

Полная исследовательская публикация Тематический раздел: Химико-технологические исследования. Утверждённая научная специальность ВАК: 1.4.4. Физическая химия; 2.6.7. Технология неорганических веществ; 2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий
Идентификатор ссылки на объект – ROI: jbc-01/26-86-5-48
Цифровой идентификатор объекта – DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-86-5-48
УДК 66.081.3. Поступила в редакцию 30 апреля 2026 г.

Создание динамической математической модели абсорбционного процесса для анализа переходных процессов и обучения персонала

Денисова⁺ Арина Игоревна, Осипов* Эдуард Владиславович,
Поникаров Сергей Иванович

Кафедра машин и аппаратов химического производства. Институт химического и нефтяного машиностроения. Казанский национальный исследовательский технологический университет.
ул. К. Маркса, 68. г. Казань, 420015. Республика Татарстан. Россия.
Тел.: +7 (843) 231-43-63. E-mail: kharitonova.arina@rtsim.ru

*Ведущий направление; ⁺Поддерживающий переписку

Ключевые слова: абсорбция, динамическое моделирование, жидкостно-кольцевой компрессор, удаление кислых газов, динамическое моделирование, компьютерные тренажеры.

Аннотация

Работа посвящена разработке динамической математической модели многостадийной абсорбционной системы, предназначенной для анализа переходных процессов и обучения оперативного персонала в среде моделирования RTsim. Предметом исследования является динамическое поведение узла аминовой очистки газа, в котором для создания давления в абсорбере используется жидкостно-кольцевой компрессор с использованием в качестве рабочей жидкости водного раствора моноэтаноламина. Для составления динамической модели процесса использовался отечественный программный продукт RTSim, предназначенный для создания компьютерных тренажеров для нефтегазового сектора, а в ходе исследования проведена количественная оценка переходных характеристик системы. Установлено, что определяющим фактором динамической устойчивости процесса является химическая абсорбция, которая существенно увеличивает временные задержки при стабилизации состава очищенного газа по сравнению с гидравлическими параметрами. Концентрация H_2S на выходе из абсорбера становится равной требуемому значению через 40-60 минут после подачи газа в абсорбер, при этом остальные стадии (создание циркуляции, пуск компрессора в работу и т.д.) занимают не более 25 минут каждая. На основе разработанной модели составлен план пуска блока в работу, который состоит из пяти этапов, а также определены возможные отклонения от норм технологического режима и мероприятия по их устранению. Разработанная модель позволяет прогнозировать поведение химико-технологической системы в нестационарных и аварийных режимах, повышая уровень оптимизации и промышленной безопасности. Приведенные временные показатели получены с учетом специфики и вычислительной скорости платформы RTsim, на базе которой реализована математическая модель.

Выходные данные для цитирования русскоязычной печатной версии статьи:

Денисова А.И., Осипов Э.В., Поникаров С.И. Создание динамической математической модели абсорбционного процесса для анализа переходных процессов и обучения персонала. *Бутлеровские сообщения*. 2026. Т.86. №5. С.48-57. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-86-5-48

Выходные данные для цитирования русскоязычной электронной версии статьи:

Денисова А.И., Осипов Э.В., Поникаров С.И. Создание динамической математической модели абсорбционного процесса для анализа переходных процессов и обучения персонала. *Бутлеровские сообщения А*. 2026. Т.13. №2. Id.10. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-86-5-48/ROI-jbc-A/26-13-2-10 (Russian)

The output for citing the English online version of the article:

Arina I. Denisova, Eduard V. Osipov, Sergey I. Ponikarov. Development of a dynamic mathematical model for an absorption process: transient analysis and operator training applications. *Butlerov Communications A*. 2026. Vol.13. No.2. Id.10. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-86-5-48/ROI-jbc-A/26-13-2-10

