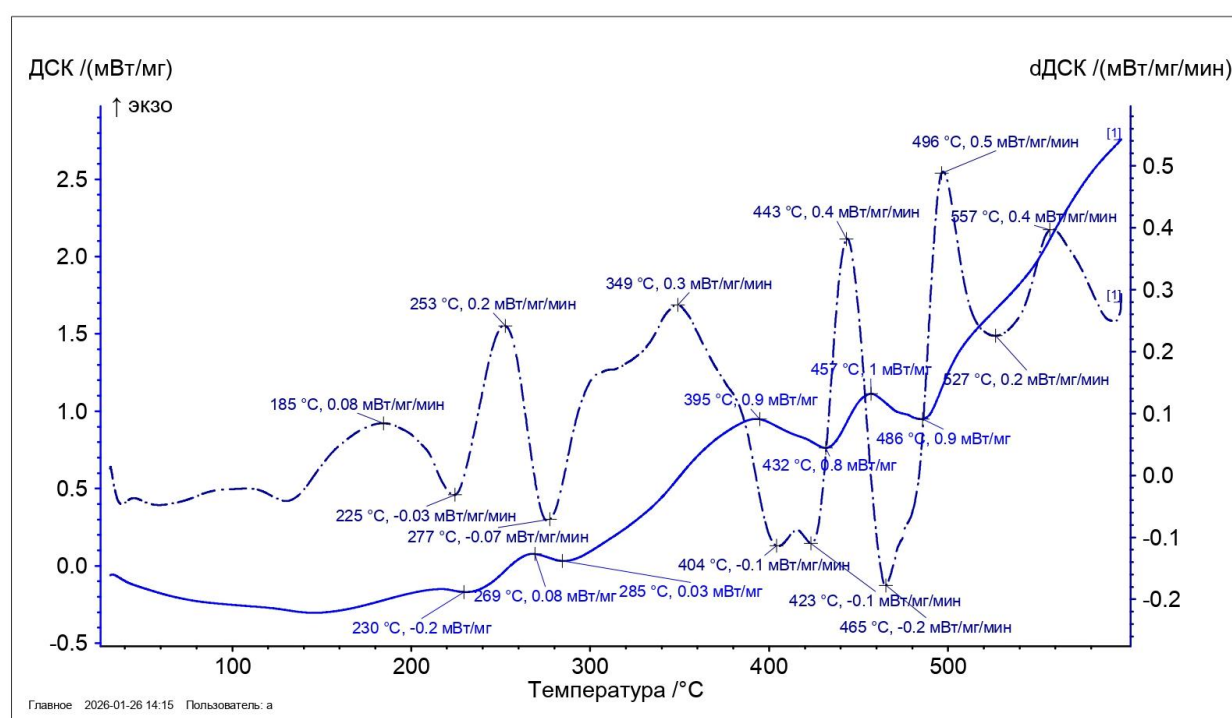


Рис. 8. ДСК и dДСК-кривые образца 2

Заключение

При использовании метода сорбции для ликвидации нефтеразлива, на взгляд авторов, следует предусматривать вначале процессы обезвоживания образующегося, обременительного отхода для снижения его объема и массы, а затем – термическую утилизацию. Для реализации на практике термического метода важно знать температуру, при которой произойдет полное

сгорание насыщенного нефтью сорбента или достаточное для уменьшения объема, чтобы рассчитать необходимые энергетические ресурсы. В данной работе определено, что достаточно достичь температуры 450 °С, чтобы получить остаточную массу 10,7 % утилизируемого, насыщенного нефтью сорбента.

Следует подчеркнуть, что термическая утилизация рассматривается как резервный метод, когда биоремедиация невозможна по климатическим или нормативным ограничениям.

Представленные результаты создают научную основу для разработки регламентов термической утилизации полимерных сорбентов и проектирования технологических процессов ликвидации питанных нефтью отходов.

