

УДК 661.961

<https://www.doi.org/10.47813/dnit.4.2025.1006>

EDN

[HMYRMJ](#)

Цифровая модель установки производства водорода

**К.В. Вдовина^{*}, Д.С. Гайфуллин, Э.В. Гарифуллина,
Р.Р. Габдрахманов**

Казанский национальный исследовательский технологический университет,
пр. Карла Маркса, 68, Казань, Республика Татарстан, 420015, Россия

*E-mail: vdovina.kristina@internet.ru

Аннотация. Статья посвящена проблемам производства водорода в промышленных масштабах. В ней анализируется применение цифрового моделирования для данного процесса. Рассмотрены преимущества компьютерного тренажерного комплекса, основанного на цифровой модели установки, позволяющего избежать возможных проблем и опасностей при производстве водорода. Отражены случаи, позволяющие оптимизировать и модернизировать технологию производства водорода путем изменения режимов отдельных блоков установки.

Ключевые слова: производство водорода, цифровое моделирование, компьютерный тренажерный комплекс.

Digital model of a Hydrogen production plant

K.V. Vdovina^{*}, D.S. Gaifullin, E.V. Garifullina, R.R. Gabdrahmanov

Kazan National Research Technological University, 68 Karl Marx Ave., Kazan,
Republic of Tatarstan, 420015, Russia.

*E-mail: vdovina.kristina@internet.ru

Abstract. The article is dedicated to the problems of Hydrogen production on an industrial scale. It analyses the application of digital modelling to this process. The advantages of the computer simulator based on the digital model of the plant are considered, which allows to avoid possible problems and hazards in hydrogen production. The cases are presented, which allow to optimise and modernise the technology of Hydrogen production by changing the modes of operation of individual units of the plant.

Keywords: Hydrogen production, mathematical modelling, production hazards.

1. Введение

Современное развитие науки и техники предъявляет высокие требования к методам исследования сложных физических и химических процессов. В связи с этим растет роль математического моделирования, благодаря которому возможно не только сократить затраты на проведение экспериментов на физической модели, но и получить детальную информацию о процессе. Использование математического моделирования в химии, физике, механике и других технических дисциплинах становится ключевым инструментом для анализа сложных систем и прогнозирования их поведения.

2. Постановка задачи (Цель исследования)

Целью данной работы является изучение тренажера компании «RTSIM», установки производства водорода, а также анализ ее технологических параметров. Важной задачей является изучение актуальности использования математических моделей для описания технологических процессов.

2.1. Применение численных методов в научных исследованиях

Применение математического моделирования становится все более востребованным, поскольку проведение натуральных экспериментов требует значительных ресурсов, а получение детализированной информации о динамике течения процесса и химических реакциях представляет собой сложную задачу [1].

В современных исследованиях математическое моделирование позволяет определить оптимальные параметры физического эксперимента, тем самым сокращая временные и материальные затраты. В частности, моделирование течений различных процессов, осложненных химическими превращениями. Это является одной из наиболее сложных задач, которые требуют применения сложных вычислительных систем уравнений и связи с особенностью протекания тех или иных химических реакций [1].

2.2. Компьютерное моделирование в различных науках

Компьютерное моделирование показало себя как стандартный метод исследования в различных областях науки. Этот метод позволяет получить новые знания об объектах, а также оценивать поведение сложных систем, которые трудно поддаются аналитическому исследованию. Проведение вычислительных экспериментов оказывается особенно полезным в тех случаях, когда проведение реальных экспериментов затруднено финансовыми, техническими или физическими ограничениями [3].

Применение компьютерных моделей в химии особенно важно, поскольку эта наука в большинстве своем опирается на экспериментальные методы. Математическое моделирование позволяет определить ключевые факторы, влияющие на свойства веществ, исследовать их реакционную способность и прогнозировать результаты химических превращений [4].

3. Методы и материалы исследования

Изучение работы установки производства водорода, проводилось с помощью компьютерного тренажерного комплекса компании «РТСИМ». Технологическая схема установки представлена на рисунках 1, 2.

