



JOURNAL OF FUTURE

MILLIY SOHALARARO ILMIY-INNOVATSION JURNAL



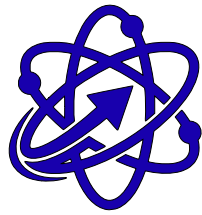
VOL. 2 | ISSUE 2 | 2026
ISSN 3093-8899



TECHNOLOGY & INNOVATION
SUSTAINABLE DEVELOPMENT
GREEN CHEMISTRY
BIOTECHNOLOGY

TEXNOLOGIYA & INNOVATSIYA
BARQAROR RIVOJLANISH
YASHIL KIMYO
BIOTEXNOLOGIYA





JOURNAL OF FUTURE

Journal of Future – ilmiy, elektron, fanlararo innovatsion jurnali O‘zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasining dissertatsiyalar asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan ilmiy nashrlar ro‘yxatida e‘tirof etilgan 14-ResearchBib va 40-ResearchGate bazalarida indekslangan.

[Jurnal bir yilda o‘n ikki marta chop etiladi](#)

O‘zbekiston Respublikasi Prezidenti huzuridagi Davlat xizmatini rivojlantirish agentligida 2025-yil 25-martda 682701 raqam bilan ro'yxatga olingan.

Maqolalarning ilmiy saviyasi va keltirilgan ma‘lumotlar uchun mualliflar javobgar hisoblanadi.

To‘plam elektron shaklda (PDF formatida) mualliflarga taqdim etiladi. To‘plamga kiritilgan maqolalarning mazmuni, undagi statistik ma‘lumotlar hamda me‘yoriy hujjatlarning aniqligi, shuningdek bildirilgan fikr-mulohazalarning haqqoniyligi uchun mualliflarning o‘zlari mas‘ul hisoblanadi. Belgilangan talablarga javob bermaydigan maqolalar to‘plamga qabul qilinmaydi. Tashkiliy qo‘mita maqola matnini qisqartirish, qisman tahrir qilish hamda ularni tegishli bo‘limlarga taqsimlash huquqiga ega.

Muassis: [“Uranium Publishing” MChJ](#)

Elektron manzil: future.journal.official@gmail.com

© Journal of Future

© Authors



TAHRIRIYAT

Bosh muharrir:

Egamberdiyev Elmurod Abduqodirovich, Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti professori, texnika fanlari doktori

Tahririyat kengashi raisi:

Maxsumov Abduxamid Gafurovich, Toshkent kimyo-texnologiya instituti professori, kimyo fanlari doktori

Tahririyat kengashi a'zolari:

José R. Simões Moreira, Braziliyaning San-Paulu universiteti qoshidagi Politécnica universitetining professori

Parmanov Askar Basimovich, O'zbekiston Milliy universiteti, kimyo fanlari doktori, dotsent

Abdullayev Toxir Xasanbayevich, Tojikiston Milliy Fanlar akademiyasining V.I. Nikitin nomidagi Kimyo instituti, kimyo fanlari doktori, dotsent

Seydedeh Samira Mohammadi Nezamobadi, Eron davlatining Azad universiteti, texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori, dotsent

Vorobyev Stepan Vladimirovich Rossiya Federatsiyasining Gubkin nomidagi Rossiya davlat neft va gaz universiteti (Milliy tadqiqot universiteti) kimyo fanlari nomzodi, dotsent

Abdirahimov Mirzohid Ibrohimjon o'g'li, Polsha Fanlar akademiyasi Kimyo muhandisligi instituti, texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori, dotsent

Mengliyev Sherzod Shoimovich, Toshkent kimyo-texnologiya instituti, kimyo fanlari bo'yicha falsafa doktori, dotsent

Ziyadullayev Anvar Egamberdiyevich, Toshkent kimyo-texnologiya instituti, kimyo fanlari doktori, dotsent

Jumayev Shahobiddin Shamsidinovich, Tojikiston Konchilik va metallurgiya instituti, kimyo fanlari nomzodi, dotsent

Ismailov Boburbek Maxmudjanovich, Toshkent kimyo-texnologiya instituti, texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori, dotsent

Ergashev Yorqinjon To'liqin o'g'li, Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti, texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori, dotsent

Mashayev Eldor Ergashvoy o'g'li, Toshkent kimyo-texnologiya instituti, kimyo fanlari bo'yicha falsafa doktori

Raximov Xusniddin Nurboboyevich, Toshkent kimyo-texnologiya instituti, texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori, dotsent

Abdukarimova Saida Abdujalilovna, Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti, texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori, dotsent

Xakimov Farrux Shokirjonovich, Farg'ona politexnika instituti, texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori, dotsent

Obidov Shoyunus Botir o'g'li, Toshkent kimyo-texnologiya instituti, texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori, dotsent

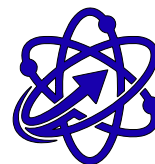
Mardonov Asror Hasanovich, O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasining akademik S.Yu.Yunusov nomidagi O'simlik moddalari kimyosi instituti, texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori

Meyliyeva Laziza Qahramonovna, Toshkent kimyo-texnologiya instituti, kimyo fanlari bo'yicha falsafa doktori



