

УДК 661.11

## Экономическое обоснование перепрофилирования установки производства МТБЭ на установку этерификации лёгкой фракции бензина каталитического крекинга

© А.Д. Иванова, Д.А. Павлова, Ю.А. Айзина, Е.В. Гафарова  
Иркутский национальный исследовательский технический университет,  
г. Иркутск, Российская Федерация

**Аннотация.** В данной статье рассмотрена актуальность проблемы получения качественных высокооктановых бензинов, а также проведён анализ основных способов их получения, что позволило определить область исследования, связанную с возможностью получения этерификата лёгкой фракции бензина каталитического крекинга (ЛФБКК) путём перепрофилирования под его производство установки по получению продукта реакции метилового спирта с изобутиленом (МТБЭ). Рассмотрены технологические и экономические обоснования реализации процесса производства этерификата лёгкой фракции бензина каталитического крекинга (ЛФБКК), в качестве примера приведена АО «Ангарская нефтехимическая компания», описаны возможные экономические затраты предприятия на перепрофилирование производства. Также рассмотрены основные аппаратные решения получения целевого продукта, среди которых можно выделить пару адиабатических реакторов с промежуточным охлаждением. В статье продемонстрированы основные сведения о процессах, а именно: технологические перекачки и обеспечение энергоресурсами, хранение оперативного запаса ЛФБКК, подача сырья в процесс, управление процессом производства этерификата ЛФБКК, мощности установок, степень конверсии этерифицируемых изоамиленов, основные технико-экономические показатели (цены на сырьё, товарную продукцию, энергоносители, реагенты и вспомогательные материалы).

**Ключевые слова:** высокооктановые компоненты топлив, ЛФБКК, МТБЭ, ТАМЭ, ТСП, перепрофилирование установки, экономические показатели установок

## Economic justification for the conversion of the MTBE production unit to an esterification unit for the light fraction of catalytically cracked gasoline

© Alina D. Ivanova, Daria A. Pavlova, Yulia A. Aizina, Elena V. Gafarova  
Irkutsk National Research Technical University,  
Irkutsk, Russian Federation

**Abstract.** The article examines the urgency of the problem of obtaining high-quality high-octane gasoline, and also analyzes the main methods of their production, which made it possible to determine the area of research associated with the possibility of obtaining the ester of the light fraction of catalytically cracked gasoline (LFGCC) by reprofiling for its production an installation for obtaining the reaction product of methanol with isobutylene (MTBE). The article discusses the technological and economic justification for the implementation of the process of producing the ester of the light fraction of catalytically cracked gasoline (LFGCC), describes the possible economic costs of the enterprise for the conversion of production in the case of Angarsk Petrochemical Company JSC. The article also discusses the main hardware solutions for obtaining the target product, among which a pair of adiabatic reactors with intermediate cooling can be distinguished. The article demonstrates basic information about the processes, namely: technological pumping and supply of energy resources, storage of the operational stock of LFGCC, supply of raw materials to the process, control of the production process of LFGCC ester, plant capacity, the degree of conversion of esterified isoamylenes, basic technical and economic indicators (prices for raw materials, commercial products, energy carriers, reagents and auxiliary materials).

**Keywords:** high-octane fuel components, LFGCC, MTBE, TAME, reprofiling of the plant, economic indicators of installations

Российский рынок автомобильного бензина интересен благодаря «премиальному» характеру внутреннего рынка, быстрорастущему потреблению, ориентированности на потребительский сегмент и преимуществен-

ной реализации в розницу через сети АЗС [1]. Сочетание этих факторов потенциально обеспечивает нефтяным компаниям высокую прибыль именно на рынке высокооктановых бензинов [2].

Однако для получения качественных автомобильных бензинов необходим не только сложный комплекс высокотехнологичных процессов первичной и вторичной переработки нефти, но и различного рода добавки и присадки, улучшающие эксплуатационные характеристики бензинов. При переходе к производству высокооктанового бензина с ИОЧ не менее 95, соответствующего требованиям экологического класса 5, не использовать кислородсодержащие компоненты практически невозможно.

