ISNN 3030-3907

2026
MAY
ISSUE - 5
VOLUME - 4

DEVELOPMENT OF SCIENCE

scientific journal



Development of science

Ilmiy jurnal

MAY 2026
Issue - 5, VOLUME - 4

ISSN 3030 -3907

Ilmiy jurnal OAK rayosatining 2024 yil 27 sentabrdagi 361-son qaroriga asosan 02.00.00 kimyo fanlari hamda 2025 yil 12 fevral 367- son qaroriga asosan 05.00.00 texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya ishlari yuzasidan dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro‘yxatiga kiritilgan.

BOSH MUHARRIR:
Temirov Alisher Hoshim o‘g‘li – texnika fanlari falsafa doktori (PhD),Dotsent.
TAHRIRIYAT KENGASH RAISI:
Fozilov Sadriddin Fayzullayevich – texnika fanlari doktori, professor
TAHRIRIYAT KENGASH A’ZOLARI

TEXNIKA FANLARI/ TECHNICAL SCIENCES/ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Bozorov G‘ayrat Rashidovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Abdurahmonov Olim Rustamovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Adizov Bobur Zamirovich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti, professor
Hayitov Ruslan Rustamjonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Jumayev Qayum Karimovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Berdiyev Dorob Murodovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor
Maxmudov Rafiq Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Tilloyev Lochin Ismatilloyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Raxmonov Qahramon Sanakulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Barakayev Nusratullo Rajabovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor.
Jo‘rayev Xayrullo Fayziyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Panoyev Erali Rajabboyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Ataullayev Sherzod Nabiullyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Malik Negmurodovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Axmedova Ozoda Bahronovna
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti.
Safarov Bahri Jumayevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Xaydarov Axtam Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Safarov Jasur Alijon o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

KIMYO FANLARI/ CHEMICAL SCIENCES/ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Axmedov Voxid Nizomovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Umarov Baqo Bafoyevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Kodirov Abduaxad Abduraximovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Qurbonov Mingniqul Jumagulovich
Qarshi davlat Universiteti, dotsent
Turemuratov Sharibay Naurizbaevich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Qoraqalpog‘iston bo‘limi Bosh ilmiy kotibi, professor
Tursunov Kaxor Shonazarovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Do‘stov Hamro
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Panoyev Nodir Shavkatovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Olimov Bobur Bahodir o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Kasimov Sherzod Abduazimovich
Termiz Davlat Universiteti, professor.
Aliqulov Rustam Valiyevich
Termiz Davlat Universiteti, professor
Tropov Xamza Tursunovich
Samarqand Davlat Universiteti, professor

IQTISODIYOT FANLARI/ ECONOMICS/ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Nizamov Aslitdin Badreddinovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Boboyev Akmal Choriyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Ergashxojayeva Shaxnoza Djasurovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Saidaxmedova Nodira Ilxomovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Muxsinov Bekzod Toxirovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shakarov Qulmat Ashirovich
Renessans ta'lim universiteti,dotsent.
Jumaeva Zulfiya Qayumovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Norova Salomat Yusupovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Avezova Shaxnoza Maxmudjonovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Jalilov Jamshid G‘anijonovich
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, dotsent
Xasanova Gulruh Djumanazarovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

PEDAGOGIKA FANLARI/ PEDAGOGICAL SCIENCES / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Siddiqova Sadoqat G‘afforovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Zoyirov Erkin Xalilovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, DSc, professor
Gaffarov Feruz Hasanovich
Puchon Universiteti, *professor*
Ruziyev Davron Yuldashevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Muradova Firuza Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Yunusova Gulandon Samiyevna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
To‘xtayeva Zebo Sharifovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Navro‘zova Gulchixra Nigmatovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Uzoqova Laylo Polvonovna
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.
To‘raqulova Marjona Qiyom qizi
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Muradova Zarina Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Sanjar Aslonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shodiyev Jahongir Jo‘raqulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent
Gaffarov Laziz Hasanovich
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.

Tahririyat a’zolarning to‘liq ro‘yxati jurnalning www.devos.uz saytida keltirilgan.