MUNDARIJA

DIFFERENCE BETWEEN ZEOLITE AND HYDROGEN-PERMUTITE WITH MAIN INDICATORS Berdiev Sh.I., Aripov M.M., Kayumov J.S., Erkabaev F.I.....	1
CHARACTERIZATION OF HYDROCARBON LIQUID BY-PRODUCT FROM POLYETHYLENE WAX PRODUCTION: GC-MS COMPOSITION AND FUEL PROPERTY EVALUATION Mashaev E.E., Xudoyberdiev A.I., Talipova I.E., Lukasheva D.E., Mezentseva Y.Y., Urakov X.B., Pardaeva M.S.....	13
KREKING DISTILLYATLARINI GIDRIRLASH JARAYONIDA Co-Mo/Al₂O₃ VA Ni-Mo/Al₂O₃ KATALIZATORLARINING GIDRODESULFIRLASH SAMARADORLIGI VA SUYUQ FRAKSIYA UNUMIGA TA'SIRI G'ulomov Sh.T., Yusupova G.X., Shonazarova Sh.I., Djulanova D.A., Sultonqulova R.S.....	27
QATTIQ KATALIZATORLAR REGENERATSIYASI: TIZIMLI TERMİK QAYTA TIKLASH SAMARADORLIGINI TUZILMA-FAOLLIK MEZONLARI ASOSIDA BAHOLASH Ergashev J.R., Umarova D.D., G'ulomov Sh.T., Yusupova G.X.....	40
EX-SOLVED NI-CO BIMETALLIC NANOCATALYSTS FROM PEROVSKITE PRECURSORS FOR STEAM METHANE REFORMING: MECHANISMS OF HIGH RESISTANCE TO COKING AND SINTERING Omonov Sh.A., Gulomov Sh.T., Urinbadalov I.I.....	50
АНАЛИЗ И ВЫБОР ЭФФЕКТИВНЫХ МЕТОДОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ СОРБЕНТОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ОЧИСТКЕ ГАЗОВ ОТ ВРЕДНЫХ СОЕДИНЕНИЙ Баходиров З.А., Абдубаннобов М.М., Мирзаахмедова М.А., Менглиев Ш.Ш., Игамкулова Н.А., Гуломов Ш.Т.....	63
КАТАЛИТИЧЕСКОЕ ПОЛУЧЕНИЕ ОКСИГЕНАТНЫХ КОМПОНЕНТОВ МОТОРНЫХ ТОПЛИВ ИЗ ЛЁГКИХ ФРАКЦИЙ ГАЗОКОНДЕНСАТА Озодова Ф.Г., Абдубаннобов М.М., Мирзаахмедова М.А., Менглиев Ш.Ш., Игамкулова Н.А., Гуломов Ш.Т.....	73



АНАЛИЗ И ВЫБОР ЭФФЕКТИВНЫХ МЕТОДОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ СОРБЕНТОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ОЧИСТКЕ ГАЗОВ ОТ ВРЕДНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Зафар Абдурахмон угли Баходиров

Магистр кафедры Химической технологии переработки нефти и газа, Ташкентский химико-технологический институт.

Sanalar

Qabul qilindi: 16.05.2026

Nashrga qabul qilindi: 19.05.2026

Nashr qilindi: 21.05.2026

Миржалол Мадолимжон угли Абдубаннобов

*Магистр кафедры Химической технологии переработки нефти и газа, Ташкентский химико-технологический институт.
e-mail: mirjalolabdubannobov29@gmail.com
ORCID: 0009-0000-7601-4765*

Мавлуда Ахмеджановна Мирзаахмедова

*PhD, старший преподаватель кафедры Химической технологии переработки нефти и газа, Ташкентский химико-технологический институт.
e-mail: mmirzaahmedova@bk.ru
ORCID: 0000-0002-0641-4859*

Шерзод Шойимович Менглиев

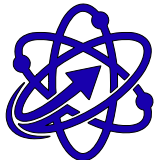
*PhD, доцент кафедры Химической технологии переработки нефти и газа, Ташкентский химико-технологический институт.
E-mail: sh.shoimovich@gmail.com
ORCID: 0000-0001-6235-4400*

Наргиса Абдувалиевна Игамкулова

*кандидат химических наук, доцент кафедры Химической технологии переработки нефти и газа, Ташкентский химико-технологический институт.
E-mail: n.abduvaliyevna@gmail.com
ORCID: 0000-0003-2244-4676*

Шухраткодир Ташматович Гуломов

*PhD, доцент кафедры Химической технологии переработки нефти и газа, Ташкентский химико-технологический институт.
E-mail: shuhratrich@gmail.com
ORCID: 0000-0002-5793-3018*



