

УДК 665.654.2

**ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ ПРОЦЕССА КАТАЛИТИЧЕСКОГО КРЕКИНГА  
В ОАО «НАФТАН» С ЦЕЛЬЮ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ  
НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО ВЕКТОРА РАЗВИТИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ**

**С.С. СТЕПАНКОВ***(Представлено: канд. техн. наук, доц. А.А. ЕРМАК)*

*Рассмотрены основные тенденции развития современных нефтеперерабатывающих предприятий и перспективы использования процессов каталитического крекинга для переработки нефтяных вакуумных газойлей. Проанализированы основные достоинства и недостатки существующих технологий процесса каталитического крекинга вакуумных газойлей в зависимости от конфигурации применяемого реакторного блока и катализатора. Рассмотрены особенности технологии Deep Catalytic Cracking (DCC). На основании анализа поточной схемы ОАО «Нафтан» выявлены ресурсы сырья для блоков гидрородготовки и комплекса каталитический крекинг.*

**Введение.** В настоящее время возможности нефтепереработки многих стран для удовлетворения растущих потребностей в моторных топливах за счет увеличения объемов добычи нефти практически исчерпаны. Для решения этой актуальнейшей проблемы интересны следующие тенденции развития нефтепереработки: углубление и химизация переработки нефти, оптимизация качества моторных топлив с целью расширения ресурсов и снижения их расхода, применение альтернативных топлив. Первое из перечисленных выше направлений является генеральной линией современной мировой нефтепереработки и связано с разработкой и внедрением и совершенных интенсивных экологически безвредных термокаталитических и гидрогенизационных процессов глубокой переработки нефтяных фракций [1].

Глубина переработки нефти в ОАО «Нафтан», согласно источникам [2,3] в период с 2012 по 2015 г.г. находилась в пределах от 70,3 до 75,6%. На «Нафтани» модернизация идет непрерывно. В 2018-2019 планируется пустить установку по замедленному коксованию нефтяных остатков. Тот нефтепродукт, который сегодня не подлежит переработке, будет поступать на эту установку и перерабатываться с получением дополнительных товарных нефтепродуктов, что должно увеличить глубину переработки до желанных 90-92% [4]. Однако в долгосрочной перспективе для повышения технико-экономических показателей работы завода требуется внедрение новых перспективных процессов.

Для глубокой переработки нефти решающее значение имеет каталитический крекинг( далее КК), позволяющий из малоценного тяжелого сырья получать высококачественный компонент автобензина с ОЧ 85-93 (ИМ). При этом образуется значительное количество жирного газа, богатого пропанпропиленовой (сырье для производства акрилонитрила, пропиленгликоля, глицерина) и бутан-бутиленовой фракциями (сырье для производства высокооктановых эфиров, алкилатов). Если говорить о нефтехимической промышленности, то она испытывает растущую потребность в пропилене для производства различных изделий и жирный газ КК является его основным источником и, как следствие, сырьём для производства товаров широкого потребления, в особенности пластмасс [5]. Установки КК являются также поставщиком сырья для химической промышленности: из газойлей крекинга получают сажевое сырье и нафталин, при использовании в качестве сырья гидроочищенного вакуумного газойля, тяжелый газойль может служить сырьем для производства высококачественного «игольчатого» кокса.

За длительный период своего развития каталитический крекинг значительно совершенствовался в отношении способа контакта сырья с катализатором и в отношении применяемых катализаторов [6].

**Исследовательская часть.** Целью настоящей работы является рассмотрение существующих технологий каталитического крекинга и анализ возможности внедрения данного процесса в поточную схему ОАО «Нафтан», с целью обеспечения загрузки нефтехимической базы завода и увеличения его прибыли.

Применение остаточного сырья в процессе каталитического крекинга имеет огромное промышленное значение. Данный процесс позволяет повысить глубину переработки нефти, увеличив при этом выход газов, в состав которых входит значительное количество этилена и пропилена, что очень выгодно отразится на экономике предприятия.

