

УДК 665.733

*Подоплелов Евгений Викторович,**к.т.н., доцент, зав. кафедрой «Машины и аппараты химических производств»,  
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,  
e-mail: uch\_sovet@angtu.ru**Сухорукова Кристина Игоревна,**студентка ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,  
Гагарина Мария Алексеевна,  
студентка ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет».***ОКТАНОПОВЫШАЮЩИЕ ДОБАВКИ К МОТОРНЫМ ТОПЛИВАМ  
И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОИЗВОДСТВА МЕТИЛ-ТРЕТ-АМИЛОВОГО ЭФИРА***Podoplelov E.V., Suhorukova K.I., Gagarina M.A.***OCTANE-ENHANCING ADDITIVES TO MOTOR FUELS AND PROSPECTS  
FOR THE PRODUCTION OF METHYL TERT-AMYL ETHER**

**Аннотация.** В работе рассмотрены антидетонационные добавки, применяемые при производстве моторных топлив, отмечается перспективность использования метил-трет-амилового эфира в качестве октаноповышающей добавки.

**Ключевые слова:** антидетонационная добавка, оксигенаты, метил-трет-бутиловый эфир, метил-трет-амиловый эфир, моторные топлива.

**Abstract.** The work considers anti-knock additives used in the production of motor fuels, and the prospects of using methyl tert-amyl ether as an octane-enhancing additive are noted.

**Keywords:** anti-knock additive, oxygenates, methyl tert-butyl ether, methyl tert-amyl ether, motor fuels.

Повышение октанового числа бензинов с помощью антидетонационных (октаноповышающих) добавок является обычной практикой при производстве моторных топлив. Добавление антидетонационных добавок к прямогонным бензинам считается экономически более выгодным по сравнению с применением других способов повышения октанового числа бензинов (каталитический крекинг, термический крекинг и т.д.).

Первыми и наиболее дешевыми октаноповышающими добавками к топливам, используемыми довольно продолжительное время, были органические соединения свинца – тетраэтилсвинец и тетраметилсвинец, эффективность которых была открыта еще в 1921 г. специалистами компании «General Motors». С этого момента тетраэтилсвинец (ТЭС) получил широкое распространение при производстве моторных бензинов во всем мире, включая СССР. Основным недостатком этилированного бензина с добавлением тетраэтилсвинца является ярко выраженное негативное влияние на организм человека. Поэтому, начиная с 1980-х годов, начался постепенный отказ от производства моторных бензинов с добавлением тетра-

этилсвинца. Производство этилированного бензина в России запрещено с 2002 года.

В настоящее время наибольшее распространение в качестве высокооктановых присадок получили присадки на основе оксигенатов – кислородсодержащих органических соединений. Оксигенаты обладают достаточным октановым числом, а благодаря содержанию кислорода в их составе, снижаются выбросы вредных веществ в атмосферу, в том числе оксида углерода. В отличие от тетраэтилсвинца и тетраметилсвинца, оксигенаты добавляют к моторным бензинам в больших количествах, зачастую непосредственно на НПЗ.

Наибольшее распространение среди оксигенатов в качестве высокооктановой добавки получил метил-трет-бутиловый эфир (МТБЭ). Промышленное производство МТБЭ в качестве компонента топлив для двигателей внутреннего сгорания осуществляется с 1979 г. Динамика потребления МТБЭ в США такова, что в период с 1992 по 2001 г.г. потребление МТБЭ в стране резко выросло с 4 до 10,5 млн. т. Мировое производство и потребление МТБЭ в настоящее время оценивается примерно в 25 млн. т в год, однако, в последнее время намечается

тенденция к снижению производства МТБЭ. Причиной снижения мирового производства МТБЭ является тот фактор, что с 2003 года соединение запрещено к использованию в таких странах как США, Канада, Испания, Португалия, Франция и Финляндия. Связано это с высокой вероятностью проникновения и накопления МТБЭ в случае утечек в грунтовых водах и почве, а также то, что при производстве МТБЭ применяется метанол – сильнейший яд. Стоит отметить, что МТБЭ остается в настоящее время наиболее популярной топливной присадкой, которая производится в России, странах Азиатско-Тихоокеанского региона и ряде других стран. В России производится примерно 1 млн. т МТБЭ в год.

Также к оксигенатам относится метил-трет-амиловый эфир (МТАЭ), обладающий меньшим показателем детонационной стойкости по сравнению с МТБЭ, а кроме того, при его производстве используется до 10% метанола, что снижает его практическую ценность с точки зрения экологии и безопасности производства.

В настоящее время МТБЭ и МТАЭ – это компоненты, наиболее эффективно повышающие октановое число бензинов [1-3]. Кроме того, преимуществом включения этих компонентов в состав бензина является снижение образования вредных веществ за счет повышения полноты сгорания топлива. С экологической точки зрения МТАЭ обладает более высоким порогом запаха (194 мкг/л против 95 мкг/л для МТБЭ), а главное не накапливается в водных источниках за счет более высокой биоразлагаемости. Таким образом, МТАЭ является довольно перспективным продуктом для производителей автобензина, в том числе для Ангарской нефтехимической компании.