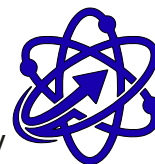
Аннотация. В статье выполнен анализ методов восстановления сорбентов и абсорбентов, применяемых при очистке промышленных газов от вредных соединений, включая H_2S , CO_2 , SO_x , NO_x , летучие органические соединения и влагу. Актуальность работы обусловлена тем, что эффективность газоочистных установок определяется не только исходной поглотительной способностью материала, но и сохранением этой способности в многократных циклах сорбция-регенерация. На основе сравнительного подхода рассмотрены термическая десорбция, паровая отпарка, вакуумная регенерация, химическая промывка, реактивация и электро-/микроволновой нагрев. Для выбора рационального метода предложены критерии: степень восстановления емкости, удельные энергозатраты, устойчивость сорбента к деградации, коррозионный риск, экологическая безопасность и промышленная реализуемость. Отдельно проанализированы данные по аминовой очистке природного газа на примере Шуртанского газохимического комплекса: увеличение содержания CO_2 в сырьевом газе с 2,31 до 3,37% мол. приводит к превышению остаточного CO_2 в очищенном газе до 75-100 ppm при проектной норме не более 10 ppm. Показано, что переход от ДЭА 30% к МДЭА 40% позволяет снизить паровую нагрузку регенерации с 64,0 до 52,3 т/ч, обеспечить остаточные H_2S <5 ppm и CO_2 <10 ppm и повысить технологическую устойчивость процесса без замены основного оборудования. Практическая значимость работы заключается в формировании алгоритма выбора метода восстановления сорбента для газоочистных систем нефтегазовой и газохимической промышленности Узбекистана.

Ключевые слова: сорбенты, регенерация, очистка газа, MDEA, H_2S , CO_2 , энергоэффективность

Annotatsiya. Maqolada sanoat gazlarini H_2S , CO_2 , SO_x , NO_x , uchuvchan organik birikmalar va namlik kabi zararli komponentlardan tozalashda qo'llaniladigan sorbent va absorbentlarni qayta tiklash usullari tahlil qilindi. Tadqiqotning dolzarbligi gaz tozalash qurilmalarining samaradorligi faqat sorbentning dastlabki yutish qobiliyatiga emas, balki sorbsiya-regeneratsiya sikllarida ushbu qobiliyatning saqlanishiga ham bog'liqligi bilan izohlanadi. Taqqoslash asosida termik desorbsiya, bug' bilan regeneratsiya, vakuimli regeneratsiya, kimyoviy yuvish, reaktivatsiya hamda elektro-/mikroto'lqinli qizdirish usullari ko'rib chiqildi. Maqolada ratsional usulni tanlash uchun tiklangan sorbsiya sig'imi, energiya sarfi, sorbentning degradatsiyaga chidamliligi, korroziya xavfi, ekologik xavfsizlik va sanoat sharoitida joriy etish imkoniyati mezonlari taklif qilindi. Shuningdek, Sho'rtan gaz-kimy o majmuasi misolida aminli gaz tozalash jarayoni ma'lumotlari tahlil qilindi. Xom gaz tarkibida CO_2 miqdorining 2,31 dan 3,37 mol.% gacha oshishi tozalangan gazda CO_2 qoldiq miqdorining 75-100 ppm gacha ko'tarilishiga olib keladi, loyiha normasi esa 10 ppm dan oshmasligi kerak. ДЭА 30% eritmasidan MDEA 40% eritmasiga o'tish regeneratsiya uchun bug' sarfini 64,0 dan 52,3 t/soat gacha kamaytirishi, H_2S <5 ppm va CO_2 <10 ppm ko'rsatkichlariga erishishi mumkinligi asoslandi.

Kalit so'zlar: sorbentlar, regeneratsiya, gazni tozalash, MDEA, H_2S , CO_2 , energiya samaradorligi

Abstract. This paper analyses regeneration methods for sorbents and absorbents used in industrial gas purification from harmful compounds, including H_2S , CO_2 , SO_x , NO_x , volatile organic compounds, and moisture. The relevance of the study is



determined by the fact that the efficiency of gas purification units depends not only on the initial sorption capacity of a material but also on the preservation of this capacity during repeated sorption-regeneration cycles. Thermal desorption, steam stripping, vacuum regeneration, chemical washing, reactivation, and electro-/microwave heating are compared. The selection criteria include capacity recovery, specific energy demand, resistance to degradation, corrosion risk, environmental safety, and industrial feasibility. Particular attention is paid to amine gas treating data for the Shurtan Gas Chemical Complex. An increase in CO₂ concentration in feed gas from 2.31 to 3.37 mol.% results in residual CO₂ of 75-100 ppm in treated gas, whereas the design limit is not more than 10 ppm. The analysis shows that replacing 30% DEA with 40% MDEA can reduce steam consumption for regeneration from 64.0 to 52.3 t/h, ensure residual H₂S below 5 ppm and CO₂ below 10 ppm, and improve process stability without replacing the main equipment. The practical significance of the work is the proposed decision-making algorithm for selecting sorbent regeneration methods in gas purification systems of the oil, gas, and gas-chemical industries of Uzbekistan.

Keywords: *sorbents, regeneration, gas purification, MDEA, H₂S, CO₂, energy efficiency*

Введение

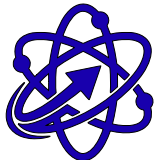
Очистка газовых потоков от вредных соединений является обязательной стадией подготовки природного газа, нефтезаводских газов, технологических выбросов и циркуляционных газов химических производств. Наиболее опасными компонентами являются сероводород, диоксид углерода, оксиды серы и азота, пары воды, кислородсодержащие органические соединения, меркаптаны и следовые токсичные примеси. Их присутствие приводит к коррозии оборудования, образованию гидратов, ухудшению теплотворной способности газа, снижению ресурса катализаторов и росту экологической нагрузки [1-7].