Существует три основных направления использования каталитического крекинга:

- топливное по переработке ГОВГ с добавлением мазута – FCC(UOP), MSCC;
- топливное по переработке остаточного сырья – RCC и RFCC типа R2R;
- топливно-нефтехимическое – DCC, PetroFCC, HSFCC, FCC(MAXOFIN).

Каталитический крекинг в псевдооживленном слое FCC — наиболее важный и широко применяемый в современной нефтеперерабатывающей промышленности процесс. Особенности процесса являются сравнительно низкие капитальные затраты, надёжная работа в течение длительного времени и экс-

платационная гибкость, позволяющая производителю переходить на другую структуру выхода продуктов путём простого изменения эксплуатационных параметров. Товарный бензин имеет высокое начальное октановое число и хорошие общие октановые характеристики [7].

Фирма БАРКО разработала новую концепцию системы контактирования сырья с катализатором, где используются преимущества ультракороткого времени контакта, названную впоследствии миллисекундный каталитический крекинг **MSSC**, монтаж реакторов которой обходится дешевле, чем системы с лифт-реактором, что в итоге делает стоимость реакторно-регенераторного блока на 20-30 % дешевле [8].

Преимуществами малого времени контакта являются снижение выхода сухого газа, повышение выхода бензина (дистиллятов), повышение ОЧ бензина, уменьшение реакций дегидрирования.

Фирма ЮОП предлагает заказчикам процесс переработки остаточного сырья - **RCC**. Первая из установок **RCC** рассчитана на мазут коксуемостью не более 10 %, содержанием ванадия и никеля не более 35 мг/кг или на смесь вакуумного газойля с добавлением гудрона с коксуемостью до 12 %, содержащего до 200 мг/кг металлов и до 1000 мг/кг азота. Процесс предусматривает [9]:

- тщательное управление временем контакта сырья и катализатора в реакторе;
- использование стойких к металлам катализаторов и их пассивацию;
- высокую кратность циркуляции катализаторов;
- хорошее смешение сырья с катализатором в зоне ввода их в реактор;
- низкое парциальное давление паров сырья (за счёт подачи разбавителей – пара и др).

Вторая из упомянутых установок по переработке остаточного сырья – это запатентованная фирмой «Тотал» установка **RFCC** типа **R-2-R** (реактор-2 регенератора). Процесс рассчитан на крекинг мазута с коксуемостью до 7% [9]. Для обеспечения длительной и бесперебойной эксплуатации в проект были заложены высокая работоспособность и механическая стойкость. Для переработки тяжёлого остаточного сырья, содержащего значительные концентрации металлов и дающего сравнительно высокий выход кокса, в проект заложили усовершенствованную систему подачи сырья, уникальный принцип регенерации и систему транспортировки катализатора, обеспечивающую его устойчивую циркуляцию. [7].

Если говорить о нефтехимической промышленности, то в последнее десятилетие резко возросла потребность в пропилене, что привело к его дефициту. Одновременно возросла потребность самих НПЗ в олефинах  $C_3$ ,  $C_4$ ,  $C_5$  в связи с расширением их использования для производства алкилатов, эфиров, полимеризатов, высококачественных бензинов нового поколения [10]. Примерно половину пропилена, потребляемого химической промышленностью, получают на НПЗ, а остальная часть поступает от парового крекинга (ПК) — пиролиза. Так как основной продукт установок ПК — этилен, то для производства пропиленов и бутиленов больше подходит каталитический процесс.

Основной альтернативой пиролизу является технология **DCC** компании Stone & Webster. **DCC** - процесс глубокого КК тяжёлого сырья (например, газойли и парафинистые остатки) до легких олефинов (от  $C_3$  до  $C_5$ ) [7]. Именно технология крекинга **DCC** обеспечит преимущественно не этиленовый, а пропиленовый вектор развития нефтехимическому комплексу и комплексу по производству оксигенатов, что позволит увеличить прибыль предприятия и обеспечить загрузкой нефтехимическую базу завода.

