

ХИМИЧЕСКАЯ ДЕСКАЛЬЦИНАЦИЯ ТЕПЛООБМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ: МЕТОДЫ, КИНЕТИКА РАСТВОРЕНИЯ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЦЕССА

Хайитов Жонибек Курбанович

Доцент Каршинский государственный технический университета,

Рахимов Ганишер Бахтиёрович

Доцент Каршинский государственный технический университета,

Бердиев Азиз Фуркатович

*Магистрант Каршинского государственного технического
университета*

Аннотация: В статье представлены результаты теоретического анализа и экспериментальных исследований, посвящённых химическому удалению накипи в теплообменных установках различного типа. Рассмотрены механизмы образования карбонатных, сульфатных и смешанных отложений, исследованы особенности их взаимодействия с кислотными реагентами различной природы. На основе экспериментальных данных определена зависимость эффективности растворения от концентрации реагента и продолжительности обработки. Предложены рекомендации по выбору оптимального состава химического раствора для промывки теплообменников в условиях промышленной эксплуатации.

Ключевые слова: теплообменное оборудование; накипные отложения; минеральные отложения; химическая очистка; дескальцинация; кислотные реагенты; ингибиторы коррозии; карбонат кальция; сульфатные отложения; кинетика растворения; эффективность очистки; коррозионная стойкость; теплофизические свойства.

CHEMICAL DESCALING OF HEAT EXCHANGE EQUIPMENT: METHODS, DISSOLUTION KINETICS, AND PROCESS EFFICIENCY

Zhonibek Kurbanovich Khaitov

Associate Professor, Karshi State Technical University,

Ganisher Bakhtiyorovich Rakhimov

Associate Professor, Karshi State Technical University,

ganisher.raximov1@inbox.ru,

Aziz Berdiev Furkatovich

Master's Student, Karshi State Technical University

Abstract: *This article presents the results of a theoretical analysis and experimental studies on chemical descaling in various types of heat exchange units. The formation mechanisms of carbonate, sulfate, and mixed deposits are examined, and the characteristics of their interaction with various acidic reagents are investigated. Based on the experimental data, the dependence of dissolution efficiency on reagent concentration and treatment duration is determined. Recommendations are provided for selecting the optimal composition of a chemical solution for cleaning heat exchangers under industrial operating conditions.*

Keywords: *heat exchange equipment; scale deposits; mineral deposits; chemical cleaning; descaling; acidic reagents; corrosion inhibitors; calcium carbonate; sulfate deposits; dissolution kinetics; cleaning efficiency; corrosion resistance; thermal properties.*

Введение

Теплообменное оборудование широко применяется в нефтегазовой, химической, энергетической и перерабатывающей промышленности. Одной из наиболее распространённых

эксплуатационных проблем является образование накипи на теплообменных поверхностях. Отложения представляют собой комплексные твердофазные структуры, состоящие, как правило, из карбонатов кальция и магния, сульфатов, оксидов железа, кремнийсодержащих компонентов и органических веществ.

Появление накипи приводит к снижению коэффициента теплопередачи до 30–70 %, росту энергопотребления, увеличению гидравлического сопротивления и преждевременному выходу оборудования из строя. Поэтому своевременная очистка теплообменных аппаратов является ключевым условием обеспечения стабильных технологических режимов и экономически эффективной эксплуатации.

На практике используются механический, гидродинамический и химический методы удаления накипи. Среди них химическая промывка обладает рядом преимуществ: равномерность воздействия, способность проникать в труднодоступные зоны, отсутствие механического воздействия на металл и высокая скорость растворения отложений. В то же время эффективность химической очистки зависит от правильного выбора реагента, контроля концентрации, температуры и времени обработки.

Материалы и методы

Химическая природа исследуемых отложений

Для анализа были выбраны три наиболее распространённых типа накипи:

Таблица 1

Основные типы минеральных отложений и их химические характеристики

Тип отложений	Химическая формула	Особенности образования
Карбонатные	CaCO_3 , MgCO_3	Возникают при использовании жёсткой воды
Сульфатные	CaSO_4 , BaSO_4	Отличаются высокой плотностью и низкой растворимостью
Железооксидные	Fe_2O_3 , Fe_3O_4	Характерны для коррозионных систем

Для каждого типа определялась скорость растворения под действием растворов соляной, лимонной и органических кислот.