В промышленной практике применяются два близких, но технологически различных направления: абсорбционная очистка жидкими поглотителями и адсорбционная очистка твердыми сорбентами. К первой группе относятся водные растворы алканоламинов, щелочные растворы, физические растворители и комбинированные системы. Ко второй группе относятся активированные угли, цеолиты, силикагели, активированная окись алюминия, металлоорганические каркасы и композиционные сорбенты. Для обеих групп ключевой проблемой является восстановление сорбционной способности после насыщения вредными компонентами [8-14].

Если регенерация проводится неэффективно, возрастают расход свежего сорбента, объем отходов, расход пара или электроэнергии, а также вероятность попадания вредных компонентов в очищенный газ. Поэтому выбор метода восстановления должен основываться не только на максимальной степени десорбции, но и на балансе энергетических, экологических и эксплуатационных факторов. Особенно актуальна эта задача для предприятий Узбекистана, где газохимические комплексы работают с сырьем переменного состава и повышенной концентрацией кислых компонентов [15-19].

Материалы и методы анализа

Методическая основа работы включает сравнительный анализ литературных



и технологических данных, обобщение промышленных показателей аминовой очистки природного газа, а также ранжирование методов восстановления сорбентов по комплексу инженерных критериев. В качестве исходных данных использованы показатели работы зоны 700 Шуртанского газохимического комплекса и сведения о применении МДЭА при очистке кислых газов.

Для унификации сравнения использованы следующие критерии: степень восстановления сорбционной емкости, удельные энергозатраты, сохранение структуры и химической стабильности сорбента, риск образования вторичных отходов, коррозионная опасность, простота аппаратного оформления и возможность внедрения без глубокой реконструкции действующей установки.

Степень восстановления сорбента после регенерации рассчитывалась по выражению: $R = (q_{reg}/q_0) \times 100\%$, где q_{reg} - сорбционная емкость после регенерации, q_0 - исходная сорбционная емкость. Удельные энергозатраты оценивались как $E_{sp} = Q_{reg}/m_s$, где Q_{reg} - тепловая или электрическая энергия на цикл регенерации, m_s - масса регенерируемого сорбента. Для жидких абсорбентов дополнительно учитывалась паровая нагрузка ребойлеров и устойчивость раствора к деградации.

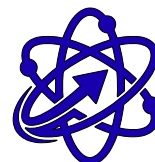
Классификация вредных соединений и применяемых сорбентов

Таблица 1. Основные вредные компоненты газовых потоков и типовые сорбционные материалы

Компонент	Негативное воздействие	Типовые сорбенты / абсорбенты	Рациональный метод восстановления
H ₂ S	Коррозия, токсичность, сернистые выбросы	МЭА, ДЭА, МДЭА, активированные угли с пропиткой	Термическая регенерация, паровая отпарка, химическая реактивация
CO ₂	Снижение теплотворности, гидратообразование, нагрузка на криогенные блоки	МДЭА, ДЭА, цеолиты, MOF-сорбенты	Десорбция нагревом, вакуумная регенерация, снижение давления
H ₂ O	Гидраты, коррозия, замерзание в низкотемпературных блоках	Силикагель, цеолиты, активная Al ₂ O ₃	Термическая продувка сухим газом, вакуум
SO _x /NO _x	Кислотные выбросы, образование солей	Щелочные растворы, активированный уголь, оксидные сорбенты	Химическая промывка, замена или реактивация
VOC/ меркаптаны	Запах, токсичность, отравление катализаторов	Активированные угли, цеолиты, полимерные сорбенты	Термическая десорбция, паровая продувка, растворная промывка

Методы восстановления жидких абсорбентов. Для жидких абсорбентов, применяемых при удалении кислых газов, регенерация обычно проводится десорбцией поглощенных компонентов при повышенной температуре. В аминовых установках насыщенный раствор после абсорбера направляется в десорбер, где подвод тепла в ребойлере разрушает соли и высвобождает H₂S и CO₂. Восстановленный раствор после охлаждения возвращается в абсорбер. [1,6,7].

Эффективность такой регенерации зависит от типа амина. Первичные и



Принципиальная схема замкнутого цикла очистки газа и восстановления сорбента



Рисунок 1. Замкнутый цикл очистки газа и восстановления сорбента.

вторичные амины обладают высокой реакционной способностью, но характеризуются большей коррозионной активностью и энергозатратами. Третичные амины, прежде всего МДЭА, отличаются более низкой теплотой реакции и высокой селективностью к H_2S . Это особенно важно при необходимости полного удаления H_2S при ограниченном поглощении CO_2 .