Относительно недавно фирмой UOP был разработан процесс **PetroFCC**, который осуществляется на катализаторе со специальными присадками, таких как «SuperZ» фирмы Intercat, введение которой обеспечивает суммарных выход углеводородов  $C_3$ - $C_4$  – 33%, а пропилен до 13% [11].

Главной особенностью этого процесса является использование рецикла науглероженного катализатора с целью увеличения выхода лёгких олефинов (особенно пропилена) и ароматики. Эта технология основана на том, что современные катализаторы, несмотря на закоксованность, ещё сохраняют существенную активность, причём в ряде случаев характеристики таких науглероженных катализаторов более предпочтительны, чем свежих, содержащих точки с экстремальной активностью. Как правило, кокс откладывается на более активных центрах, а катализатор становится более мягким и селективным [6].

Наряду с **PetroFCC** выделяется процесс фирмы JCCP и Saudi Aramco – **HSFCC**. **HSFCC** – каталитический крекинг с увеличенным выходом пропилена, проводимый в реакторе с нисходящим потоком сырья и катализатора и высоком отношении объёма катализатора к объёму сырья. По данным разработчиков выход пропилена увеличивается с традиционных 3 - 6% до 19 – 20%, выход высококачественного бензина с октановым числом 100 – с 40 до 48,5%. Общая степень конверсии составляет 87 – 90% [6].

Если же рассматривать сам процесс **FCC**, то выход пропилена и бутиленов можно сделать больше, чем в режиме максимального выхода бензинов, если поднять температуру в райзере выше 540 °С и применять каталитические добавки, содержащие **ZSM-5**. Установка **FCC** может быть специально спроектирована для максимального производства этилена путём интеграции в неё технологии **MAXOFIN**. Если выход пропилена в обычных условиях **FCC** составляет, как правило, 6 %масс. или менее, то включение процесса **MAXOFIN** увеличивает этот показатель до 20 и более %масс., даже если речь идёт об обычном

сырье крекинга. Выход пропилена по сравнению с обычными установками FCC повышается путём применения каталитической добавки MAXOFIN-3 и патентованного оборудования, в том числе второго райзера, предназначенного для крекирования избыточного количества бензиновых фракций и углеводородов C<sub>4</sub> в дополнительное количество легких олефинов.

Сравнительная характеристика направлений представлена в таблице и приводится в усреднённом виде без учёта вариаций катализаторов и зависимости от исходного сырья [7, 9-15].

Таблица. – Материальный баланс установок каталитического крекинга различных технологий

Выход продуктов, % масс.	FCC (UOP)	MSCC	RCC	R2R	DCC	PetroFCC	HSFCC	FCC (MAXOFIN)
Сухой газ C <sub>1</sub> -C <sub>2</sub>	3,9	4,2	2,8	6,7	12,9	9	2	11,85
в т.ч. Этилен	0,9	0,84	-	-	5,7	6	4	4,3
Углеводороды C <sub>3</sub> -C <sub>4</sub>	27,5	17,1	14,9	14	42,3	43	42,24	47,36
в т.ч. Пропиленов	8,2	5,1	5,5	-	20,4	22	20	18,37
Бутиленов	13,1	6	9,4		15,7	14	16	12,92
в т.ч. Изобутиленов	2,6		-		7,64	-	-	3,1
Бензины	47,9	53,04	43,7	44,2	20,2	28	33	18,81
Легкий газойль	8,7	13,61	18	22,1	7,9	9,5	8	8,44
Тяжёлый газойль	5,9	7,63	11,9	6,3	7,3	5	4,76	5,19
Кокс	6,1	4,32	8,7	6,7	9,4	5,5	6	8,34

Технологии топливно-нефтехимического направления отличаются более жёсткими условиями, большей загрузкой катализатора и расходом пара, что ведёт к увеличению затрат на эксплуатацию установки, однако увеличенный выход лёгких олефинов, в частности пропилена, компенсирует это и выводит установку в экономический плюс в связи со стабильно растущим спросом на пропилен. Так же очень важной составляющей любой технологии каталитического крекинга является катализатор, от которого зависит эффективность процесса. В зависимости от состава катализатора будет отличаться и сама кинетика процесса. Решение о выборе из целой гаммы предложений различных фирм наиболее целесообразной марки катализатора для конкретной установки каталитического крекинга и нефтеперерабатывающего завода в целом является ответственным мероприятием, требующим высокой квалификации и глубоких знаний по данному процессу от специалистов предприятия [13].