Для производства высокооктановых компонентов в производственной структуре АО «АНХК» используется установка производства МТБЭ с производительностью 48,423 тыс. т/год. В 2016 году на АО «АНХК» введена в эксплуатацию новая установка по производству метил-трет-бутилового эфира мощностью 128 тыс. тонн в год по сырью и более 46 тыс. тонн в год по метил-трет-бутиловому эфиру.

Сырье действующей установки производства МТБЭ может вовлекаться в переработку на новой установке, а на освободив-

шемся оборудовании возможна реализация процесса производства этерификата легкой фракции бензина каталитического крекинга (ЛФБКК), представляющего смесь МТАЭ, небольшого количества МТБЭ, высших третичных эфиров и отработанной углеводородной фракции C<sub>5</sub>-C<sub>6</sub>.

Организация производства этерификата ЛФБКК целесообразно еще и по той причине, что на предприятии имеется сырье, вовлечение которого в процесс этерификации позволит произвести дополнительное количество высокооктанового компонента. Таким сырьем является легкая гидроочищенная бензиновая фракция каталитического крекинга с содержанием изоамиленов более 10% масс., из которых в результате реакции синтеза с метанолом получается метил-трет-амиловый эфир (МТАЭ), обладающий октановым числом 112 по исследовательскому методу и 99 по моторному методу.

В основу технологии производства заложен процесс этерификации метанолом реакционноспособных изоамиленов, содержащихся в легкой фракции бензина каталитического крекинга, протекающий на катализаторе Леватит (Lewatit K 2629). Процесс этерификации основан на селективном взаимодействии непредельных изоолефинов C<sub>5</sub>, C<sub>6</sub> с метанолом на ионитном катализаторе. Процесс проводится в реакторах с неподвижным слоем катализатора, работающих в режиме восходящего потока, а технологический процесс производства этерификата ЛФБКК включает следующие стадии: подготовка сырья; получение МТАЭ из реакционноспособных изоамиленов в реакторах; промывка этерификата ЛФБКК от избытка метанола; регенерация метанола.

Для определения экономической целесообразности перепрофилирования установки производства МТБЭ на установку этерификации легкой фракции бензина каталитического крекинга рассмотрены 2 варианта:

1 вариант: основным критерием является минимизация капитальных затрат для перепрофилирования установки и минимальные изменения по аппаратурному оформлению процесса;

2 вариант: основным критерием является возможность переработки ЛФБКК в полном объеме при минимизации капитальных затрат для перепрофилирования установки.

В таблице 1 для вариантов перепрофилирования приведена информация о мощно-

сти и основным эксплуатационным показателям установки после перепрофилирования.

Таблица 1  
Эксплуатационные показатели установки после перепрофилирования

Показатели процесса	1 вариант	2 вариант
Производительность по сырью, тыс. т./год, (в т.ч. изоамиленов)	72 (7,776)	136,44 (14,735)
Степень конверсии этерифицируемых изоамиленов, % от содержания в сырье: -общий от потенциала в сырье; -от потенциала в сырье, подаваемом в реакторы этерификации	57,7 66,5	39,34 65,8
Количество получаемого МТАЭ, тыс. т/год	6,369	8,346
Повышение октанового числа по ОЧИ (исследовательское октановое число)/ОЧМ (моторное октановое число) с пересчетом на производительность 136,44 тыс. т в год по сырью	0,82/0,89	0,7/0,82

В зависимости от варианта перепрофилирования в состав установки в режиме производства этерификата ЛФБКК будут входить как существующие, так и новые сооружения. По первому варианту процесс этерификации будет осуществляться в существующих реакторах (рис. 1), но для ведения процесса потребуется новое вспомогательное оборудование (теплообменные аппараты, фильтры, насосы).

По первому варианту смесь ЛФБКК и метанола направляется в реактор Р-1 (рис. 1), где происходит процесс этерификации. Из реактора Р-1 реакционная смесь направляется в реактор Р-2. В реакторе Р-2 протекают процессы этерификации непрореагировавших на 1-ой стадии изоамиленов с образованием дополнительного количества МТАЭ. На выходе из реакторов предусмотрена установка фильтров, предназначенных для улавливания возможных частиц пыли, уносимых из слоя катализатора. Реакционная смесь из второго реактора через холодильник Х-2, в котором она охлаждается оборотной водой, поступает в колонну К-6 под слой насадки из колец «Рашига» через барботер. Колонна К-6 предназначена для промывки этерификата ЛФБКК с целью удаления метанола. Про-

мывка осуществляется циркуляционной водой, которая подается в верхнюю часть колонны К-6 над слоем насадки. Для эффективной отмывки этерификата ЛФБКК от метанола в колонне К-6 поддерживается избыточное давление до 1,0 МПа. Отмытый от метанола этерификат ЛФБКК выводится с верха колонны К-6. После охлаждения оборотной водой в межтрубном пространстве холодильника Х-12 этерификат ЛФБКК поступает в емкость Е-19 для отделения остаточной воды. Этерификат ЛФБКК из Е-19 совместно с потоком легкой фракции бензина выводится с установки в промежуточный парк.