Методы восстановления твердых адсорбентов. Для твердых сорбентов основными методами восстановления являются термическая десорбция, продувка горячим инертным или очищенным газом, вакуумная регенерация, паровая обработка и химическая промывка. Термическая десорбция

Таблица 2. Сравнительный анализ методов восстановления сорбентов

Метод	Сущность	Преимущества	Ограничения	Рекомендуемая область применения
Термическая десорбция	Нагрев насыщенного сорбента до температуры десорбции	Высокая полнота восстановления, простая схема	Высокие энергозатраты, риск старения материала	Цеолиты, силикагель, активная Al_2O_3 , угли
Паровая отпарка	Вытеснение примесей водяным паром	Подходит для аминов и VOC, хорошая управляемость	Конденсат требует очистки, расход пара	Аминовые растворы, активированные угли
Вакуумная регенерация	Снижение парциального давления сорбата	Меньшая температура, меньше термодеструкции	Требуется вакуумное оборудование	Адсорбенты для CO_2 и влаги
Химическая промывка	Растворение или нейтрализация загрязнений	Эффективна при солях и тяжелых загрязнениях	Образование жидких отходов	Угли с пропиткой, оксидные сорбенты
Электро-/ СВЧ-регенерация	Локальный нагрев объема сорбента	Быстрый нагрев, потенциальная экономия энергии	Не для всех материалов, сложное масштабирование	Углеродные и композиционные сорбенты

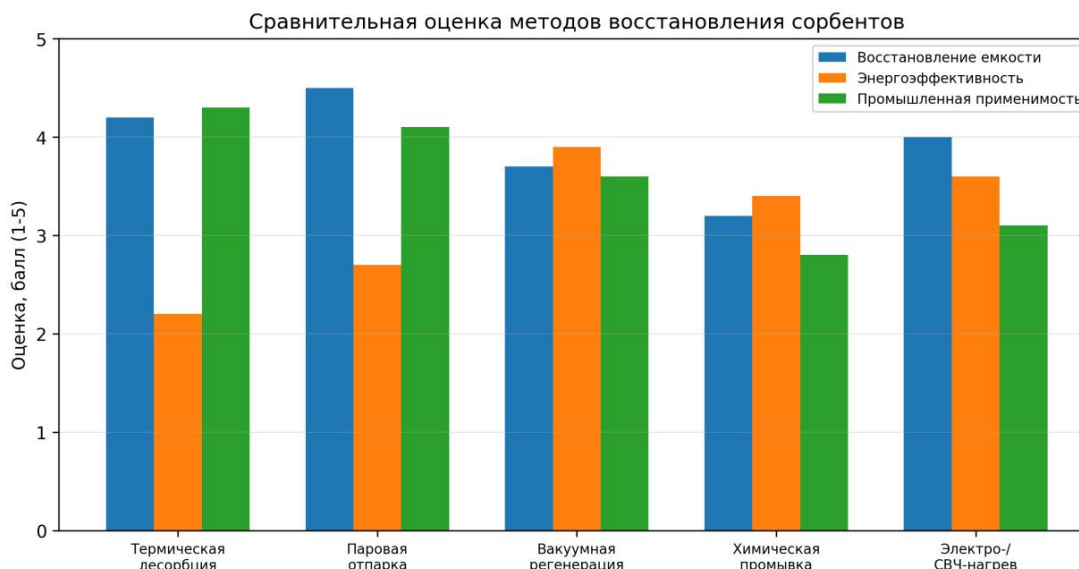


Рисунок 2. Балльная оценка основных методов восстановления сорбентов по технологическим критериям.

наиболее универсальна, однако при высоких температурах может вызывать разрушение пористой структуры, коксообразование или деградацию функциональных групп. [4,5,11–13].

Вакуумная регенерация снижает температуру десорбции и уменьшает термическое старение, но требует герметичного оборудования и дополнительных энергозатрат на вакуумирование. Химическая промывка эффективна при необратимом связывании кислых компонентов, но формирует жидкие отходы и требует последующей нейтрализации. Электронагрев и микроволновая регенерация перспективны благодаря локальному подводу энергии, однако их промышленная применимость зависит от электропроводности, диэлектрических свойств и формы сорбента [4,5,9,10,13].

Результаты и обсуждение

Сопоставление методов показывает, что универсального способа восстановления сорбентов не существует. Выбор определяется природой вредного компонента, типом сорбента, прочностью связи «сорбент-сорбат», температурной стабильностью материала и требованиями к экологической безопасности. Для водных аминовых абсорбентов наиболее рациональной остается термическая десорбция с паровой отпаркой, тогда как для твердых адсорбентов выбор шире и зависит от структуры пор и химической природы поверхности. [1,4,5].

Особое значение имеет предотвращение накопления термостойких солей, продуктов окисления и механических примесей. Даже при высокой начальной емкости сорбент может быстро терять эффективность из-за необратимой деградации. Поэтому система восстановления должна включать не только десорбер или регенератор, но и фильтрацию, контроль pH, анализ содержания активного вещества и периодическую корректировку состава [12,15,17].

Промышленный пример: восстановление аминового абсорбента при очистке природного газа

На примере Шуртанского газохимического комплекса показано, что рост концентрации CO_2 в сырьевом газе является критическим фактором для

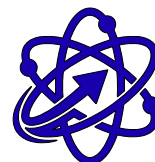


Таблица 3. Сравнение физико-химических и эксплуатационных свойств аминовых абсорбентов

Показатель	МЭА	ДЭА	МДЭА	Технологический вывод
Молекулярная масса, г/моль	61,1	105,1	119,2	МДЭА имеет более высокую молекулярную массу и меньшую летучесть
Упругость паров при 60 °С, Па	660	180	24	Меньший унос МДЭА с регенерированным газом
Рабочая концентрация, % масс.	10-20	20-30	30-50	МДЭА позволяет повысить емкость циркуляционного раствора
Коррозионная активность	Высокая	Средняя	Низкая	Переход на МДЭА снижает коррозионный риск
Склонность к деградации	Высокая	Средняя	Низкая	Увеличивается межзаменный срок раствора

