

Баимов Ш.Д.

студент

Институт нефтепереработки и нефтехимии

ФГБОУ ВО УГНТУ в г. Салавате

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГИДРООЧИСТКИ ДИЗЕЛЬНОЙ
ФРАКЦИИ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ PETRO-SIM.**

Аннотация: В статье рассматривается поэтапное построение и последующая оптимизация цифровой модели процесса гидроочистки дизельного топлива в специализированном программном комплексе Petro-SIM. Нефтегазовая отрасль на сегодняшний день является ключевым сектором экономики Российской Федерации, обеспечивая значительную часть энергетических ресурсов и углеводородного сырья для различных отраслей промышленности. В условиях ужесточения экологических требований к качеству моторных топлив и необходимости повышения экономической эффективности нефтепереработки, цифровизация играет важнейшую роль в развитии современной промышленности.

Ключевые слова: Petro-SIM, гидроочистка, дизельное топливо, цифровое моделирование, программные пакеты моделирования.

Sh.D. Baimov

Student

Institute of Oil Refining and Petrochemistry,

Salavat Branch, Ufa State Petroleum Technological University (USPTU)

**SIMULATION OF DIESEL FRACTION HYDROTREATING PROCESS IN
THE PETRO-SIM SOFTWARE SUITE**

Abstract: This paper presents the step-by-step development and subsequent optimization of a digital model for the diesel fuel hydrotreating process using the specialized Petro-SIM software suite. Today, the oil and gas industry is a key sector of the Russian Federation's economy, providing a significant share of energy

resources and hydrocarbon feedstocks for various industrial sectors. In the context of tightening environmental requirements for motor fuel quality and the need to improve the economic efficiency of oil refining, digitalization plays a crucial role in the development of modern industry.

Keywords: Petro-SIM, hydrotreating, diesel fuel, digital simulation, process simulation software.

Введение

В современной экономике Российской Федерации нефтегазовый комплекс занимает лидирующие позиции, выступая основным поставщиком энергоресурсов и промышленного сырья. В последнее десятилетие наблюдается стремительная интеграция цифровых решений в производственные процессы данной отрасли. Сегодня ни один нефтеперерабатывающий или газоперерабатывающий завод не обходится без применения специализированных цифровых систем для описания и контроля технологических процессов .

Несмотря на активное развитие таких направлений, как анализ больших данных, трехмерное моделирование и экономическое планирование, фундаментом цифровой трансформации остается моделирование технологических процессов с использованием специализированного программного обеспечения. Среди наиболее распространенных инструментов моделирования можно выделить Aspen Hysys [4], Aspen Plus, Unisim Design, ChemCAD, а также современные разработки – открытую платформу DWSIM и комплекс Petro-SIM. Применение перечисленных программных продуктов дает возможность проектировать и анализировать процессы нефтепереработки расчетным методом, обеспечивая высокую точность результатов при минимизации капитальных вложений. Каждый из указанных инструментов обладает уникальными характеристиками:

- Aspen Hysys - традиционно удерживает позиции рыночного лидера в сегменте моделирования нефтегазовых процессов. Являясь компонентом

экосистемы Aspen Tech, данный продукт обеспечивает бесшовную интеграцию с другими решениями компании, такими как Aspen PIMS;

- Aspen Plus отличается большей универсальностью по сравнению с Aspen Hysys, особенно в задачах, связанных с моделированием электролитных систем и процессов с участием твердых веществ. Также поддерживает интеграцию в рамках платформы Aspen Tech;

- Unisim Design, разработанный компанией Honeywell, представляет собой альтернативу решениям от Aspen Tech с сопоставимым функционалом, однако уступает конкуренту по степени распространения в отрасли;

- DWSIM распространяется как бесплатный симулятор с открытым исходным кодом, что делает его доступным для базовых задач моделирования;

- ChemCAD позиционируется как более доступная по стоимости альтернатива продуктам Aspen Hysys и Aspen Plus;

- Petro-SIM – программное обеспечение для моделирования и оптимизации процессов в нефтегазовой, нефтехимической, энергетической и других отраслях. Разработано компанией KBC (дочерняя компания Yokogawa).