Экспериментальная установка:

Эксперименты проводились в циркуляционной промывочной системе, включающей:

- кислотостойкий реактор;
- циркуляционный насос;
- теплообменную кассету с реальными отложениями;
- систему контроля pH и температуры;
- расходомер и манометр.

Температура раствора поддерживалась на уровне 40–50 °С, что соответствует оптимальной кинетике процесса растворения карбонатов и сульфатов.

Оценка эффективности:

Степень очистки определялась по разнице массы теплообменной пластины до и после обработки, а также по динамике изменения концентрации продуктов растворения в растворе.

Результаты и обсуждение

Влияние концентрации реагента

Анализ показал, что эффективность растворения карбонатных отложений возрастает пропорционально концентрации кислотного реагента. Экспериментальная зависимость представлена на графике:

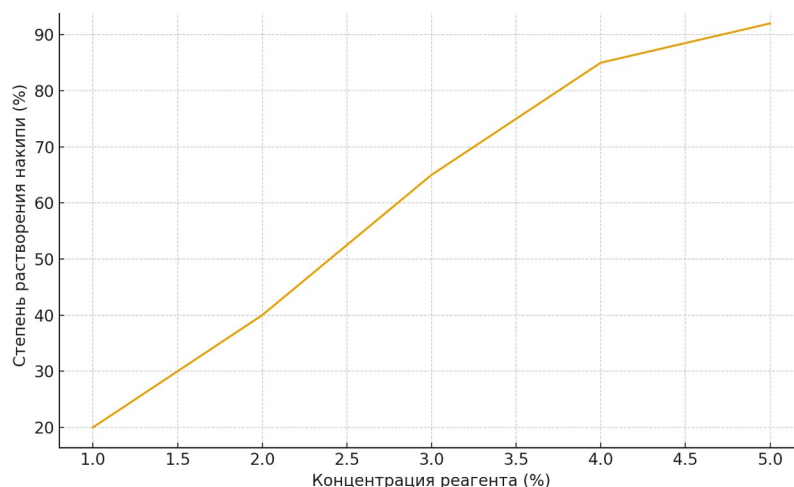


Рисунок 1 – Зависимость эффективности растворения накипи от концентрации кислотного реагента.

- при концентрации 1 % степень растворения составляет около 20–25 %;
- при 3 % — достигает 60–70 %;
- при 5 % — превышает 90 %.

При этом дальнейшее увеличение концентрации не приводит к существенному росту эффективности, но повышает коррозионное воздействие на металл.

Сравнительная эффективность различных кислот

- Соляная кислота (HCl) демонстрирует максимальную скорость растворения CaCO_3 , однако требует ингибиторов коррозии.

- Лимонная кислота работает медленнее, но практически не повреждает металл и более безопасна в обращении.

- Органические смеси (сукцинатные и аминные реагенты) проявили высокую эффективность при удалении железоксидных отложений.

Кинетика растворения

Процесс растворения накипи условно делится на три стадии:

1. Инициационная стадия — реагент проникает в поры структуры.

2. Активная стадия — наблюдается максимальная скорость выделения CO_2 (для карбонатов).

3. Стадия замедления — растворение остаточных плотных фракций.

Сульфаты кальция (CaSO_4) растворяются значительно медленнее, что требует использования комплексонов или температурного повышения.

Влияние температуры

Повышение температуры раствора с 25 до 50 °C ускоряет процесс растворения в 1,7–2 раза. Однако температуры выше 60 °C применять не рекомендуется ввиду ускоренной коррозии металла.

Заключение

Проведённые исследования показали, что:

1. Химическая очистка является высокоэффективным методом удаления накипи из теплообменных аппаратов.

2. Наибольшую эффективность при растворении карбонатных отложений демонстрирует соляная кислота концентрацией 3–5 % с использованием ингибиторов коррозии.

3. Для железооксидных и смешанных отложений целесообразно применять органические реагенты комплексного действия.

4. Оптимальная температура проведения процесса — 40–50 °С.

5. Правильный подбор состава реагента позволяет повысить эффективность очистки на 20–30 % и снизить риски повреждения оборудования.

Результаты могут быть использованы при разработке регламентов промывки теплообменного оборудования на предприятиях нефтегазовой, химической и энергетической отраслей.

Список литературы

1. Гольдберг, Г. А. Коррозия и защита оборудования на предприятиях химической промышленности. — М.: Химия, 2015. — 412 с.