Таблица 4. Технологические показатели аминовой очистки газа на основе данных ШГХК

Показатель	Действующая схема ДЭА 30%	Предлагаемая схема МДЭА 40%	Ожидаемый эффект
CO ₂ в сырьевом газе, % мол.	3,37	3,37	Работа при фактической повышенной нагрузке
CO ₂ в очищенном газе, ppm	75-100	<10	Восстановление нормативного качества газа
H ₂ S в очищенном газе, ppm	75-100*	<5	Снижение сероводорода до безопасного уровня
Расход пара на регенерацию, т/ч	64,0	52,3	Экономия около 11,7 т/ч
Рабочая концентрация амина, % масс.	30	40	Повышение поглотительной емкости
Пенообразование	250-350 мл	<50 мл	Стабилизация работы абсорбера и десорбера

*В исходных данных превышение 75-100 ppm приведено как проблема по CO₂; для H₂S в таблице дана консервативная технологическая оценка неудовлетворительного режима очистки при перегрузке системы.

действующих установок аминовой очистки. При проектном составе сырьевого газа содержание CO₂ составляло 2,31% мол., тогда как фактическое значение достигло 3,37% мол. Это увеличило нагрузку по кислым компонентам и привело к превышению остаточного CO₂ в очищенном газе до 75-100 ppm при допустимой норме не более 10 ppm.

Существующий раствор ДЭА 30% работает при повышенном расходе циркуляции и расходе пара 64,0 т/ч. Однако дальнейшее увеличение расхода ДЭА ограничено из-за коррозионной активности и энергоемкости. В этих условиях более эффективным вариантом является переход на МДЭА 40%, который допускает более высокую рабочую концентрацию, имеет меньшую летучесть и обеспечивает меньший расход пара при

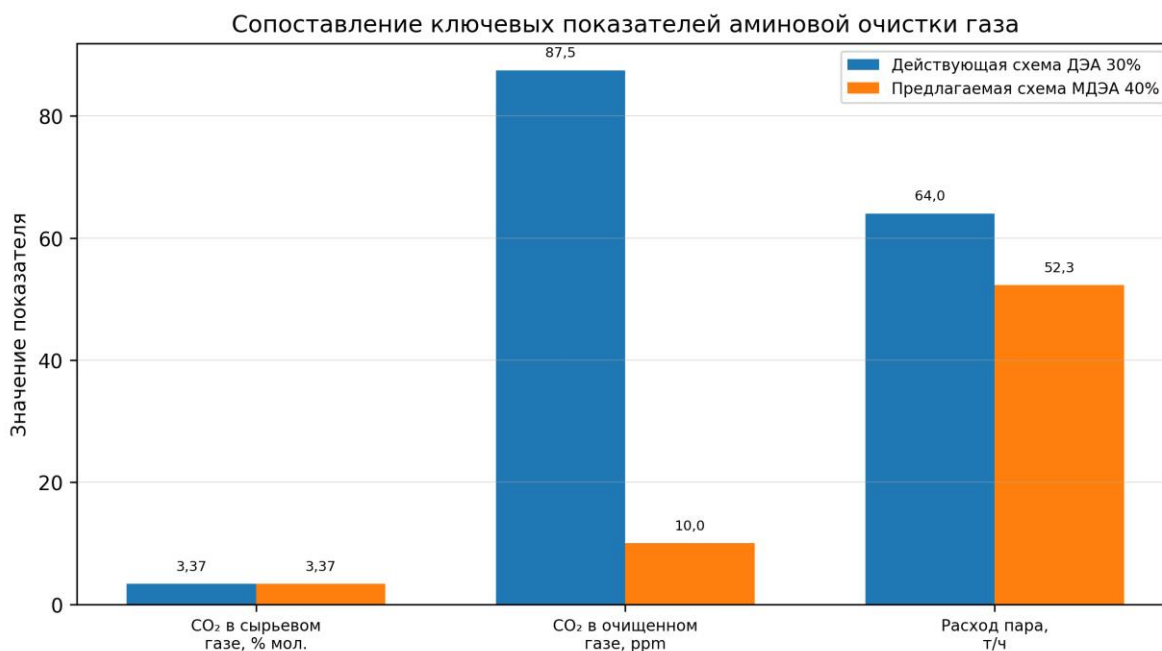


Рисунок 3. Сравнение показателей действующей и предлагаемой схемы аминовой очистки.

регенерации [6,7,15,17,19].

Алгоритм выбора метода восстановления сорбента. Рациональный выбор метода восстановления можно представить как последовательность инженерных решений. На первом этапе устанавливается тип сорбента и характер связи загрязнителя с активным центром. Если связь преимущественно физическая, предпочтительны снижение давления, вакуумирование или умеренный нагрев. Если связь химическая и обратимая, как в аминовых растворах, используется термическая десорбция с паровой отпаркой. Если загрязнение необратимое, требуется химическая промывка, реактивация или частичная замена сорбента. [4–7,11–13].

