

Дудко Дарья Андреевна

магистр

Мышкин Вячеслав Федорович

д-р физ.-мат. наук, профессор

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский

Томский государственный университет»

г. Томск, Томская область

ОБЗОР ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕРАБОТКИ ТЯЖЕЛЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ

***Аннотация:** в настоящем исследовании проводится сравнение плазменных и традиционных методов переработки тяжелых углеводородов, в частности, битумов и гудронов, приводятся основные типы конверсии тяжелых углеводородов, обосновывается эффективность и перспективность плазменных технологий, связанных с применением неравновесной плазмы. В заключении сделан вывод об универсальности плазменных методов для переработки тяжелых углеводородов.*

***Ключевые слова:** тяжелая нефть, битум, гудрон, плазменные методы, традиционные методы переработки углеводородов, катализаторы нефти, крекинг, висбрекинг, высокотемпературная плазма, низкотемпературная плазма, рентабельность переработки нефти.*

Нефть, добываемая на российских месторождениях, содержит большое количество серы и тяжелые фракции. Битумы и гудроны широко используются в дорожном строительстве, применяются для ремонтов дорог, аэродромов, изоляции трубопроводов, изготовления кровельных материалов [3]. В России по сравнению с Европой и США отмечается низкий уровень вовлечения этих продуктов в дальнейшую переработку. Поэтому для нефтеперерабатывающей отрасли нашей страны актуальна разработка технологий, позволяющих эффективно перерабатывать малоценные остатки нефтепереработки в ценное химическое сырье.

Цель исследования – сравнение плазменных методов переработки тяжелых углеводородов, относящимся на сегодняшний день к перспективным, с традиционными, составляющими основу нефтеперерабатывающей отрасли.

Среди традиционных методов переработки тяжелых углеводородов выделяют термическую, каталитическую и гидрогенизационную конверсии. Каталитическая конверсия углеводородов доминирует сегодня в нефтепереработке, а гидрогенизация является наиболее сложным и капиталоемким процессом [6].

Традиционные методы переработки тяжелой нефти, как правило, основаны на действии на сырье высоких температур и давления. Для увеличения выхода целевых продуктов и инициирования процессов разложения исходного сырья применяются катализаторы, стоимость которых может быть высокой.

Плазменные методы обработки тяжелых углеводородов (битумов, гудронов), образующихся при переработке нефти, могут увеличить количество легких фракций, получаемых из тяжелой нефти. Воздействие плазмы на материал связано с действием химически активных частиц (свободных радикалов, возбужденных молекул, ионов), электронов и фотонов, запускающих процессы крекинга тяжелых углеводородов [9].

Плазменные системы подразделяются по типу плазмы и источнику возбуждения. По наиболее широкой классификации выделяют высокотемпературную и низкотемпературную плазму. В низкотемпературной плазме температура электронов может достигать $30\,000^{\circ}\text{K}$, в то время как температура газовой фазы не превышает $2\,000^{\circ}\text{K}$ [8]. Плазму также разделяют на: равновесную и неравновесную, в зависимости от наличия термодинамического равновесия.

Тепловая (равновесная) плазма создается мощными источниками, такими как дуговые источники, и характеризуется высокой степенью ионизации и высокой температурой в объеме плазменного столба, которая может достигать до $7\,000^{\circ}\text{K}$. Низкотемпературная неравновесная плазма предпочтительна для понижения вязкости сырья, тогда как тепловая плазма используется для максимальной конверсии тяжелого углеводородного сырья в синтез-газ.

Основными процессами термической переработки являются термический крекинг и коксование. Одной разновидностью термического крекинга является крекинг гудрона (висбрекинг) с получением небольших количеств газа, бензина, дизельной фракции и котельного топлива. Этот процесс протекает при температуре 450–480°C и давлении 0,2 МПа [7].

Процессы коксования нефтяных остатков служат для получения электродного кокса. При коксовании также образуются: газ (выход 10–20%) и дистилляты (50–70%). Процесс проводится при температуре 450–550°C и давлении, близком к атмосферному [5].