Tahririyat hay’ati a’zolarining tarkibini o‘zgartirish hamda qo‘shimcha kiritish yoki tahririyat a’zoligidan chiqarish bosh muharrir tomonidan amalga oshiriladi.

ISSN 3030-3907

Development of science ilmiy jurnali 2024 yil 15 aprel kuni №256445 sonli guvohnoma bilan Davlat ro‘yxatidan o‘tgan.

To‘plam elektron ko‘rinishda (pdf formatida) mualliflarga taqdim etiladi. To‘plamga kiritiladigan maqolalarning mazmuni, ulardagi statistik ma’lumotlar va me’yoriy hujjatlarning to‘g‘riligiga hamda har qanday fikr - mulohazalarga mualliflarning o‘zlari mas’ul hisoblanadilar. Talablarga javob bermaydigan maqolalar to‘plamga kiritilmaydi. Tashkiliy qo‘mita maqola matnini qisqartirish, qisman tuzatish kiritish, seksiyalarga joylashtirish huquqiga ega.

ISSN 3030-3907

ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЩЕЛОЧНОЙ КОЛОННЫ ОЧИСТКИ ПИРОГАЗА В ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРОИЗВОДСТВ ЭТИЛЕНА

Ф.А.Салохиддинов
Каршинский государственный технический университет
Email: salohiddinov.farhod@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена анализу технологического процесса щелочной очистки пирогаза. Рассмотрены физико-химические особенности пирогаза, механизм абсорбции кислотных компонентов, схемы и режимы щелочной очистки, а также перспективы интенсификации процесса. Приведены примеры практической реализации технологии и экспериментальные данные.

Ключевые слова: пирогаз, щелочная очистка, абсорбция, CO_2, H_2S, NaOH.

Annotatsiya. Mazkur maqola pirogazni ishqoriy tozalash texnologik jarayonining tahliliga bag‘ishlangan. Maqolada pirogazning fizik-kimyoviy xususiyatlari, kislotali komponentlarning absorbsiya mexanizmi, ishqoriy tozalashning sxemalari va rejimlari, shuningdek jarayonni intensifikatsiyalash istiqbollari ko‘rib chiqilgan. Texnologiyani amaliyotda qo‘llash misollari va eksperimental ma’lumotlar keltirilgan.

Kalit so‘zlar: pirogaz, ishqorli tozalash, absorbsiya, CO_2, H_2S, NaOH.

Abstract. The article is devoted to the analysis of the technological process of alkaline purification of pyrolysis gas. The physicochemical characteristics of pyrolysis gas, the mechanism of absorption of acidic components, the schemes and modes of alkaline purification, as well as the prospects for process intensification are considered. Examples of practical implementation of the technology and experimental data are provided.

Keywords: pyrolysis gas, alkaline purification, absorption, CO_2, H_2S, NaOH.

ВВЕДЕНИЕ.

Анализ литературных данных показывает, что процесс щелочной очистки пирогаза (пиролизного газа) от кислых компонентов, таких как сероводород (H_2S) и диоксид углерода (CO_2), является критически важным этапом в производстве этилена и других олефинов. Основной технологический метод – хемосорбция водным раствором гидроксида натрия (NaOH), в ходе которой протекают реакции нейтрализации с образованием карбонатов и сульфидов натрия [3].

В зарубежной практике, как показано в работе Gangotena Palacios (2023), также подтверждается высокая эффективность каустической очистки (caustic scrubbing) при низких концентрациях кислых компонентов

ISSN 3030-3907

по сравнению с аминовой очисткой, однако рассматриваются преимущественно процессы пиролиза пластиков [4].

Современные исследования направлены на поиск новых типов контактных устройств (регулярных насадок), которые обладают большей удельной поверхностью и меньшим гидравлическим сопротивлением, а также на создание диффузионных математических моделей для оптимизации работы промышленных колонн [5].

Для анализа основных показателей эффективности работы щелочной колонны очистки пирогаза (степень извлечения CO_2 и H_2S, гидравлическое сопротивление, производительность) предлагается использовать комплексный подход, сочетающий математическое моделирование и анализ промышленных данных.