На втором этапе оценивается стабильность материала. Для цеолитов и активной окиси алюминия допустимы повышенные температуры, тогда как для полимерных и функционализированных сорбентов требуется более мягкий режим. На третьем этапе проводится энергетическая оптимизация: регенерация не должна обеспечивать максимальную десорбцию любой ценой, если это приводит к резкому росту энергозатрат и деградации материала. [4,5,11–14,18].

Обоснование эффективного решения для газохимических объектов Узбекистана. Для установок очистки природного газа от H₂S и CO₂ наиболее обоснованным решением является использование регенерируемых аминовых систем с пониженной энергоемкостью. В условиях повышенного содержания CO₂ переход от ДЭА к МДЭА имеет одновременно технологическое, энергетическое и экологическое значение. МДЭА обеспечивает более высокую селективность к H₂S, меньшую коррозионную активность и возможность работы при концентрации 40-50% масс., что снижает нагрузку на циркуляционный контур. [6,7,15,17,19].

Для твердых сорбентов, используемых в осушке и тонкой доочистке газа, приоритет следует отдавать термической регенерации сухим газом с контролем температуры, так как перегрев снижает ресурс цеолитов и силикагелей. Для активированных углей, работающих по VOC и меркаптанам, эффективна паровая или термическая десорбция с последующей конденсацией десорбата. Химическая промывка должна применяться только

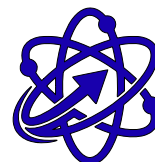


Таблица 5. Рекомендуемый выбор метода восстановления в зависимости от сорбционной системы

Сорбционная система	Основная задача	Предпочтительный метод восстановления	Контролируемые параметры
МДЭА 40% / МДЭА + активатор	Удаление H ₂ S и CO ₂	Термическая десорбция, паровая отпарка, фильтрация раствора	pH, активная концентрация амина, H ₂ S/CO ₂ , TCA, Fe ²⁺ , пенообразование
ДЭА 30%	Кислые газы при умеренной нагрузке	Термическая регенерация, антикоррозионный контроль	Температура ребойлера, коррозия, солеобразование
Цеолиты	Осушка и глубокая доочистка	Продувка горячим сухим газом, вакуум	Точка росы, температура слоя, перепад давления
Силикагель / Al ₂ O ₃	Осушка газа	Термическая регенерация при ограниченной температуре	Влага на выходе, механическая прочность, истираемость
Активированный уголь	VOC, меркаптаны, следовые органические вещества	Паровая десорбция, термореактивация, химическая промывка	Иодное число, зольность, потери массы, температура воспламенения

при доказанном накоплении необратимых примесей. [4,5,11–13,18].

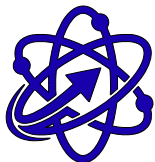
Выводы и дальнейшая работа

Проведенный анализ показал, что эффективность газоочистной системы определяется устойчивостью сорбента в повторяющихся циклах сорбция-регенерация. Для жидких аминовых абсорбентов наиболее рациональным методом восстановления остается термическая десорбция с паровой отпаркой, а для твердых адсорбентов - термическая или вакуумная регенерация с учетом температурной стабильности материала.

Для условий очистки природного газа от H₂S и CO₂ наиболее перспективным является переход на МДЭА 40% или МДЭА с активирующей добавкой. На основе промышленных данных показано, что такая схема способна обеспечить снижение CO₂ в очищенном газе с 75-100 ppm до <10 ppm, H₂S до <5 ppm и уменьшить расход пара на регенерацию с 64,0 до 52,3 т/ч.

Химическая промывка и реактивация должны рассматриваться как вспомогательные методы для случаев необратимого загрязнения, накопления термостойких солей или отравления активных центров. Для повышения надежности процесса необходимо внедрять регулярный лабораторный контроль: содержание активного вещества, кислых газов, термостойких солей, железа, pH, пенообразование и остаточную сорбционную емкость.

Дальнейшие исследования целесообразно направить на экспериментальную оценку долговечности МДЭА-систем при фактическом составе газа месторождений Узбекистана, моделирование теплового баланса регенератора и разработку локальных композиций сорбентов с возможностью многократного восстановления.



Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование выполнено без внешнего финансирования.

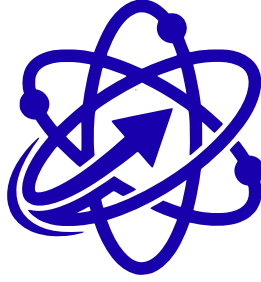
Благодарности. Авторы выражают благодарность специалистам кафедры химической технологии переработки нефти и газа за консультации по вопросам аминовой очистки и регенерации абсорбентов.

Этические заявления. Работа не включает эксперименты с участием людей или животных.

Доступность данных и кода. Данные, использованные для анализа, приведены в таблицах настоящей статьи и основаны на предоставленных технологических материалах и опубликованных источниках.

