В дальнейшем будут проведены исследования по установлению влияния очищенных масел на комплекс технологических и технических свойств эластомерных композиций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Радбиль, А.Б. Новая концепция канцерогенной безопасности для современных шин / А.Б. Радбиль [и др.] // Каучук и резина. – 2013. – № 2. – С. 62–67.

2. Круглов, Э.А. Изучение структурно-группового углеводородного состава ароматических масел-мягчителей резины, получаемых в процессе экстракционной очистки нефтяного сырья / Э.А. Круглов [и др.] // Химическая промышленность сегодня. – 2010. – № 10. – С. 11–14.

3. Заглядова, С.В. Технология производства экологически безопасных масел-пластификаторов / С.В. Заглядова [и др.] // Нефтехимия. – 2017. – Т.57. – № 16. – С. 726–736.

4. Грушова, Е.И. Влияние тяжелой смолы пиролиза на процесс окисления нефтяного гудрона / Е.И. Грушова, М.В. Станько, И.Н. Хатько // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. 2021. № 1 (241). С. 57–62.

5. Мухаметова, Р.Р. Влияние окисления масляных дистиллятов на качество рафинатов селективной очистки N-метилпирролидоном / Р.Р. Мухаметова, В.Р. Нигматулин // Нефтегозовое дело – 2006. – №2. – С. 33.

УДК 66.021

Жагфаров Ф.Г., Аршинов И.С.
(РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина)

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ВЫБОРУ НАИБОЛЕЕ ЭФФЕКТИВНОГО ПУТИ ПЕРЕРАБОТКИ МЕТАНА

Необходимость развития газохимии на сегодняшний день имеет важное значение для укрепления экономики России. Метан, используемый в энергетических целях, а также направляемый на экспорт, представляет собой ценное сырье, посредством переработки которого можно получить целый ассортимент продуктов с высокой добавленной стоимостью. Представленный в работе методологический подход к выбору пути переработки CH_4 учитывает множество факторов, которые могли бы обеспечить эффективную и оптимальную организацию этого производства. Системный подход к организации технологических мощностей нефтегазовой отрасли России является необходимым, так

как учитывает не только географическое и климатическое разнообразие, но и технологические и экономические особенности внедряемых процессов.

Для снижения зависимости российской экономики от экспорта углеводородного сырья, устойчивого роста и развития высокотехнологичных отраслей промышленности и проведения эффективной политики импортозамещения необходима ускоренная реализация новых проектов по производству дефицитной газохимической продукции, имеющей устойчивый спрос на внутреннем и мировом рынках.

Вопрос о наиболее предпочтительном и эффективном пути превращения метана в химические продукты остается открытым. Прежде всего это связано с высокими энергетическими затратами, необходимыми для получения химической продукции из природного газа, что обусловлено термодинамическими характеристиками молекулы CH_4. Однако это далеко не единственный критерий, от которого зависит возможность внедрения процессов метановой химии в нефтегазовую промышленность. Большое количество факторов, влияющих на оптимальность и эффективность всевозможных производственных цепочек, детерминируют системный подход к решению данного вопроса.

В условиях высокого уровня развития науки и техники, большого объема информации, требующей осознания и использования ее в теоретической и практической деятельности человека, эффективным методом научного познания проблемного вопроса является системный подход, который определяется методологией познания объектов, как целостной взаимосвязанной системы и определением критериев, согласно которым будет достигнута раннее поставленная цель.

Одним из критериев является логистическая цепочка поставок продукции, которая должна формироваться на стадии рассмотрения возможных площадок размещения. В сложных климатических условиях и при значительной удаленности большинства российских добывающих регионов от основных рынков сбыта продукции, данный фактор может стать во многом определяющим для эффективности проекта [1].

Условия проведения процесса, виды необходимого технологического оборудования, потребность в использовании узлов для очистки и разделения образующейся продуктовой смеси - все это входит в перечень основных технологических критериев выбора наиболее эффективной технологии. Основные процессы переработки метана первого передела и их характеристики приведены в таблице 1.