Кроме того, при вовлечении в компаундирование при производстве высокооктановых товарных бензинов кислородсодержащих компонентов сокращается расход нефти на производство заданного количества товарного бензина, а также достигается заметная экономия энергоресурсов. Наибольшее применение среди оксигенатов (носителей кислорода) на данный момент получили метил-трет-бутиловый эфир (МТБЭ – продукт реакции метилового спирта с изобутиленом, ОЧ 115), этил-трет-бутиловый эфир (ЭТБЭ – продукт реакции этерификации этилового спирта с изобутиленом, ОЧ 115), а также метил-трет-амиловый эфир (МТАЭ, или ТАМЭ – продукт реакции этерификации метилового спирта с изозмиленами, ОЧ 112) [3].

В последние годы повышенный интерес проявляется к производству ТАМЭ, так как основным продуктом процесса каталитического крекинга является бензиновая фракция, содержащая более 10 % изоамилена – потенциального сырья для производства ТАМЭ.

АО «Ангарская нефтехимическая компания» в рамках масштабной инвестиционной программы модернизации производства осуществила запуск новой установки по производству метил-трет-бутилового эфира. Её мощность составила 128 тыс. тонн в год по сырью и более 46 тыс. тонн в год по метил-трет-бутиловому эфиру.

Сырьё действующей установки производства МТБЭ может вовлекаться в переработку на новой установке, а на освобожденном оборудовании возможна реализация процесса производства этерификата лёгкой фракции бензина каталитического крекинга (ЛФБКК), представляющего собой смесь ТАМЭ, небольшого количества МТБЭ, высших третичных эфиров и отработанной углеводородной фракции  $C_5 - C_6$  [4].

Организация производства этерификата ЛФБКК целесообразна ещё и по той при-

чине, что на предприятии имеется сырьё, вовлечение которого в процесс этерификации позволит произвести дополнительное количество высокооктанового компонента. Таким сырьём является лёгкая гидроочищенная бензиновая фракция каталитического крекинга (ЛФБКК) с содержанием изоамиленов более 10 % масс., из которых в результате реакции синтеза с метанолом получается метил-трет-амиловый эфир (ТАМЭ), обладающий октановым числом 112 по исследовательскому методу и 99 по моторному методу [5].

Таким образом, в результате реперофиллирования установки МТБЭ на процесс этерификации лёгкой фракции бензина каталитического крекинга планируется производство дополнительного количества высокооктанового компонента для вовлечения в производство автомобильных бензинов [6].

В качестве примера нами рассмотрена существующая установка получения метил-трет-бутилового эфира, смонтированная на химическом заводе АО «АНХК» и запущенная в работу в 2006 году. Она имеет небольшую мощность, что обусловлено небольшими объёмами сырья (в частности бутан-бутиленовой фракции). Основным аппаратным решением получения целевого продукта является пара адиабатических реакторов с промежуточным охлаждением. Предусмотрена схема взаимозаменяемости реакторов. При замене катализатора в реакторе Р-1 на новый первым по ходу смеси подключается Р-2, он в этом случае служит для очистки сырья от вредных примесей, а реактор Р-1 подключается после него. При этом в Р-1 в основном и осуществляется синтез МТБЭ с применением цеолитного формованного катализатора, обладающего высокой активностью, продолжительным сроком службы, удобной формой и размером гранул [7]. Катализатор сочетает свойства кислотного катализатора и массообменной насадки. На данной установке применяется импортный катализатор, доказавший свою высокую активность.

Рассматриваемая установка характеризуется гибкостью в отношении исходного сырья и требованиями к качеству продукции, базируется на оборудовании отечественного производства, эффективность применения которого доказана технологическими прочностными расчётами и опытными пробегами [8].