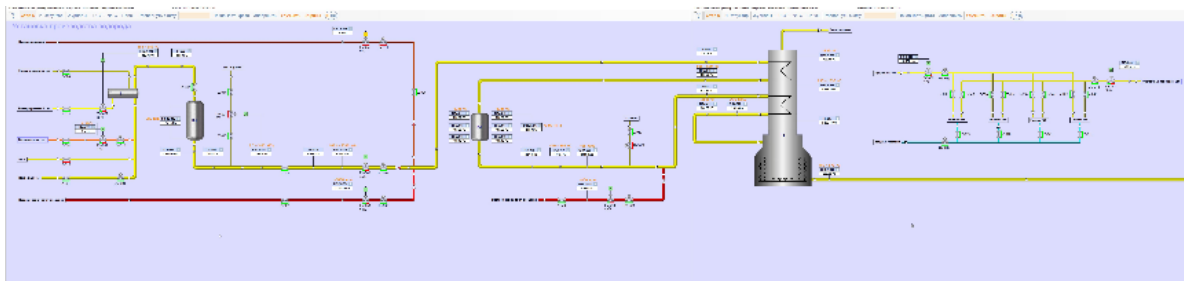


Рисунок 1. Блок подготовки сырья (подогрев) и обессеривание, предрифформинг, паровой риформинг.

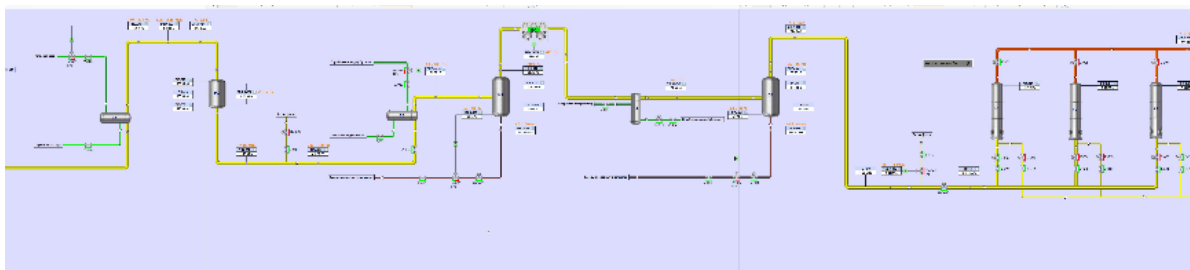


Рисунок 2. Конверсия CO в реакторе высокотемпературной конверсии, очистка конвертированного газа методом короткоцикловой абсорбции.

Установка включает в себя несколько технологических блоков:

- 1) подготовка сырья (подогрев) и обессеривание;
- 2) предрифформинг;
- 3) паровой риформинг;
- 4) конверсия CO в реакторе высокотемпературной конверсии;
- 5) очистка конвертированного газа методом короткоцикловой абсорбции.

Рассмотрим преимущества использования компьютерного моделирования в технологических процессах на примере производства водорода такие как:

- Предотвращение образования взрывоопасных смесей: моделирование позволяет оптимизировать соотношение реагентов и условия процесса (температуру, давление), чтобы избежать накопления водорода в опасных концентрациях с воздухом или другими газами.
- Оптимизация процесса очистки водорода: в процессе получения водорода могут образовываться токсичные примеси, такие как монооксид углерода (CO) и сероводород (H₂S). Моделирование позволяет разработать эффективные методы очистки водорода от этих примесей до безопасного уровня.
- Оптимизация энергопотребления: моделирование позволяет оптимизировать параметры процесса, чтобы снизить потребление энергии и повысить эффективность производства водорода. Это снижает стоимость производства и делает процесс более конкурентоспособным.
- Минимизация выбросов парниковых газов: некоторые методы получения водорода могут быть связаны с выбросами парниковых газов. Моделирование позволяет оптимизировать процесс, чтобы минимизировать эти выбросы и сделать его более экологичным.
- Утилизация отходов: моделирование может помочь разработать эффективные методы утилизации отходов производства водорода, чтобы минимизировать их воздействие на окружающую среду.