Процесс термического крекинга тяжелых нефтяных остатков как самостоятельный процесс потерял промышленное значение и используется только как процесс облагораживания тяжелого сырья. Набирает обороты висбрекинг, позволяющий за счет уменьшения выхода низкокачественного бензина увеличить выход дизельной фракции и получить большое количество вакуумного газойля для каталитического крекинга [5].

Переработка тяжелого нефтяного сырья с выходом большого количества светлых нефтепродуктов возможна на основе гидрокрекинга [1]. Процесс включает использование дорогостоящих катализаторов и водорода. Отмечается ряд недостатков – высокое содержание серы и металлоорганических комплексных соединений в сырье, напрямую влияющих на эффективность процесса, высокий расход катализаторов и многостадийность процесса. Это приводит к росту себестоимости производства и значительному снижению рентабельности переработки.

Достойной альтернативой для переработки тяжелых углеводородов являются технологии, связанные с применением неравновесной плазмы, позволяющими воздействовать на сырье при более мягких условиях. Ассортимент получаемых продуктов достаточно широк – это легкие углеводороды, синтез-газ, технический углерод [2]. Плазменные методы обеспечивают высокие скорости нагрева. Среди недостатков следует отметить высокую энергоемкость и сложность конструкции плазменных реакторов [4].

Таким образом, плазменные технологии в настоящий момент предлагают серьезную альтернативу традиционным методам в области переработки остаточного тяжелого нефтяного сырья. Возможность управлять температурой и давлением плазмы при воздействии на сырье определяет избирательность процесса и глубину переработки сырья, что делает плазменные методы достаточно универсальными.

Список литературы

1. Румянцева Т.А., Галанин Н.Е. Химия и технология процессов вторичной переработки нефти : учебное пособие / Т.А. Румянцева, Н.Е. Галанин ; Инфра-Инженерия. – М. ; Вологда, 2024. – 96 с. – ISBN 978-5-9729-1910-9.

2. Антонова М.Ю., Зайцева Е.Г., Усманова Ю.Х. [и др.]. Анализ эффективности процесса гидрокрекинга тяжелого нефтяного остатка при модификации угольных добавок оксидами металлов / М.Ю. Антонова, Е.Г. Зайцева, Ю.Х. Усманова [и др.] // Вестник технологического университета. – 2025. – Т. 28, №9. – С. 67–72. DOI 10.55421/3034-4689_2025_28_9_67. EDN SNRKEJ

3. Пак А.Я., Поваляев П.В., Францина Е.В. [и др.]. Получение углеродных графитоподобных наноматериалов при переработке отходов на основе асфальтенов / А.Я. Пак, П.В. Поваляев, Е.В. Францина [и др.] // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2022. – Т. 333, №12. – С. 25–36. DOI 10.18799/24131830/2022/12/3804. EDN JYYTIE

4. Bojkovic A., Vermeire F.H., Kuzmanović M., Dao Thi H., Van Geem K.M. Analytics Driving Kinetics: Advanced Mass Spectrometric Characterization of Petroleum Products / A. Bojkovic, F.H. Vermeire, M. Kuzmanović, H. Dao Thi, K.M. Van Geem // Energy & Fuels. – 2022. – №36. – С. 6–59.

5. Chemical Engineering of Natural Fuels and Carbon Materials : Study Guide / E.A. Emelyanycheva [et al.] ; The Ministry of Education and Science of the Russian Federation, Kazan National Research Technological University. – Kazan : KNRTU Publishing House, 2016. – 96 p. – ISBN 978-5-7882-1927-1. EDN ZGALLL

6. Hegemann D., Snoeckx R. Entropy Export and Chemical Reactions in Plasmas / D. Hegemann, R. Snoeckx // Plasma Processes and Polymers. – 2026. – №23. – C. 1–14.

7. Keramat M., Golmakani M.-T. Cold plasma as an emerging catalytic route for oil modification / M. Keramat, M.-T. Golmakani // Food Chemistry. – 2025. – №27. – C. 1–15.