Литература

- [1] B. Pouladi, M.N. Hassankiadeh, F. Behroozshad. Dynamic simulation and optimization of an industrial-scale absorption tower for CO₂ capture from natural gas. *Energy Rep.* **2016**. Vol.2. P.54-61. DOI: 10.1016/j.egy.2016.03.003
- [2] Осипов Э.В., Теляков Э.Ш., Шоипов Х.С. Реконструкция системы создания вакуума ректификационной колонны К-3 ТПП "Когалымнефтегаз" (ОАО Лукойл – Западная Сибирь). *Бутлеровские сообщения.* **2013**. Т.36. №11. С.50-57. ROI: jbc-01/13-36-11-50 [E.V. Osipov, E.Sh. Telyakov, Kh.S. Shoipov. Reconstruction of the vacuum generation system for distillation column K-3 at the Kogalymneftegas oil processing plant (LUKOIL–Western Siberia PJSC). *Butlerov Communications.* **2013**. Vol.36. No.11. P.50-57. ROI: jbc-01/13-36-11-50 (Russian)]
- [3] A.S. Farooqi, R.M. Ramli, S.S.M. Lock, A.S. Farooqi, M.Z. Shahid, S.M.W. ul Hasnain, N. Hira, B. Abdullah. Removal of carbon dioxide and hydrogen sulfide from natural gas using a hybrid solvent of monoethanolamine and *N*-methyl 2-pyrrolidone. *ACS Omega.* **2024**. Vol.9. No.24. P.25704-25714. DOI: 10.1021/acsomega.3c09100
- [4] Гасилов В.С., Хайруллина Л.И., Тучкова О.А., Сагитдинов Ю.И. Возможности применения тренажеров при преподавании технических дисциплин в высших учебных заведениях. *Управление устойчивым развитием.* **2023**. №4(47). С.91-96. DOI: 10.55421/2499992X_2023_4_91 [V.S. Gasilov, L.I. Khayrullina, O.A. Tuchkova, Yu.I. Sagitdinov. Potential applications of simulation-based trainers in teaching technical disciplines at higher education institutions. *Sustain. Dev. Manage.* **2023**;4(47):91-96. DOI: 10.55421/2499992X_2023_4_91 (Russian)]
- [5] Осипов Э.В., Поникаров С.И., Теляков Э.Ш. Модернизация вакуумсоздающих систем установок ректификации мазута. *Бутлеровские сообщения.* **2011**. Т.28. №20. С.109-115. ROI: jbc-01/11-28-20-109 [E.V. Osipov, S.I. Ponikarov, E.Sh. Telyakov. Modernization of vacuum generation systems in fuel oil rectification units. *Butlerov Communications.* **2011**. Vol.28. No.20. P.109-115. ROI: jbc-01/11-28-20-109 (Russian)]
- [6] Поиск и развитие инженерных талантов для нефтегазовой отрасли с использованием инновационных разработок РТСИМ. *Автоматизация и ИТ в нефтегазовой области.* **2023**. №3(53). С.61-62. [Identification and development of engineering talent for the oil and gas industry through innovative RTSIM solutions. *Autom. IT Oil Gas Sect.* **2023**. 3(53):61-62 (Russian)]
- [7] Биктимеров Ш.Ш., Сарманаева А.Ф., Калимуллин Ф.Ф. и др. Опыт создания серийной МКУ ТАКАТ для технологии распределенного компримирования на объектах добычи ПАО "Газпром". *Компрессорные технологии.* **2021**. №5. С.16-20. [Sh.Sh. Biktimerov, A.F. Sarmanaeva, F.F. Kalimullin, et al. Experience in developing a serial TAKAT modular compressor unit for distributed compression technology at Gazprom PJSC production facilities. *Compress. Technol.* **2021**; 5:16-20. (Russian)]
- [8] Паранин Ю.А., Биктимеров Ш.Ш., Налимов В.Н., Минязев Л.Б., Сидоров А.И., Ефимов А.Н. Создание винтовой модульной компрессорной установки ТАКАТ для систем компримирования на малодобитных скважинах ПАО «Газпром». *Газотурбинные технологии.* **2018**. №1. С.10-14. [Yu.A. Paranin, Sh.Sh. Biktimerov, V.N. Nalimov, L.B. Minyazev, A.I. Sidorov, A.N. Efimov. Development of a screw-type TAKAT modular compressor unit for compression systems at low-yield wells of Gazprom PJSC. *Gas Turbine Technol.* **2018**; 1:10-14. (Russian)]
- [9] МКУ ТАКАТ: от опытного образца до серийной модульной компрессорной установки. Газовая промышленность. **2021**. №S4(825). С.36-37. [TAKAT modular compressor unit: from prototype to serial production. *Gas Ind.* **2021**; S4(825):36-37. (Russian)]
- [10] Исмагилов Ф.Р., Бикбаев А.В., Джексенов М.К. Утилизация промысловых низконапорных сероводородсодержащих газов. *Нефтегазохимия.* **2020**. №3-4. С.14-20. [F.R. Ismagilov, A.V. Bikbaev, M.K. Dzhekssenov. Utilization of low-pressure hydrogen sulfide-containing associated petroleum gases. *Oil and Gas Chemistry.* **2020**; 3-4:14-20. (Russian)]
- [11] R. Louwerse, J. Fischer. Технология утилизации газов с применением компрессоров и мембранной сепарации. *Химическая техника.* **2017**. №12. С.24-26. [R. Louwerse, J. Fischer. Gas utilization technology using compressors and membrane separation. *Chem. Eng.* **2017**; 12:24-26. (Russian)]
- [12] F. Ledbetter. Flare Gas and Its Utilization. Eds. M. Lackner, B. Sajjadi, W.Y. Chen. Handbook of climate change mitigation and adaptation. *New York, NY: Springer.* **2025**. DOI: 10.1007/978-1-4614-6431-0_214-1
- [13] Мухаметзянов А.И., Тукманов Д.Г. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018662292. Программная среда моделирования "RTsim – компьютерные тренажеры для нефтегазового сектора", версия 2.0. **2018**. [A.I. Mukhametzyanov, D.G. Tukmanov. Certificate of state