Как видно из вышесказанного, некоторые технологии между собой не так уж сильно и отличаются, что может означать, что при необходимости можно использовать одно и то же оборудование для переключения между топливным и топливно-нефтехимическим направлениями в зависимости от возможностей завода и его потребностей, при условии грамотной проектировки (эффективные эжекторы, контактные устройства, циклоны и т.п.). Для этого необходимо лишь соорудить дополнительные бункеры для катализатора, т.к. для FCC и DCC они будут отличаться и наладить соответствующий режим ведения технологического процесса. Также на практике различными заводами применялся опыт модернизации установки FCC до R2R, для осуществления которой достаточно дооборудовать регенератор второй ступени. Чего не скажешь о технологиях HSFCC и PetroFCC, чьи реакторно-регенераторные блоки существенно отличаются от остальных технологий.

Однако при выборе технологии, подходящей под условия ОАО «Нафтан» стоит опираться на существующее положение дел завода: его загрузку, распределения сырья по установкам и т.д. Опираясь на проектные мощности АВТ-2, АТ-8, АВТ-6, в сумме выходит около 5 млн.т/год мазута, который разгоняется на вакуумных блоках с получением гудрона и вакуумных дистиллятов(газойлей), часть которых распределяется по установкам Юникрекинг, Мягкий Гидрокрекинг, Фенольная очистка, а остальное направляется в резервуары цеха №8. Именно с цеха №8 можно брать весь газойль и тогда, получающегося после гидроподготовки, которая исходя из качества получающейся смеси газойлей просто необходима(катализатор очень чувствителен к металлам), количества хватит для загрузки установки КК.

Исходя из того, что свободного мазута на заводе нет, сразу исключаются следующие технологии – MSCC, RCC, R-2-R. Поэтому, на данный момент, на «Нафтани» нет перспектив для внедрения технологии каталитического крекинга остатков. Также, учитывая, что отрасль нефтехимии более перспективна, то стоит рассматривать технологии топливно-нефтехимического направления.

Исходя из данных таблицы, наибольший выход пропилена достигается в технологии PetroFCC, затем DCC, HSFCC и на последнем месте FCC-MAXOFIN. По выходу этилена технологии идут в следующем порядке: HSFCC-PetroFCC-DCC-FCC. Очевидно, что по выходу целевых продуктов PetroFCC и HSFCC самые эффективные технологии. Однако у этих двух технологий очень большое соотношение

катализатор/сырьё по сравнению с DCC, которая по выходу целевых продуктов ненамного отстаёт от них. Из-за того, что в технологиях глубокой переработки требуется более активный катализатор, то его стоимость будет большой и экономически невыгодно использовать такое его количество. Из вышесказанного можно сделать вывод, что в условиях ОАО «Нафтан» DCC наиболее подходящая технология, которая обеспечит не только пропиленовый вектор развития завода, достаточную загрузку нефтехимической базы завода, но и также высококачественное сырьё для получения игольчатого кокса, который имеет немалый спрос и стоимость. Стоит также повторить, что DCC при незначительных изменениях можно перевести на режим FCC. Отсюда следует, что это самый оптимальный вариант для ОАО «Нафтан».

После выбора технологии КК встаёт вопрос о подготовке сырья, а именно вакуумного газойля, к переработке на самой установке. Из-за того, что катализатор DCC более активный, то он становится и более чувствительным к отравлению. Наибольшую опасность необратимого отравления для катализатора КК представляют металлы – никель и ванадий. Значит основным критерием гидроподготовки будет выбор технологии с наибольшей деметаллизирующей способностью. Так же не стоит забывать и о других нежелательных компонентах сырья, оказывающих негативное влияние на катализатор. Поэтому на установке ГОВГ должен быть предусмотрен блок деметаллизации и гидроочистки, который будет отличаться от остальных установок ГО лишь более жесткими условиями ведения процесса и катализатором.