В рамках данной работы в качестве объекта моделирования выбрана установка гидроочистки дизельных фракций, что обусловлено стратегической важностью данного процесса для нефтеперерабатывающих предприятий и острой необходимостью его совершенствования в контексте перехода на производство топлива экологического класса Евро-5. Моделирование и оптимизация технологического режима установки выполнены с применением программного комплекса Petro-SIM.

Объект моделирования

Установка ГО - гидроочистка нефтяных, газоконденсатных дистиллятов на алюмокобальтмолибденовом или на алюмоникельмолибденовом катализаторе при давлении до 5 МПа.

Назначение установки: гидроочистка дизельных, керосиновых фракций с целью улучшения эксплуатационных характеристик моторных топлив за счет удаления гетероорганических соединений серы, азота, кислорода, мышьяка, галогенов, металлов и гидрирования непредельных углеводородов при частичном гидрировании и гидрокрекинге полициклических ароматических и смолисто-асфальтеновых углеводородов, за счёт чего уменьшается коррозионная активность топлив, склонность к образованию осадков и количество токсичных газовых выбросов в окружающую среду.

Установка предназначена для переработки следующих видов сырья

- дизельных фракций с целью получения гидроочищенного компонента дизельного топлива;
- керосиновых фракций с целью получения гидроочищенного керосина или гидроочищенного компонента дизельного топлива.

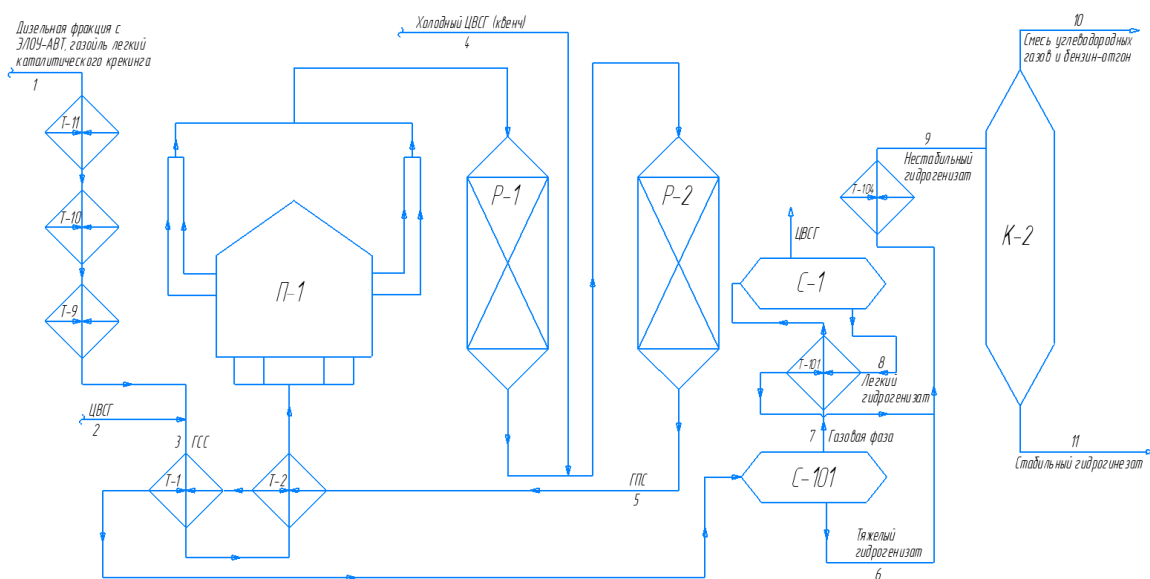


Рисунок 1 - Принципиальная технологическая схема установки гидроочистки дизельного топлива ГО

Разработка модели

На базе готовой типовой схемы в программном комплексе PetroSIM версии разработана модель установки гидроочистки дизельного топлива. Расчёты параметров установки выполнены методом моделирования.