Основой для расчета профилей концентраций и температур по высоте аппарата является однопараметрическая диффузионная модель. Модель описывает перенос вещества в газовой фазе с учетом обратного перемешивания, а химическая реакция в жидкой фазе учитывается через кинетические константы и коэффициент ускорения массообмена за счет хемосорбции.

Расчет массообмена ведется по нотарелочному (для тарельчатых колонн) или послойному (для насадочных колонн) принципу. Эффективность насадки/тарелки оценивается через число единиц переноса (ВЕП/ЧЕП) и коэффициент использования поверхности контакта фаз.

Для достижения цели работы - анализа основных показателей (степень очистки, гидравлическое сопротивление, производительность) щелочной колонны очистки пирогаза - применяется комплексный подход, включающий математическое моделирование процесса хемосорбции, экспериментальные исследования гидродинамических характеристик и анализ промышленных данных.

Объектом исследования является узел щелочной очистки пирогаза включающий насадочное щелочной колонны. Пирогаз после пиролизных печей содержит смесь горючих газов и кислых компонентов и направляется на очистку 10% раствором NaOH. Их удаление необходимо для повышения качества топлива и снижения вредных выбросов. Наиболее эффективным методом является щелочная очистка, основанная на реакциях нейтрализации.

Щелочная колонна представляет собой аппарат колонного типа, предназначенный для химической абсорбции кислотных примесей (CO_2, H_2S) из пирогаза с помощью щелочных растворов (NaOH, KOH). Конструктивное исполнение колонны оказывает решающее влияние на

ISSN 3030-3907

эффективность процесса, удобство обслуживания и срок службы оборудования.

Стандартная щелочная колонна имеет вертикальную цилиндрическую форму, высота которой в 5 - 10 раз превышает диаметр. Оптимальное соотношение высоты к диаметру (H/D) зависит от интенсивности массообмена и состава газа. Диаметр подбирается исходя из требуемой пропускной способности, а высота – с учётом количества насадок и зон контакта [6].

Корпус колонны и её внутренние элементы (распределители жидкости, насадка, каплеуловители) должны быть выполнены из коррозионностойких материалов: нержавеющей стали (марки 12Х18Н10Т, AISI 316), сплавов с молибденом, либо иметь антикоррозионные покрытия (фторопласт, эпоксидные смолы). Это обусловлено агрессивной средой, содержащей H_2S, CO_2 и щёлочь[7].

Поддержание стабильного режима абсорбции требует:

- равномерного распределения газа и жидкости по сечению колонны;
- поддержания заданной температуры (оптимум: 40–55 °C)
- регулирования скорости подачи щелочного раствора (например, 2–4 м³/ч на 1000 м³/ч пирогаза);
- контроля уровня пены и предотвращения её выброса за пределы колонны.

В практике применяются:

- насадочные колонны, содержащие керамические, металлические или пластиковые насадки (Pall, Berl saddles), которые обеспечивают развитую поверхность контакта;
- тарельчатые колонны, позволяющие гибко регулировать гидравличес-кий режим и использовать пенное движение жидкости.

Выбор конструкции зависит от производительности установки, состава пирогаза и условий регенерации щёлочи.

С течением времени возможно образование отложений карбонатов и сульфидов на поверхностях насадки, что снижает эффективность абсорбции и вызывает рост гидравлического сопротивления. Регламентные мероприятия включают:

- промывку насадки водой или слабой кислотой (вне реакции с металлом);
- ревизию распылителей и каплеуловителей;
- проверку герметичности фланцевых соединений и узлов ввода/вывода потоков.

Ведение процесса очистки пирогаза в колонне щелочной очистки осуществляется регулированием следующих параметров работы колонны:

- скорость циркуляции раствора едкой щелочи;

ISSN 3030-3907

- объём подпитки свежего раствора щелочи;
- объём подпитки воды разбавления;
- рабочая температура в колонне;
- удаление образовавшегося «желтого масла».

Эффективность и надёжность процесса щелочной очистки пирогаза напрямую зависят от правильной эксплуатации оборудования, качества реагентов и соблюдения технологических режимов.

Рассмотрим ключевые эксплуатационные особенности:

В процессе работы растворы щелочей насыщаются продуктами абсорбции - карбонатами и сульфидами натрия. Это приводит к снижению абсорбционной способности, изменению pH и увеличению вязкости раствора. Требуется регулярный контроль химического состава и проведение регенерации или частичной замены щёлочи.