2. Глухов, В. И. Методы химической очистки теплообменного оборудования от минеральных отложений. — СПб.: Профессионал, 2019. — 268 с.

3. Серов, А. П., Назаров, Е. Н. Исследование процессов растворения карбонатных отложений кислотными реагентами // Химическая промышленность. — 2020. — №4. — С. 55–62.

4. Buronov, F., Abdugaffor, K., Rakhimov, G., & Murtazayev, F. (2025, July). Increasing the Efficiency of Heat Exchanging by Improving the Design of Heat Exchanger Devices3304, 030059 (2025). AIP Conference Proceedings.

5. Ismailov, O., Ganijonov, D., Shomansurov, F., Pirimov, T. Y., & Rakhimov, G. (2025). Nomograms for determining the thermo-physical

properties of fruit juices. *Journal of microbiology, biotechnology and food sciences*, e12745-e12745.

6. Buronov, F. E., Rakhimov, G. B., Hamidov, D. R., Narziyev, S. S. O., & Khidirov, M. M. O. (2025). Research on the thermal pyrolysis method for obtaining ethylene from methane.

7. Khurmamatov, A. M., Ismailov, O., Auesbaev, A. U., Rakhimov, G. B., Muminov, J. A., & Khametov, Z. M. (2025). Increasing the efficiency of heat exchange by improving the design of heat exchangers. *Nafta-Gaz*, 81.

8. Rakhimov, G., & Yuldashev, T. (2024, November). Study of the degree of foaming of absorbent compositions used when purifying gases from acidic components. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 3244, No. 1, p. 050008). AIP Publishing LLC.

9. Raximov, G. A. B. (2024). Qobiq-quvurlardan foydalangan holda issiqlik almashinish uskunasing samaradorligini oshirish uchun konstruksiyani takomillashtirish. *Sanoatda raqamli texnologiyalar*, 2(03).

10. Raximov, G. A., & Poyonov, L. (2024). Absorber konstruksiyasini takomillashtirish orqali gazlarni tozalash samaradorligini oshirish. *acumen: International journal of multidisciplinary research*, 1(1), 27-35.

11. Bakhtiyorovich, R. G., & Khalmakhmatogli, S. E. (2024). Research of the process of producing alcohols based on by-products obtained in the fischer-tropsch synthesis. *Sanoatda raqamli texnologiyalar/Цифровые технологии в промышленности*, 2(3), 139-143.

12. Рахимов, Г. Б. (2024). Изучение влияния эффективности теплообмена в кожухотрубчатого теплообменник на

гидродинамические параметры. *Экономика и социум*, (12-1 (127)), 998-1007.

13. Rakhimov, G. (2023). Qobiq quvurli issiqlik almashinish qurilmalaridagi issiqlik almashinish samaradorligini gidrodinamik parametrlariga ta'sirini o'rganish. *Innovatsion texnologiyalar*, 51(03), 77-86.

14. Raximov, G. A. B. (2024). Qobiq-quvurlardan foydalangan holda issiqlik almashinish uskunasing samaradorligini oshirish uchun konstruksiyani takomillashtirish. *Sanoatda raqamli texnologiyalar*, 2(03).

15. Normurod, F., Sadokat, N., Davron, H., & Ganisher, R. (2024). Catalytic aromanication of propane mixture. *Universum: технические науки*, 12(11 (128)), 5-8.

16. Payonov, L. M., & Hamidov, D. R. (2024). Development of a column with an optimal construction to increase the efficiency of cleaning natural gas from sour components by absorption method of mubarak gas processing plant LLC. *Экономика и социум*, (11-1 (126)), 421-425.

17. Rakhimov, G. B., Buronov, F. E., & Saidov, S. L. (2024). To study the operation of the fractionating apparatus in increasing the efficiency of separation of hydrocarbon fractions.

18. Khurmamatov, A. M., & Rakhimov, G. B. (2023). Hydraulic resistance of unlimited derivative and machine channels in large hydro-power engineering constructions. *Экономика и социум*, (11 (114)-2), 188-192.

19. Хурмаматов, А. М., & Рахимов, Г. Б. Повышение эффективности теплообмена путем совершенствования конструкции трубного теплообменного аппарата. *EDITORIAL BOARD*, 854.

20. Рахимов, Г. Б., Каршиев, М. Т., & Муртазаев, Ф. И. (2021). Разработка технологии и процесса очистки природного газа от сернистых соединений. *Universum: технические науки*, (5-4 (86)), 92-94.