Для проведения расчетов, путем моделирования в программном обеспечении Petro-SIM были использованы производственные данные с предприятия для построения модели.

Таблица 1 – Фактические данные установки ГО

Параметр	Значения	
	В реакторе P-1	В реакторе P-2
Температура на входе в реактор, °С	318,0	334,0
Температура на выходе в реактор, °С	334,0	346,0
Давление на входе в реактор, МПа	4,3	4,25
Расход сырья, т/ч (м ³ /ч)	60,23 (70,44)	
Расход ВСГ, т/ч (% масс. на сырье)	0,45 (0,75)	
Объем загружаемого катализатора, м ³	76,23	130,47
Плотность катализатора, кг/м ³	1057,0	967,3
Расход ЦВСГ, нм ³ /ч	56437,15	

Модель установки гидроочистки дизельного топлива в программном обеспечении Petro-SIM представлена на рисунке 2.

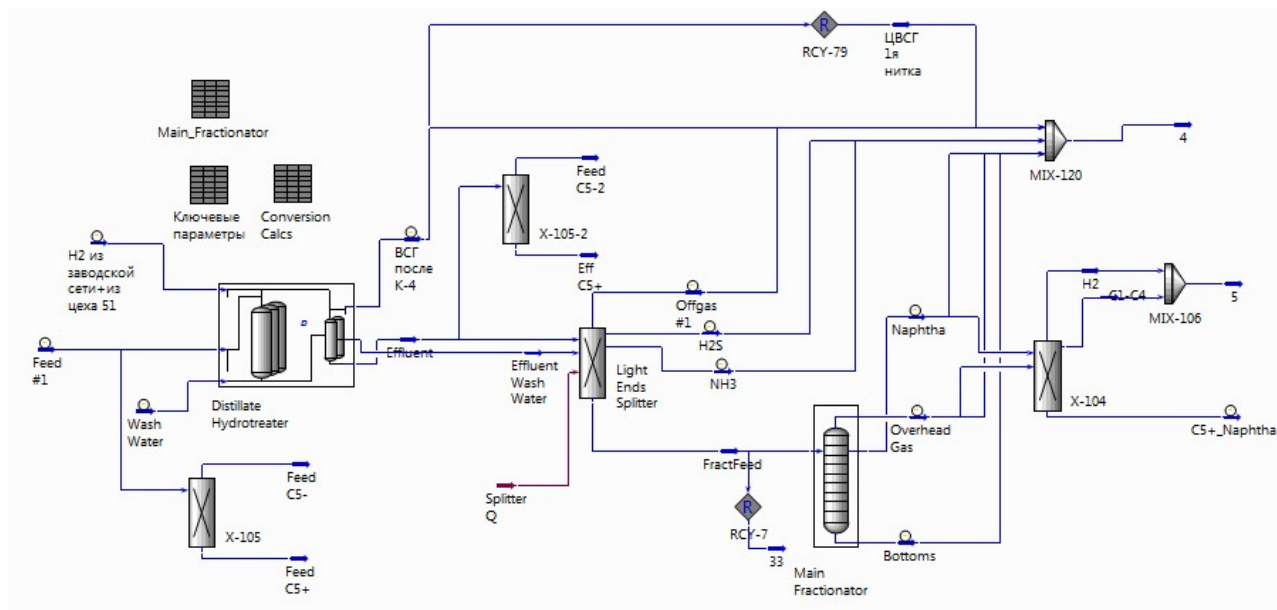


Рисунок 2 - Модель установки гидроочистки дизельного топлива в среде PetroSIM

После внесения технологических данных установки ГО в модель, выполненную в PetroSIM, необходимо провести процедура верификации модели на адекватность. Показатель адекватности является критерием соответствия расчётных значений модели фактическим параметрам реальной установки и определяет возможность использования модели для проведения оптимизационных исследований.