4. Полученные результаты

Рассмотрим возможности и эффективность работы модели. Процесс паровой конверсии предназначен для получения технического водорода, который в дальнейшем идет на другие блоки такие как: гидроочистка, гидрокрекинг, изомеризация и т.д. Из особенностей ведения технологического процесса нужно отметить, что целевая реакция является эндотермической и протекает с увеличением объема. На графиках (рисунки 3,4) можно заметить, как изменяется концентрация метана в газе после прохождения реактора предриформинга. На рисунке 3 представлен вариант ведения технологического процесса, при условии когда на смешение с метаном подается меньшее количество водяного пара чем нужно, из-за чего после реактора остается повышенный процент непрореагировавшего метана. На рисунке 4 можно увидеть обратную ситуацию, когда

подается избыток водяного пара, что ведет в дальнейшем к уменьшению количества метана в газе, что приводит к росту температуры, которую необходимо подвести для проведения реакции. Следствием роста температуры является увеличение нагрузки на печь.

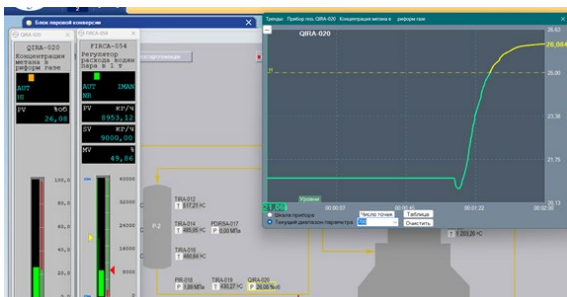


Рисунок 3. Тренд изменения концентрации метана после реактора предрифформинга при малой подаче водяного пара/

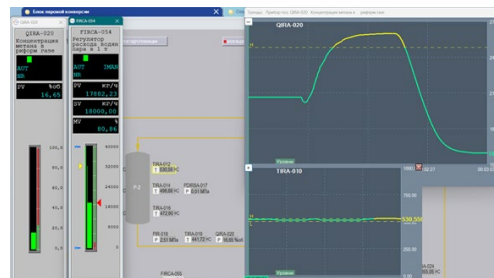


Рисунок 4. Тренд изменения температуры перед реактором и тренд концентрации метана после реактора предрифформинга при избыточной подаче водяного пара.

5. Выводы

Таким образом, моделирование процесса получения водорода является мощным инструментом для обеспечения безопасности, эффективности и экологической устойчивости производства. Оно позволяет заблаговременно выявлять и устранять потенциальные опасности, оптимизировать параметры процесса и разрабатывать эффективные стратегии контроля и защиты. Это, в свою очередь, позволяет снизить риски аварий, отравлений, коррозии оборудования и других нежелательных явлений, а также повысить экономическую эффективность и экологическую чистоту производства водорода.

Список литературы

1. Евсеев, А. В. Совершенствование методов исследования технологий с химическими превращениями и их внедрение на графических процессорах: автореферат диссертации ... канд. техн. наук: 05.13.18 / Евсеев Александр Владимирович. – Иваново, 2011. – 24 с.
2. Каримов, Е.Г. Компьютерное моделирование химических процессов / Е.Г. Каримов // Студенческий научный форум 2017: Материалы IX Международной студенческой

научной конференции. – URL: <https://scienceforum.ru/2017/article/2017037801> (дата обращения: 07.02.2025).

3. Габдрахманов, Р.Р. Цифровые тренажеры технологических процессов ртсим. карьера для обеспечения безопасности в нефтехимическом комплексе / Р.Р. Габдрахманов, Э.В. Гарифуллина, В.В. Бронская, А.И. Черевина, Э.И. Мустеева // Наука, технологии, общество: Экологический инжиниринг в интересах устойчивого развития территорий: материалы IV Всероссийской (национальной) научной конференции с международным участием (г. Красноярск, 10 ноября 2023 г.). – Красноярск: ОУ «ККДНиТ», 2023. – С. 131-135.
4. Гайфуллин, Д.С. Моделирование установки низкотемпературной изомеризации в среде aspen hysys и анализ работы модели / Д.С. Гайфуллин, Э.В. Гарифуллина, Н.Ю. Башкирцева // Наука, технологии, общество: Экологический инжиниринг в интересах устойчивого развития территорий: материалы V Всероссийской (национальной) научной конференции (г. Красноярск, 08 ноября 2024 г.). Красноярск: ОУ «ККДНиТ», 2024. – С. 56-61.