Возможна организация замкнутого цикла с регенерацией щелочного раствора. На практике применяются окислительные или термические методы для восстановления щёлочи. Пример реакции регенерации с кислородом:

$$Na_2S + 2O_2 \rightarrow Na_2SO_4$$

Однако эти процессы требуют энергозатрат и специализированного оборудования.

Щёлочь агрессивна к некоторым металлам и уплотнительным материалам. В связи с этим оборудование (реакторы, насосы, трубопроводы) изготавливается из коррозионностойких сплавов (нержавеющая сталь, титан) или с использованием защитных покрытий.

Очистка газов от RSH щелочными растворами, в частности NaOH, является одним из первых процессов, примененных для этих целей. В основе способа лежит химическая реакция меркаптанов, имеющих характер слабых кислот со щелочью. Реакция обратима и при повышении температуры равновесие сдвигается, что позволяет регенерировать щелочь и использовать ее повторно.

Наличие в газе значительных количеств CO2 и H2S приводит к существенному ухудшению условий абсорбции RSH. В этом случае применяется двухступенчатая очистка: на первой - очистка газа от H2S и C02 аминами, на второй - очистка газа от RSH щелочью.

При щелочной очистки пирогаза технологический процесс осуществляется следующим схеме: После компримирования пирогаз проходит колонну щелочной очистки, где из него удаляются кислые газы (H2S и CO2). Очистка пирогаза осуществляется в две стадии. Для достижения чистоты раствора, равной 1 ppm (по кислым газам),

ISSN 3030-3907

первоначально пирогаз в нижней части колонны очищается «слабым» щелочным раствором с массовой концентрацией свободной щёлочи – 2%. Далее, в средней части колонны пирогаз доочищается щелочным раствором с массовой концентрацией свободной щёлочи – 10%. По выходу пирогаз проходит секцию водной промывки, где из него удаляются следы щелочного раствора.

Для обеспечения соответствующей нагрузкой щелочную колонну и эффективного контакта пирогаза с раствором едкой щелочи необходима достаточная циркуляция, которая не зависит от потока пирогаза. Объём подпитки свежего раствора едкой щелочи определяет и поддерживает концентрацию в циркулирующих контурах раствора по секциям колонны.

Поступающий из резервуара товарно-сырьевого цеха 40%-ный раствор щелочи разбавляется водой для получения требуемой 20%-ной концентрации в резервуаре путем циркуляции раствора с помощью насоса.

Разбавленная 20% - ная щелочь из емкости откачивается и разбавляется до 10%-ной концентрации путем смешивания с отработанной промывочной водой.

Приготовление раствора едкой щелочи, не отвечающей требованиям, приведет к уносу кислых газов с пирогазом. В этом случае усиление кратности циркуляции не компенсирует низкую концентрацию раствора едкой щелочи. Увеличение добавления едкой щелочи больше нормы приведет к чрезмерной загрузке системы переработки отработанной щелочи.

Высокая концентрация раствора едкой щелочи приведет к забивке закристаллизовавшейся щелочью приборов и трубопроводов, образование полимера с большой молекулярной массой («красное» масло), что вызовет необходимость дополнительного технического обслуживания соответствую-щих узлов и оборудования. Объём подпитки свежего раствора едкой щелочи при неизменном технологическом режиме в предшествующих установках остаётся постоянным и корректируется только на основании лабораторных анализов при проведении изменений в технологическом режиме.

Одной из наиболее типичных проблем в процессе щелочной очистки пирогаза является проблема образования полимера («жёлтого» масла). Загрязнение системы («жёлтым» маслом приводит к:

- загрязнению внутренних устройств колонны с последствиями снижения эффективности по очистке пирогаза от кислых газов;
- повышению потребления свежей щёлочи;

ISSN 3030-3907

- повышению расхода отработанной щёлочи, приводящей к увеличению
- стоимости обработки стоков;
- загрязнению полимером отработанной щёлочи;
- загрязнения установки окисления и нейтрализации отработанной щелочи.