- Полная исследовательская публикация** _____ Денисова А.И., Осипов Э.В., Поникаров С.И. registration of computer program No. 2018662292. RTSim modeling software environment – computer-based trainers for the oil and gas sector, version 2.0; **2018** (Russian)]
- [14] LRC series liquid ring compressor. *Electronic Resource*. Available online: <https://www.evpvacuum.com/lrc-series-liquid-ring-compressor.html> (accessed 20 January **2026**).
- [15] Arina I. Denisova, Eduard V. Osipov, Sergey I. Ponikarov. Development of a dynamic mathematical model for an absorption process: transient analysis and operator training applications. *Butlerov Communications A*. **2026**. Vol.13. No.2. Id.10. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-86-5-48/ROI-jbc-A/26-13-2-10
- [16] Денисова А.И., Осипов Э.В., Поникаров С.И. Создание динамической математической модели абсорбционного процесса для анализа переходных процессов и обучения персонала. *Бутлеровские сообщения А*. **2026**. Т.13. №2. Id.10. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-86-5-48/ROI-jbc-A/26-13-2-10 (Russian)

The English version of the article has been published in the international edition of the journal

Butlerov Communications A
Advances in Organic Chemistry & Technologies

The Reference Object Identifier – ROI-jbc-A/26-13-2-10

The Digital Object Identifier – DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-86-5-48/ROI-jbc-A/26-13-2-10

Development of a dynamic mathematical model for an absorption process: transient analysis and operator training applications

Arina I. Denisova, Eduard V. Osipov*, Sergey I. Ponikarov

Department of Machines and Apparatus for Chemical Production, Institute of Chemical and Petroleum Engineering, Kazan National Research Technological University. K. Marx St., 68. Kazan, 420015. Republic of Tatarstan, Russia. Phone: +7 (843) 231-43-63. E-mail: kharitonova.arina@rtsim.ru

*Supervising author; †Corresponding author

Keywords: absorption, dynamic modeling, liquid ring compressor, acid gas removal, operator training simulators.

Abstract

This study presents the development of a dynamic mathematical model for a multi-stage absorption system, specifically designed for transient process analysis and operator training within the RTsim simulation environment. The investigation focuses on the dynamic behavior of an amine-based gas sweetening unit, wherein a liquid ring compressor employs an aqueous monoethanolamine solution as the sealing/working fluid to maintain absorber pressure. The dynamic process model was constructed using RTSim, a domestic simulation platform designed for developing computer-based training simulators for the oil and gas industry. Furthermore, a quantitative evaluation of the system's transient response characteristics was conducted. Results indicate that chemical absorption governs the dynamic stability of the process, introducing significant time lags in the stabilization of the purified gas composition relative to hydraulic parameters. The H₂S concentration at the absorber outlet reaches the target specification within 40-60 minutes following gas introduction. In contrast, auxiliary startup phases-including establishing liquid circulation and compressor commissioning – each require ≤ 25 minutes. Leveraging the developed model, a five-stage startup procedure was formulated. Additionally, potential deviations from standard operating conditions were identified, along with corresponding corrective mitigation strategies. The proposed model enables accurate prediction of the chemical-technological system's behavior under both transient and emergency conditions, thereby enhancing process optimization and industrial safety standards. The reported temporal metrics account for the computational architecture and processing speed of the RTsim platform, which serves as the foundation for the implemented mathematical model.