При прогнозируемой мощности завода по переработке нефти до 12 млн тонн в год и повышении глубины переработки нефти с 90 до 95%, проектная мощность блока гидроподготовки сырья комплекса каталитического крекинга составит около 1,5 млн тонн в год, а самой установки каталитического крекинга около 1,3 млн тонн в год.

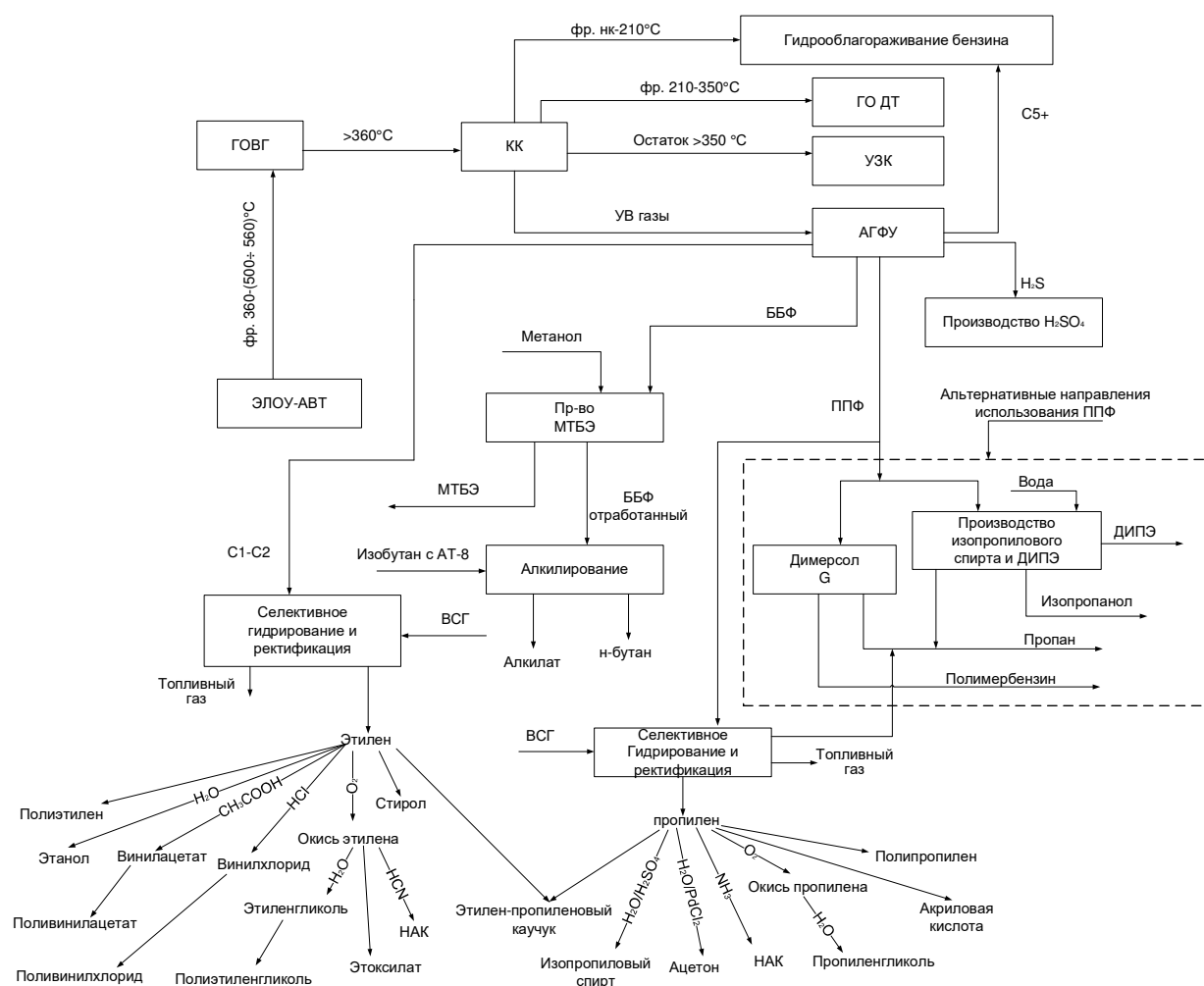


Рисунок. – Блок-схема комплекса каталитического крекинга

Остаток фр  $>350^\circ\text{C}$  в условиях ОАО «Нафтан» может использоваться в качестве компонента котельного топлива или как сырьё установки УЗК с целью дальнейшего получения игольчатого кокса.

В результате проведенных исследований выявлено, что внедрение КК DCC в ОАО «Нафтан» открывает перспективы для развития производства высокооктановых компонентов к бензину и расширение ассортимента продуктов из пропилена, востребованных на рынке. Данная установка каталитического крекинга уступает пиролизу по объему производства этилена, но выигрывает по производству таких низших олефинов, как пропилен и бутилены. Значимым достоинством каталитического крекинга является производство высокооктанового бензина, а также стоит отметить, что данный процесс увеличивает глубину переработки нефти.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Комплексная оценка нефтеперерабатывающих заводов и заводов по переработке тяжелых нефтей и природных битумов / З.И. Сафин [и др.] // Вестн. Казан. технол. ун-та. – 2011. – Т. 14, № 9. – С. 188–191.
2. Нефтепереработка-2015 / ЗАО Инвестиционная компания ЮНИТЕР, апрель 2015. – 19 с.
3. Развитие / Официальный сайт ОАО «Нафтан» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.naftan.by/ru/develop.aspx>. – Дата доступа: 07.09.2016.
4. Нефть глубокой переработки. «Белнефтехим» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.belneftekhim.by/print/press/about/ef845afd52323e53.html>. – Дата доступа: 03.01.2018.