Резюмируя результаты технологических характеристик первого передела переработки метанового сырья, можно сделать вывод, что увеличение мощностей процесса паровой конверсии метана в синтез-

газ позволит решить проблему газохимической переработки. Последняя технология не только позволяет получать водород в количестве 0,38 кг с 1 кг CH_4, но и открывает доступ к широкому спектру процессов органического синтеза, сырьем в которых может выступать смесь CO и H_2. Вышеупомянутый процесс также является достаточно отработанным промышленным вариантом переработки метанового сырья, что обеспечивает большую привлекательность для его финансирования компаниями нефтегазового сектора по сравнению с иными технологиями, приведенными в таблице 1.

Таблица 1 – Технологические критерии процессов переработки метана

Наименование процесса переработки метана	Уравнение реакции	ΔH_{298}, кДж/моль	Количество выделяемого водорода кг H_2/ кг CH_4	Условия процесса	Катализатор/ инициатор	Выход продукта, %
Пиролиз	$CH_4 \rightarrow C + 2H_2$	74,87	0,25	>1000°C		95
Пиролиз	$2CH_4 \rightarrow C_2H_2 + 3H_2$	376,48	0,19	1500°C		8-12
Паровая конверсия	$CH_4 + H_2O \rightarrow CO + 3H_2$	206,17	0,38	850°C, 25-35 атм.	Ni-содержащий	
Углекислотная конверсия	$CH_4 + CO_2 \rightarrow 2CO + 2H_2$	248,30	0,25	1000-1100°C	$Rh/Pt/Al_2O_3$	
Парциальное окисление	$CH_4 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow CO + 2H_2$	-35,60	0,25	1100-1300°C		
Парциальное окисление	$CH_4 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow CH_3OH$	163,00	0,00	200-500°C, 30-90 атм	Соли Cu^{2+} и Fe^{2+}	5-10
Хлорирование	$CH_4 + Cl_2 \rightarrow$ $\rightarrow CH_3Cl + HCl$	105,00	0,00	325-427°C		95
Окислительный аммонолиз	$CH_4 + NH_3 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow$ $\rightarrow HCN + 3H_2O$	-474,62	0,00	1000°C, 2 атм.	Pt/Rh/Ir (сплав)	48
Нитрование	$CH_4 + HNO_3 \rightarrow CH_3NO_2 + H_2O$	126,00	0,00	350-500°C, 5-10 атм.		90
Взаимодействие с серой	$CH_4 + 4S \rightarrow CS_2 + 2H_2S$	150,00	0,00	650°C	Селикагель	96
Взаимодействие с сероводородом	$CH_4 + 2H_2S \rightarrow CS_2 + 4H_2$	98,30	0,50	>900 °C		90
Димеризация в этилен	$2CH_4 \rightarrow C_2H_4 + 2H_2$	101,00	0,13	700-800°C	Оксидные марганцовые ($NaMnO_4$)	8-12

Рассматривая дальнейшую переработку синтез-газа в продукцию с высокой добавленной стоимостью наибольшей промышленной

привлекательностью обладает технология получения метанола. Ее крупнотоннажная реализация позволит получать стратегически важные химические продукты (ДМЭ, уксусная кислота, формальдегид), в перспективе увеличить мощности по производству низших олефинов, используя альтернативный термическому пиролизу процесс МТО и МТР.

Более того в условиях мирового стремления к климатической углеродной нейтральности в долгосрочной перспективе промышленные технологии производства метанола наиболее привлекательны относительно альтернативных путей переработки синтез-газа – получения аммиака и водорода (см. рисунок 1).