В основу технологии заложен процесс этерификации метанолом реакционноспо-

собных изоамиленов, содержащихся в лёгкой фракции бензина каталитического крекинга. Процесс этерификации осуществляется в реакторах с неподвижным слоем катализатора Леватит (Lewatit K 2629), работающих в режиме восходящего потока.

Степень конверсии этерифицируемых изоамиленов (%) от содержания в сырье следующая:

- общий от потенциала в сырье – 57,7;
- от потенциала в сырье, подаваемом в реакторы этерификации – 66,5;
- повышение октанового числа по ОЧИ/ОЧМ с пересчётом на производительность 72 тыс. т/год по сырью – 2,64/2,54.

Технологический процесс производства этерификата ЛФБКК включает следующие стадии:

- приём и хранение оперативного запаса сырья;
- подготовка сырья;
- получение ТАМЭ из реакционноспособных изоамиленов в реакторах;
- промывка этерификата ЛФБКК от избытка метанола;
- регенерация метанола.

Состав установки после перепрофилирования приведён в таблице 1.

**Таблица 1.** Перечень сооружений, входящих в состав установки при производстве этерификата ЛФБКК

Наименование сооружения	Назначение	Проектные решения по дооборудованию, реконструкции
1	2	3
Внутриплощадочные трубопроводы	Технологические перекачки и обеспечение энергоресурсами.	Для всех вариантов перепрофилирования предусматривается прокладка новых трубопроводов: - подачи ЛФБКК диаметром 100 мм; - откачки этерификата ЛФБКК на ТСП диаметром 100 мм.
Объект 179 Ёмкости для сырья и готовой продукции, помещение для насосов	Хранение оперативного запаса метанола, подача его в процесс. Хранение продукции этерификата ЛФБКК и откачка с установки на ТСП.	Проектом предусмотрены следующие изменения: - установка дополнительного насоса Н-1б, резерв для Н-1, Н-1а; - откачка этерификата ЛФБКК из Е-11 (Е-12) предусмотрена насосом Н-3,3а.
Объект 179 Ёмкости для сырья	Хранение оперативного запаса ЛФБКК, подача сырья в процесс.	Проектом предусмотрены следующие изменения: - переобвязка сущ. Ёмкостью Е-1 (Е-2); - установка новых насосов Н-2 (Н-2а).
Объект 179 Наружная установка	Производство этерификата ЛФБКК.	Производительность секции по сырью 72 тыс. т./год. Монтаж дополнительных аппаратов и насосного оборудования на существующей этажерке и в насосной объекта 179.
Объект 323 Производственное здание	Управление процессом производства этерификата ЛФБКК.	В составе сооружения: - операторная производства этерификата ЛФБКК; - аппаратная; - сварочное помещение; - холодильная установка; - ЩСУ-0,4 и другие помещения.

В результате для расчётов нами выбраны условия перепрофилирования: мощность установки по сырью – 72 тыс. т/год, диапазон устойчивой эксплуатации установки – 60–110 %, режим работы непрерывный с межремонтным пробегом не менее двух лет и наработкой основного оборудования в первый год 8760 часов и во второй год 8000 часов.

Расчёт потоков и энергоресурсов приведён для режима работы, который равен 8000 часам в год.

При производстве этерификата ЛФБКК осуществляются следующие технологические процессы углеводородной фракции C<sub>5</sub>–C<sub>6</sub>:

- подготовка и ректификация сырья с целью выделения узкой фракции с максимальным содержанием изоамиленов;

- получение ТАМЭ из реакционноспособных изоамиленов селективным взаимодействием непредельных изоолефинов  $C_5$ ,  $C_6$  с метанолом на ионитном катализаторе;

- промывка этерификата ЛФБКК от избытка метанола;

- процесс экстракции в системе «жидкость – жидкость». Экстракт и рафинат разделяются отстаиванием;

- регенерация метанола – отпарка от воды методом ректификации.

Технологии ректификации и экстракции являются общедоступными технологиями, на применение которых не требуется лицензия [9].

Основные исходные данные для расчёта технико-экономических показателей приведены в таблицах 2 и 3.