Список литературы

1. A. L. Kohl and R. B. Nielsen, *Gas Purification*, 5th ed. Houston, TX: Gulf Professional Publishing, 1997.
2. A. J. Kidnay, W. R. Parrish, and D. G. McCartney, *Fundamentals of Natural Gas Processing*, 3rd ed. Boca Raton, FL: CRC Press, 2019.
3. A. Rojey, C. Jaffret, S. Cornot-Gandolphe, B. Durand, S. Jullian, and M. Valais, *Natural Gas: Production, Processing, Transport*. Paris, France: Editions Technip, 1997.
4. D. M. Ruthven, *Principles of Adsorption and Adsorption Processes*. New York, NY: John Wiley & Sons, 1984.
5. R. T. Yang, *Adsorbents: Fundamentals and Applications*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2003, doi: 10.1002/047144409X.
6. G. T. Rochelle, "Amine scrubbing for CO₂ capture," *Science*, vol. 325, no. 5948, pp. 1652–1654, 2009, doi: 10.1126/science.1176731.
7. U. Zahid, "Simulation of an acid gas removal unit using a DGA and MDEA blend instead of a single amine," *Chemical Product and Process Modeling*, vol. 15, no. 4, article 20190044, 2020, doi: 10.1515/cppm-2019-0044.
8. A. S. Farooqi et al., "Simulation of natural gas treatment for acid gas removal using the ternary blend of MDEA, AEEA, and NMP," *Sustainability*, vol. 14, no. 17, article 10815, 2022, doi: 10.3390/su141710815.
9. R. Serna-Guerrero, Y. Belmabkhout, and A. Sayari, "Modeling CO₂ adsorption on amine-functionalized mesoporous silica: 1. A semi-empirical equilibrium model," *Chemical Engineering Journal*, vol. 161, no. 1–2, pp. 173–181, 2010, doi: 10.1016/j.cej.2010.04.024.
10. R. Serna-Guerrero and A. Sayari, "Modeling adsorption of CO₂ on amine-functionalized mesoporous silica: 2. Kinetics and breakthrough curves," *Chemical Engineering Journal*, vol. 161, no. 1–2, pp. 182–190, 2010, doi: 10.1016/j.cej.2010.04.042.
11. R. Desai, M. Hussain, and D. M. Ruthven, "Adsorption of water vapour on activated alumina. I. Equilibrium behaviour," *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, vol. 70, no. 4, pp. 699–706, 1992, doi: 10.1002/cjce.5450700412.
12. G. San Miguel, S. D. Lambert, and N. J. D. Graham, "The regeneration of field-spent granular activated carbons," *Water Research*, vol. 35, no. 11, pp. 2740–2748, 2001, doi: 10.1016/S0043-1354(00)00549-2.
13. P. D. Sullivan, M. J. Rood, G. Grevillot, J. D. Wander, and K. J. Hay, "Activated carbon fiber cloth electrothermal swing adsorption system," *Environmental Science & Technology*, vol. 38, no. 18, pp. 4865–4877, 2004, doi: 10.1021/es0306415.
14. P. L. Llewellyn et al., "High uptakes of CO₂ and CH₄ in mesoporous metal-organic frameworks MIL-100 and MIL-101," *Langmuir*, vol. 24, no. 14, pp. 7245–7250, 2008, doi: 10.1021/la800227x.
15. O. Akhmedova and Sh. Akhmedova, "Production of amine absorbents on the basis of local raw materials," *Universum: Technical Sciences*, no. 3(120), pp. 53-57, 2024. [Online]. Available: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/17124>
16. M. Zh. Makhmudov and S. A. Yomgurov, "Adsorption methods of cleaning and drying gases," *Bulletin of Teachers of the New Uzbekistan*, vol. 1, no. 5, pp. 72–75, 2023.
17. M. J. Makhmudov and R. J. Hamroev, "Research on the effect of the balance, driving force and kinetics of the absorption process on foaming in the process of purification of gases from sour components using MDEA," *Universum: Technical Sciences*, no. 11(128), pp. 24-25, 2024. [Online]. Available: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/18630>
18. S. A. ugli Joniboev, N. A. Igamkulova, Sh. Sh. Mengliyev, and M. A. Mirzaahmedova, "Physicochemical and chemisorption properties of modified local bentonite sorbents for acid gas removal from expander gas streams," *European Journal of Interdisciplinary Research and Development*, vol. 48, pp. 229–235, 2026.
19. M. Mirzaahmedova and Z. A. Baxodirov, "Gaz-kimyo sanoatida MDEA asosida kislotali gazlarni ajratish texnologiyalarining ilg'or regeneratsiya usullari," in *Umidli kimyogarlari-2025: XXXIV ilmiy-texnikaviy anjuman maqolalar to'plami*. Toshkent: TKTI, 2025, 57-59 b.



JOURNAL OF FUTURE

Volume 2, Issue 2, 2026

Musahhih: Eldor Mashayev
Sahifalovchi va dizayner: O'tkirbek Azamatov

© Materiallardan foydalanish yoki ularni qayta chop etishda “Journal of Future” jurnali manba sifatida majburiy tarzda ko'rsatilishi lozim. Jurnalda e'lon qilingan maqolalar hamda reklama materiallarida keltirilgan dalil va ma'lumotlarning ishonchliligi uchun mualliflar shaxsan mas'uldirlar. Tahririyatning nuqtayi nazari har doim ham mualliflar fikri bilan mos kelmasligi mumkin. Tahririyatga taqdim etilgan materiallar qaytarilmaydi.

Muassis: “Uranium Publishing” MChJ
Tahririyat manzili: 100058, Tashkent shahri, Yunusobod tumani, Adolat MFY, 4-mavze, №28/1-uy

Tel: +998997299997
Web sayt: www.future-journal.uz
Elektron manzil: future.journal.official@gmail.com

© Journal of Future

© Authors