5. Бурумбаева, Г.Р. Моделирование работы промышленной установки каталитического крекинга : дис. ... магистра хим. наук : 18.04.01 / Г.Р. Бурумбаева. – Томск, 2016. – 68 с.
6. Современное состояние и тенденции развития каталитического крекинга нефтяного сырья [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/sovremennoe-sostoyanie-i-tendentsii-razvitiya-kataliticheskogo-krekinga-neftyanogo-syrya.pdf>. – Дата доступа: 03.01.2018.
7. Основные процессы нефтепереработки : справ. : пер. с англ. / Р.А. Мейерс (ред.) [и др.] ; под ред. О.Ф. Глаголевой, О.П. Лыкова. – СПб. : Профессия, 2011. – 944 с., ил.
8. Каталитический крекинг остаточного нефтяного сырья / Р.Г. Галиев [и др.] // Технология нефти и газа. – 2009. – № 1. – С. 3–11.
9. Мановян, А.К. Технология переработки природных энергоносителей / А.К. Мановян. – М. : Химия, КолосС, 2004. – 456 с., ил. – (Учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений).
10. Henz, H. Re-invent FCC / H. Henz // Hydrocarbon Processing. – 2004. – № 9. – С. 41–48.
11. New FCC catalyst // Hydrocarbon Processing. – 2006. – № 3. – С. 29–35.
12. Zaiting, L. DCC – A New Propylene Production Process from Vacuum Gas Oil / L. Zaiting, J. Fakang and M. Enze // NPRA Annual Meeting, AM-90-40. – 1990. – Mar. 25–27.
13. Абхметов, С.А. Технология глубокой переработки нефти и газа : учеб. пособие для вузов / С.А. Абхметов. – Уфа : Гилем, 2002. – 672 с.
14. Fundamentals of Petroleum Redining / Mohamed A. Fahim, Taher A. Alsahhaf, and Amal Elkilani // Department of Chemical Engineering / Great Britain. – 2010. – P. 513.
15. HS-FCC for Propylene: Concept to Commercial Operation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.axens.net/document/1199/hs-fcc-for-propylene-concept-to-commercial-operation/english.html>. – Дата доступа: 07.01.2018.