**Таблица 2.** Исходные данные для расчётов

Параметры	Единица измерения	Значения
Средняя заработная плата производственного персонала	руб./месяц на одного работающего	52 950
Начисление на фонд заработной платы в 2015 г.	% от ФОТ	32
Численность персонала	штатных единиц	14
Материалы для текущего ремонта	% от статей «капвложения» и «затраты на персонал»	2
Накладные расходы	% от ФОТ	7.5
Налог на прибыль	%	20
НДС	%	18
Налог на имущество	%	2.2
Норма амортизационных отчислений	%	10
Способ начисления амортизации		Линейный
Ставка дисконтирования	%	20
Условия финансирования		Собственные средства
Период строительства, варианты 1/2/3	месяц	21/24/27
Остаточная стоимость установки пр-ва МТБЭ	тыс. руб.	33 632.72

**Таблица 3.** Цены на сырьё, товарную продукцию, энергоносители, реагенты и вспомогательные материалы

Наименование	Единица измерения	Цена руб. ед./изм.
Стоимость одной октано-тонны	октано-тонна	530
Стоимость высокооктанового компонента бензина каталитического крекинга	тонн	27 000
Стоимость метанола технического	тонн	9 200
Стоимость катализатора Lewatit K2629	тонн	367 906,8
Эл/энергия	тыс. кВт-ч	1826,11
Водяной пар	тонн	718,02
Оборотная вода	тыс. м <sup>3</sup>	3478,16
Химочищенная вода	м <sup>3</sup>	67,34
Воздух КиП	тыс. нм <sup>3</sup>	129
Азот	тыс. нм <sup>3</sup>	2764

Таким образом, в результате перепрофилирования установки МТБЭ на процесс этерификации лёгкой фракции бензина каталитического крекинга планируется производство дополнительного количества высокооктанового компонента для вовлечения в производство высококачественных автомобильных бензинов.

Результатами перепрофилирования установки будут являться следующие процессы:

– повышение октанового числа ЛФБКК на 2,64/2,54 (ОЧИ/ОЧМ);

– продолжение эксплуатации имеющегося оборудования;

– сохранение рабочих мест;

– увеличение количества производства товарных бензинов на ~3 тыс. тонн в год.

В таблице 4 приведены основные технико-экономические показатели после перепрофилирования установки МТБЭ для производства этерификата лёгкой фракции бензина каталитического крекинга (ЛФБКК) [10].

Таблица 4. Основные технико-экономические показатели перепрофилирования установки МТБЭ

Наименование показателя	Единицы измерения	
Валовая прибыль, тыс. руб./год	тыс. руб.	107 277,64
Капитальные вложения	тыс. руб.	77 008,87
Срок окупаемости (простой)	лет	3,49
Срок окупаемости (дисконтированный)	лет	4,02
Внутренняя норма рентабельности	%	60
Чистый приведённый доход	тыс. руб.	92076
Индекс прибыльности		2,2

В результате проведённых исследований нами установлено, что перепрофилирование установки производства МТБЭ на установку этерификации лёгкой фракции бензина каталитического крекинга позволит:

- повысить октановое число лёгкой фракции бензина каталитического крекинга на 2,64/2,54 (ОЧИ, ОЧМ);
- улучшить эксплуатационные характеристики лёгкой фракции бензина каталити-

ческого крекинга за счёт перевода непредельных соединений в простые эфиры;

- продолжить эксплуатацию имеющегося оборудования;
- сохранить рабочие места;
- увеличить производство высококачественных товарных бензинов на ~3 тыс. тонн в год.