Список источников

1. Будыкина Т.А., Емельянов С.Г. Процессы и аппараты защиты гидросферы: учеб. пособие. М.: Академия, 2010. 288 с. EDN QNOUSD.
2. Конгар-Оол В.В., Мелкозеров В.М., Кайзер Ю.Ф. Индустриальная очистка нефтезагрязненных земель, водоемов, лесных угодий и других ландшафтов // Вестник Тувинского государственного университета. Технические и физико-математические науки. 2019. № 4 (54).
3. Анализ влияния сорбционной обработки загрязненной нефтепродуктами почвы на развитие аборигенной микрофлоры / В.М. Мелкозеров [и др.] // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2014. № 4. С. 50–56. EDN SCTLMR.
4. Мелкозеров В.М., Васильев С.И., Вельп А.Я. Исследование эксплуатационных характеристик модифицированных многоцелевых карбамидных поропластов // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2010. № 8. С. 34–39.
5. Мелкозеров В.М., Васильев С.И., Журавлев Д.Н. Производство полимерных сорбентов серий «Униполимер-М» и «Унисорб» // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2017. № 3. С. 9–13.
6. Композиция для получения сорбента на основе карбамидоформальдегидной смолы: пат. № 2587440 С1 Рос. Федерация: МПК В01J 20/26 / В.М. Мелкозеров, С.И. Васильев, Л.А. Лапушова; заявитель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный университет». – № 2015121956/05; заявл. 08.06.2015; опубл. 20.06.2016.
7. Мелкозеров В.М., Васильев С.И., Лапушова Л.А. Результаты исследования рабочих характеристик полимерных сорбентов, используемых для очистки нефтезагрязненных объектов и предотвращения их возгораний // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2013. № 1. С. 32–38.
8. Preparation of sorbents from selected polymers / W. Ciesińska [et al.] // Polish Journal of Chemical Technology. 2011. Т. 13. № 1. С. 51–54.
9. Application of sorbents for oil spill cleanup focusing on natural-based modified materials: a review / M. Zamparas [et al.] // Molecules. 2020. Т. 25. № 19. С. 4522.
10. Мелкозеров В.М., Васильев С.И., Журавлев Д.Н. Производство полимерных сорбентов серий «Униполимер-М» и «Унисорб» // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2017. № 3. С. 9–13.
11. К вопросу оценки показателей пожарной опасности полимерных материалов методом синхронного термического анализа / О.В. Беззапонная [и др.] // Техносферная безопасность. 2025. № 4 (49). С. 51–63.
12. Корольченко А.Я., Корольченко Д.А. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: справочник: в 2-х ч. 2-е изд., перераб и доп. М.: Асс. «Пожнаука», 2004. Ч. 2. 774 с.