Калибровка модели осуществлялась встроенными средствами PetroSIM до достижения сходимости расчётных и промышленных данных. Критерием успешной калибровки являлось достижение статуса «Готово» (индикатор зелёного цвета в интерфейсе программы), что свидетельствует о том что модель откалибрована под производственные данные.

В дополнение к процедуре калибровки в программном обеспечении Petro-SIM, подтверждающей корректность работы алгоритмов модели, выполнено сопоставление расчётных параметров с фактическими производственными данными.

Таблица 2 - Сравнение фактических и расчётных показателей выходного продукта установки ГО-2

Показатель	Ед. изм.	Факт (предприятие)	Модель (PetroSIM)	Отклонение, %
1. Плотность при 15°C	кг/м³	842	834,3	- 0,9%
2. Содержание серы	% масс	0,0008	0,0008	0%
3. Фракционный состав (ASTM D86):	°C			
- НК (начало кипения)		154	163,7	+ 6,3%
- 5% отгон		176	172,49	- 2,0%
- 10% отгон		195	183,5	- 5,9%
- 30% отгон		238	240,0	+ 0,8%
- 50% отгон		271	270,2	- 0,3%
- 70% отгон		300	296,3	- 1,2%
- 90% отгон		340	330,6	- 2,8%
- 95% отгон		356	344,5	- 3,2%
- КК (конец кипения)		> 360	367,8	+ 2,2%

Заключение

Результаты сравнения подтвердили высокую степень адекватности модели: максимальное отклонение ключевых выходных показателей не превышает 7 %, что укладывается в рамки допустимой инженерной погрешности. Таким образом, разработанная математическая модель корректно воспроизводит технологический режим реальной установки и может быть применена для проведения оптимизационных расчётов, а также для анализа различных сценариев её эксплуатации.

Использованные источники:

1. Ахметов С.А. Технология глубокой переработки нефти и газа: Учебное пособие. — Уфа: Гилем, 2020. — 672 с.
2. Капустин В.М., Черныш Е.А. Технология переработки нефти. В 2-х кн. Кн. 2: Деструктивные процессы. — М.: КолосС, 2019. — 344 с.

3. Исмагилов З.Р., Кершенбаум В.Я. Каталитические процессы в нефтепереработке и нефтехимии. — Новосибирск: Наука, 2018. — 456 с.
4. Белопухов С.М., Жоров Ю.М. Моделирование и оптимизация процессов гидроочистки топлив. — М.: Химия, 2017. — 288 с.
5. Варфоломеев С.Д., Гуреев А.А. Кинетическое моделирование процесса гидродесульфуризации дизельного топлива // Нефтепереработка и нефтехимия. — 2021. — № 5. — С. 12–19.
6. Козлов А.Г., Петрова М.В. Применение программного комплекса PetroSIM для моделирования процессов гидроочистки // Вестник технологического университета. — 2022. — Т. 25, № 3. — С. 45–51.
7. Иванов А.В., Сидоров П.Н. Оптимизация режима работы установки гидроочистки дизельного топлива // Нефтегазовое дело. — 2020. — № 4. — С. 78–89.
8. Маркова Е.В., Николаев С.А. Влияние азотсодержащих соединений на процесс гидродесульфуризации // Катализ в промышленности. — 2021. — Т. 21, № 2. — С. 134–142.
9. Froment G.F., Bischoff K.B. Chemical Reactor Analysis and Design. — 3rd ed. — Wiley, 2020. — 672 p.
10. Stanislaus A., Marafi A., Rana M.S. Recent advances in the science and technology of ultra low sulfur diesel (ULSD) production // Catalysis Today. — 2020. — Vol. 153, No. 1-2. — P. 1–68.