#### Библиографический список

1. Емельянов В.Е. О путях повышения качества автомобильных бензинов // Новые топлива с присадками: сб. тр. III Междунар. научно-прикладной конф. (г. Санкт-Петербург, 1–3 июня 2004 г.). СПб., 2004. С. 8–14.
2. Капустин В.М. Проблемы повышения качества российских бензинов // Химия и технология топлив и масел. 2005. № 2 (528). С. 13–15.
3. Данилов А.М. Присадки к топливам в России сегодня и завтра // Новые топлива с присадками: сб. тр. III Междунар. научно-прикладной конф. (г. Санкт-Петербург, 1–3 июня 2004 г.). СПб., 2004. С. 14–24.
4. Каминский Э.Ф., Хавкин В.А. Глубокая переработка нефти: технологический и экологический аспекты. М.: Изд-во «Техника», 2001. 384 с.
5. Базаров Б.И. Работа поршневых двигателей на альтернативных видах топлива: монография. Ташкент: ТАДИ, 2001. 138 с.
6. Митусова Т.Н., Калинина М.В., Довлатбегова О.В., Дьяченко Е.Ф. Совместимость присадок различного функционального назначения в экологически чистых топливах // Новые топлива с присадками: сб. тр. III Междунар. научно-прикладной конф. (г. Санкт-Петербург, 1–3 июня 2004 г.). СПб., 2004. С. 24–32.
7. Данилов А.М. Применение присадок в топливах. М.: Мир, 2005. 286 с.
8. Карбанович И.И. Экономия автомобильного топлива: опыт и проблемы. М.: Транспорт, 1992. 144 с.
9. Данилов А.М., Емельянов В.Е., Митусова Т.Н. Разработка и производство экологически улучшенных моторных топлив. М.: ЦНИИТ-Энефтехим., 1994. 53 с.
10. Говорущенко Н.Я. Экономия топлива и снижение токсичности на автомобильном транспорте. М.: Транспорт, 1990. 135 с.

#### Сведения об авторах / Information about the Authors

**Иванова Алина Денисовна**,  
студентка группы ХТТБ-19-1,  
Институт высоких технологий,  
Иркутский национальный исследовательский  
технический университет,  
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Рос-  
сийская Федерация,  
e-mail: alina.ivanova123456@mail.ru

**Павлова Дарья Александровна**,  
студентка группы ХТТБ-19-1,  
Институт высоких технологий,  
Иркутский национальный исследовательский  
технический университет,  
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Рос-  
сийская Федерация,  
e-mail: daria01092001@icloud.com

**Alina D. Ivanova**,  
Student,  
Institute of High Technologies,  
Irkutsk National Research Technical University,  
83 Lermontov Str., Irkutsk, 664074, Russian  
Federation,  
e-mail: alina.ivanova123456@mail.ru

**Daria A. Pavlova**,  
Student,  
Institute of High Technologies,  
Irkutsk National Research Technical University,  
83 Lermontov Str., Irkutsk, 664074, Russian  
Federation,  
e-mail: daria01092001@icloud.com

**Айзина Юлия Александровна,**  
кандидат химических наук,  
доцент кафедры химической технологии  
им. Н.И. Ярополова,  
Институт высоких технологий,  
Иркутский национальный исследовательский  
технический университет,  
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Рос-  
сийская Федерация,  
e-mail: aizina@ex.situ.edu

**Гафарова Елена Владиславовна,**  
доцент кафедры экономики и цифровых биз-  
нес-технологий,  
Институт экономики, управления и права,  
Иркутский национальный исследовательский  
технический университет,  
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Рос-  
сийская Федерация,  
e-mail: persik17@mail.ru

**Yulia A. Aizina,**  
Cand. Sci. (Chemistry),  
Associate Professor of Chemical Technology  
Department named after N.I. Yaroplov,  
Institute of High Technologies,  
Irkutsk National Research Technical University,  
83 Lermontov Str., Irkutsk, 664074, Russian  
Federation,  
e-mail: aizina@ex.situ.edu

**Elena V. Gafarova,**  
Associate Professor at Department of Economics  
and Digital Business Technologies,  
Institute of Economics, Management and Law,  
Irkutsk National Research Technical University,  
83 Lermontov Str., Irkutsk, 664074, Russian  
Federation,  
e-mail: persik17@mail.ru