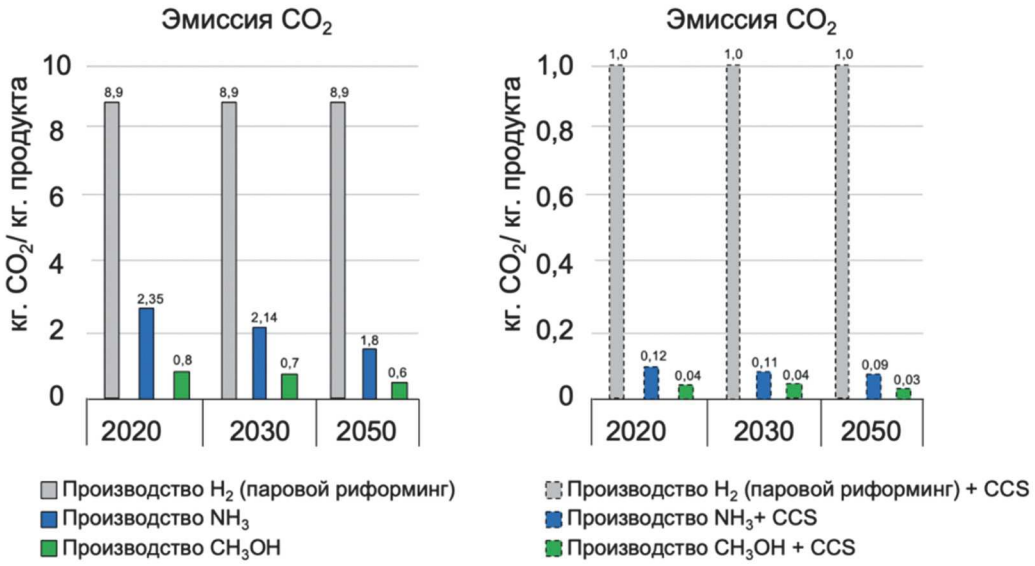

Рисунок 1 – Фактические и прогнозные средние значения выбросов диоксида углерода, сопровождающие процессы метановой химии [2]

Значительное многообразие процессов переработки природного газа и разновидность доступных технологических решений ставит серьезную задачу для построения технологической линии, отвечающей требованиям оптимальности и эффективности производства. В свою очередь газовая отрасль, включающая в себя промыслы, подземные хранилища, объекты переработки, транспорта сырья и продукции, имеющая различные рынки сбыта, несомненно, является совокупностью многих взаимосвязанных элементов, влияющих друг на друга, а, соответственно, целостной системой добычи и переработки природного газа. Именно поэтому для решения вопроса об увеличении доли перерабатываемого природного газа в российских условиях необходимо применять методологию системного подхода, посредством анализа качественных и количественных критериев, влияющих как на отдельные объекты, так и на саму систему эффективных производственных мощностей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пармон В.Н., Аристович Ю.В.,Брешев А.И. Конструктивная газохимия: тренды и горизонты развития в российских реалиях // Энергетическая политика. – 2021. – № 6(160). – С. 50-67. – DOI 10.46920/2409-5516_2021_6160_50

2. The Fytyre of Hydrogen. Assumption annex / International. Energy Agency. – 2020. – 14 с. – URL: https://iea.blob.core.windows.net/assets/29b027e5-fefc-47df-aed0-456b1bb38844/IEA-The-Future-of-Hydrogen-Assumptions-Annex_CORR.pdf (дата обращения: 12.07.2022)

УДК 665.52.061.5

Гайле А.А., Ахмад М.
(Санкт-Петербургский государственный технический университет)

Камешков А.В.
(ООО «ПО «Киришинефтеоргсинтез»)

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСТРАКЦИОННОЙ ОЧИСТКИ ТЯЖЕЛОГО ВАКУУМНОГО ГАЗОЙЛЯ И ГАЗОЙЛЯ ЗАМЕДЛЕННОГО КОКСОВАНИЯ

В соответствии с «Правилами предотвращения загрязнений атмосферы с судов», принятыми международной конвенцией, содержание серы в судовых топливах снижено с 2020 г. с 3,5 % мас. до 0,5 % мас. В зонах особого контроля за выбросами оксидов серы, к которым относятся Балтийское и Северное моря, побережье США и Канады, допустимое содержание серы в судовом топливе снижено до 0,1 % мас. с 2015 г.

Сырьем для производства судовых топлив могут служить прямогонные вакуумные газойли и газойли вторичных термических и термокаталитических процессов нефтепереработки – висбрекинга, замедленного коксования и каталитического крекинга, в которых содержание серы при переработке сернистых нефтей превышает 0,5 % мас. Гидрогенизационное облагораживание вакуумных газойлей осложнено из-за повышенного содержания 4,6 – диалкилпроизводных дибензотиофена, для молекул которых проявляются стерические препятствия при подходе к активным центрам катализаторов, а также сераорганических соединений с числом атомов углерода $C \geq 15$, практически не подвергающихся гидрогенолизу [1]. Газойли вторичных процессов, в частности, тяжелые газойли замедленного коксования (ТГЗК), отличаются также повышенным содержанием азотистых гетероциклических компонентов,