References

1. Budykina T.A., Emel'yanov S.G. *Processy i apparaty zashchity gidrosfery: ucheb. posobie*. M.: Akademiya, 2010. 288 s. EDN QNOUSD.
2. Kongar-Ool V.V., Melkozerov V.M., Kajzer Yu.F. Industrial'naya ochildka neftezagryaznennyh zemel', vodoemov, lesnyh ugodij i drugih landshaftov // *Vestnik Tuvinskogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie i fiziko-matematicheskie nauki*. 2019. № 4 (54).
3. Analiz vliyaniya sorbcionnoj obrabotki zagryaznennoj nefteproduktami pochvy na razvitie aborigennoj mikroflory / V.M. Melkozerov [i dr.] // *Zashchita okruzhayushchej sredy v neftegazovom komplekse*. 2014. № 4. S. 50–56. EDN SCTLMR.
4. Melkozerov V.M., Vasil'ev S.I., Vel'p A.Ya. Issledovanie ekspluatacionnyh harakteristik modifitsirovannyh mnogocelevyh karbamidnyh poroplastov // *Zashchita okruzhayushchej sredy v neftegazovom komplekse*. 2010. № 8. S. 34–39.
5. Melkozerov V.M., Vasil'ev S.I., Zhuravlev D.N. Proizvodstvo polimernyh sorbentov serij «Unipolimer-M» i «Unisorb» // *Zashchita okruzhayushchej sredy v neftegazovom komplekse*. 2017. № 3. S. 9–13.
6. Kompoziciya dlya polucheniya sorbenta na osnove karbamidoformal'degidnoj smoly: pat. № 2587440 C1 Ros. Federaciya: MPK B01J 20/26 / V.M. Melkozerov, S.I. Vasil'ev, L.A. Lapushova; zayavitel' Federal'noe gosudarstvennoe avtonomnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya «Sibirskij federal'nyj universitet». – № 2015121956/05; zayavl. 08.06.2015; opubl. 20.06.2016.
7. Melkozerov V.M., Vasil'ev S.I., Lapushova L.A. Rezul'taty issledovaniya rabochih harakteristik polimernyh sorbentov, ispol'zuemyh dlya ochildki neftezagryaznennyh ob'ektov i predotvrashcheniya ih vozgoranij // *Zashchita okruzhayushchej sredy v neftegazovom komplekse*. 2013. № 1. S. 32–38.
8. Preparation of sorbents from selected polymers / W. Ciesińska [et al.] // *Polish Journal of Chemical Technology*. 2011. T. 13. № 1. S. 51–54.
9. Application of sorbents for oil spill cleanup focusing on natural-based modified materials: a review / M. Zamparas [et al.] // *Molecules*. 2020. T. 25. № 19. S. 4522.
10. Melkozerov V.M., Vasil'ev S.I., Zhuravlev D.N. Proizvodstvo polimernyh sorbentov serij «Unipolimer-M» i «Unisorb» // *Zashchita okruzhayushchej sredy v neftegazovom komplekse*. 2017. № 3. S. 9–13.
11. K voprosu ocenki pokazatelej pozharnoj opasnosti polimernyh materialov metodom sinhronnogo termicheskogo analiza / O.V. Bezzaponnaya [i dr.] // *Tekhnosfernaya bezopasnost'*. 2025. № 4 (49). S. 51–63.
12. Korol'chenko A.Ya., Korol'chenko D.A. *Pozharovzryvoopasnost' veshchestv i materialov i sredstva ih tusheniya: spravochnik: v 2-h ch. 2-e izd., pererab i dop.* M.: Ass. «Pozhnauka», 2004. Ch. 2. 774 s.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 08.02.2026; одобрена после рецензирования: 25.02.2026;
принята к публикации: 06.04.2026

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 08.02.2026; approved after review: 25.02.2026;
accepted for publication: 06.04.2026

Информация об авторах:

Будыкина Татьяна Алексеевна, профессор кафедры пожарной безопасности Академии гражданской защиты МЧС России (141435, Московская обл., г. Химки, мкр. Новогорск, ул. Соколовская, стр. 1А), доктор технических наук, доцент, e-mail: tbudykina@yandex.ru, SPIN-код: 5164-7470

Коваль Юлия Николаевна, заведующая кафедрой химии и процессов горения Сибирской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России (662972, Красноярский край, г. Железногорск, ул. Северная, д. 1), кандидат биологических наук, доцент, e-mail: a_yulya@inbox.ru, SPIN-код: 8176-0603

Information about authors:

Budykina Tatiana A., professor of the department of fire safety of Academy of civil protection of EMERCOM of Russia (141435, Moscow region, Khimki, md. Novogorsk, Sokolovskaya str., 1A), doctor of technical sciences, associate professor, e-mail: tbudykina@yandex.ru, SPIN: 5164-7470

Koval Yulia N., head of the department of chemistry and combustion processes of Siberian fire and rescue academy of EMERCOM of Russia (662972, Krasnoyarsk Krai, Zheleznogorsk, Severnaya str., 1), candidate of biological sciences, associate professor, e-mail: a_yulya@inbox.ru, SPIN: 8176-0603