По второму варианту возникают дополнительные капитальные затраты на перепрофилирование, связанные с необходимостью строительства блока подготовки сырья и установкой новых колонн, которые используются для концентрирования изоамиленовой фракции и выделения метанола.

Основные технико-экономические показатели по двум вариантам после перепрофилирования установки МТБЭ на установку этерификата легкой фракции бензина каталитического крекинга (ЛФБКК) приведены в таблице 2.

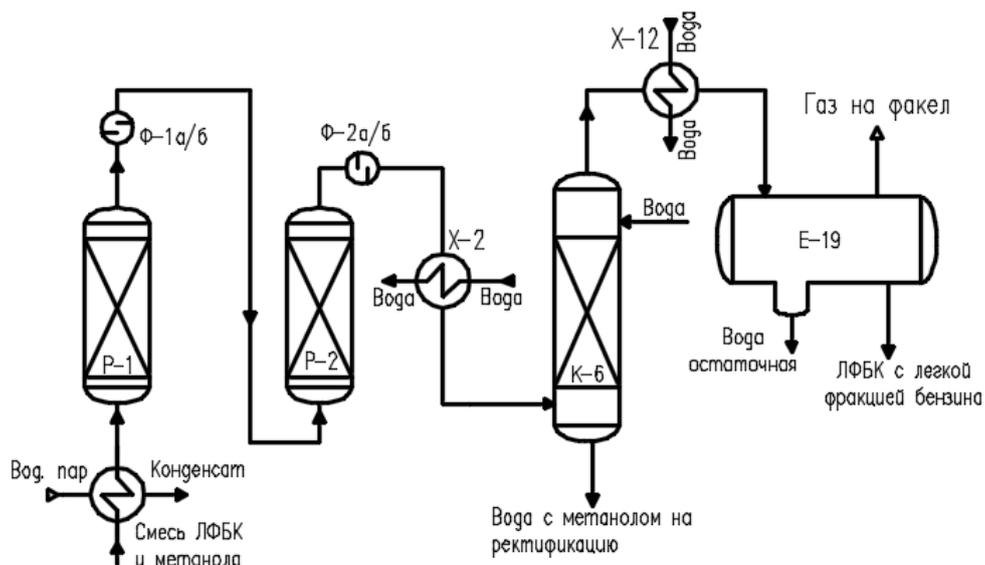


Рисунок 1 - Принципиальная технологическая схема установки производства по первому варианту

Таблица 2  
Технико-экономические показатели перепрофилирования установки МТБЭ

Наименования показателя	Единица измерения	Вариант 1	Вариант 2
Валовая прибыль, тыс. руб./год	тыс. руб.	107277,64	88389,37
Капитальные вложения	тыс. руб.	78 469,98	151 030,37
Срок окупаемости (простой)	лет	3,52	не определяется
Срок окупаемости (дисконтир.)	лет	4,08	не определяется
Внутренняя норма рентабельности	%	59	не определяется
Чистый приведенный доход	тыс. руб.	90992	-126 594,46
Индекс прибыльности		2,16	0,16

Анализ показателей, приведенных в таблице 2, дает возможность сделать вывод, что вариант 1 является наиболее эффективным и позволяет рассматривать его реализацию в качестве возможных инвестиционных вложений, способных окупить себя и принести дополнительную прибыль.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Подоплелов, Е.В. О перепрофилировании установки МТБЭ на установку этерификации легкой фракции бензина каталитического крекинга / Е.В. Подоплелов, Д.С. Сморгчов, А.Ю. Антоненко, А.И. Дементьев // Современные технологии и научно-технический прогресс. – 2017. – Т. 1. – С. 52-53.

2. Подоплелов, Е.В. Разработка путей перепрофилирования установки МТБЭ на установку этерификации легкой фракции бензина каталитического крекинга / Е.В. Подоплелов, Д.С. Сморгчов, А.И. Дементьев, В.В. Мартинюк // Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета. – 2017. – Т. 1. – № 1. – С. 33-36.

3. Подоплелов, Е.В. Разработка технического проекта установки этерификации легкой фракции бензина каталитического крекинга / Е.В. Подоплелов, Д.С. Сморгчов, А.И. Дементьев, В.В. Мартинюк // Современные технологии и научно-технический прогресс. – 2017. – Т. 1. – С. 54-5.