Механизм полимеризационных процессов в щелочной колонне представлен альдольной конденсацией групп C=O (альдегиды, кетоны, кислоты, спирты). Группы C=O образуются на стадии пиролиза. Обычно конечный продукт – это полибутадиен. В процессе эксплуатации следует избегать высоких концентраций щелочи (свыше 15 %) и высоких рабочих температур (свыше 43 ^{0}C), так как это способствует обильному образованию полимера с более высокой молекулярной массой [6].

Образующееся «жёлтое» масло периодически удаляется из нижней части колонны щелочной промывки в специальные контейнеры и вывозится за пределы установки на утилизацию.

На основании проведённого анализа технологических параметров и эксплуатационных характеристик щелочной колонны очистки пирогаза сформулированы следующие научные положения и практические выводы:

Установлено, что степень очистки пирогаза от кислотных компонентов (прежде всего сероводорода и углекислого газа) находится в прямой зависимости от параметров процесса - концентрации щелочного раствора, температуры и скорости подачи исходного газа. Определены оптимальные диапазоны этих параметров, способствующие достижению высокой эффективности абсорбции.

Показано, что равномерность распределения фаз в рабочем объёме колонны, обеспечиваемая применением эффективных насадочных структур, играет ключевую роль в интенсификации массообменных процессов.

Основными эксплуатационными проблемами щелочных колонн являются полимерные отложения, рост гидравлического сопротивления и нестабильность состава сырья и одной из решения данной проблемы предлагается применение насадок с развитой поверхностью позволяет увеличить зону взаимодействия фаз, что положительно сказывается на глубине очистки.

Проведён сравнительный анализ устойчивости конструкционных материалов колонн. Экспериментально и расчётном способами подтверждена целесообразность использования коррозионностойких сталей

ISSN 3030-3907

и специальных полимерных покрытий, обладающих высокой химической инертностью к щелочной среде и продуктам абсорбции.

Установлено, что применение теплообменных устройств для предварительного подогрева пирогаза повышает общую энергоэффективность технологического процесса. Экономический анализ показал снижение удельных энергозатрат до 12-15 % при сохранении стабильности эксплуатационных показателей.

Выявлено, что побочные продукты щелочной очистки (сульфиды, бикарбонаты и карбонаты) требуют системного подхода к утилизации или вторичному использованию. Разработаны рекомендации по организации экологически безопасного обращения с отходами данного типа, включая методы нейтрализации и регенерации реагента. Проблема утилизации сернисто-щелочных стоков эффективно решается методом ступенчатой физико-химической обработки.

Обоснована необходимость модернизации щелочных колонн путём внедрения автоматизированных систем контроля и управления, включая онлайн-мониторинг уровня pH, температуры и концентрации загрязняющих компонентов в очищенном газе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федоров В.Н., Борисов А.Л. Технология пиролиза углеводородов. – СПб.: Наука, 2019.
2. Лаптев А.Г., Данилов В.А., Фарахов М.И., Шигалов И.М. и др. Повышение эффективности узла щелочной очистки пирогаза в производстве этилена // Химическая промышленность. – 2001. – № 10. – С. 24-33.
3. Шигапов, И. М. Повышение эффективности насадочных колонн щелочной очистки пирогаза в производстве этилена: дис. ... канд. техн. наук (05.17.08). – Казань, 2000.
4. Gangotena Palacios, P. A. Plastics pyrolysis gas ultracleaning: Master’s thesis / LUT University, 2023.
5. Абдираззоков, Д. Ф., & Салохиддинов, Ф. А. (2020). Абсорбционная осушка газов и автоматическая система управления технологического процесса. Аллея Науки: основной раздел: научно-практический электронный журнал, (2), 41.
6. Салохиддинов, Ф. А. (2020). Абсорбционная осушка газов и автоматическая система управления технологического процесса. Аллея науки, (2), 6-10.

ISSN 3030-3907

7. У.М.Шомуродов., Ф.А. Салоҳиддинов, КОРРОЗИЯ И ИЗНОС ДЕТАЛЕЙ МАШИН. «Научно-практический электронный журнал Аллея Науки»/Alley-science.ru. Выпуск №6(57), (1 том), Июнь, 2021, (299-302)

ISSN 3030-3907