

УДК 665.644.2:66.012.77

## ДЕСТРУКТИВНАЯ ПЕРЕРАБОТКА УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ В НЕОРГАНИЧЕСКИХ РАСПЛАВАХ. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА

Гликин М.А., Черноусов Е.Ю.

## DESTRUCTIVE PROCESSING OF HYDROCARBON FEEDSTOCKS IN INORGANIC MELTS. TECHNICAL AND ECONOMIC ASSESSMENT

Glikin M.A., Chernousov E.Yu.

*Проведена технико-экономическая оценка одного из возможных практических применений разрабатываемого процесса деструктивной переработки углеводородного сырья в неорганических расплавах – процесса прямого крекирования сырой нефти на нефтеперерабатывающих предприятиях малой мощности. Предложена усовершенствованная принципиальная технологическая схема. В результате расчетов показано снижение производственных затрат на 14,6%, повышение годовой прибыли на 950 тыс. грн. при мощности установки 100 тыс. тонн в год и снижение сроков окупаемости в 1,5 раза.*

**Ключевые слова:** деструктивная переработка, углеводородное сырье, расплав, эффективность, прибыль, срок окупаемости.

**Введение.** Данная работа является продолжением разработки технологии деструктивной переработки углеводородного сырья в неорганических расплавах. Одним из возможных способов эффективного применения этой технологии является процесс прямого крекирования сырой нефти в составе нефтеперерабатывающего предприятия малой мощности. Именно этот процесс будет рассмотрен как частный пример возможного практического использования результатов исследования разрабатываемой технологии.

Традиционно в нефтяной промышленности используются крупномасштабные нефтеперерабатывающие заводы (НПЗ), снабжаемые сырой нефтью или газоконденсатом по трубопроводу или с помощью цистерн. Однако большинство новых месторождений углеводородов, открываемых в мире, происходит в районах, в которых инфраструктура для транспортировки и переработки либо ограничена, либо вообще отсутствует, поэтому производители вынуждены развивать дорогостоящую инфраструктуру для транспортировки углеводородов на имеющийся НПЗ или строить новый перерабатывающий завод вблизи месторождения, что требует вложения

огромных средств и времени; либо устанавливать высокотехнологичный нефтеперерабатывающий мини-завод для переработки сырья прямо на месторождении или в ином удобном для заказчика месте [1]. В конце 2014 года на Украине насчитывалось 15 мини-НПЗ с общей мощностью переработки до 2 млн. тонн нефти в год, в России – 80 заводов общей мощностью 11,3 млн. тонн в год [2,3].

Успешность работы мини-НПЗ в значительной мере зависит от применения высокотехнологичных современных методов переработки нефти. Одним из практических применений разрабатываемой технологии прямого крекирования сырой нефти в неорганических расплавах может быть как раз ее использование в работе мини-НПЗ как эффективного дополнения традиционных технологических схем таких производств.

**Цель.** Оценить ожидаемый экономический эффект от внедрения в структуру мини-НПЗ нового разрабатываемого процесса крекинга сырой западносибирской нефти в расплаве хлоридов металлов.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: предложить принципиальную технологическую схему для разрабатываемого процесса; оценить затраты основных энергоресурсов; оценить прибыль от реализации производимых нефтепродуктов; рассчитать возможный срок окупаемости капитальных затрат на строительство предприятия.

**Изложение основного материала.** Проблема сбыта, подготовки и переработки нефти на малодобитных месторождениях решается очень медленно, крупные компании не идут на допуск владельцев небольших объемов нефти к ее подготовке, приему в товарные парки и дальнейшей прокачке по трубопроводам. Вместе с тем обеспечение отдаленных регионов качественными нефтепродуктами до настоящего времени решается,

в основном, путем их дорогостоящего сезонного завоза. Поэтому наличие сырья в этих районах и потребность в готовых нефтепродуктах является веским аргументом в пользу строительства и эксплуатации мини-НПЗ. Кроме того, наличие мини-НПЗ может удовлетворять собственные потребности в топливе крупного предприятия, что обеспечивает надежность его работы.

Мини-НПЗ не находят широкого применения потому, что проекты, которые предлагаются для строительства, или устаревшие и выдающие некачественную продукцию, но имеющие приемлемую цену, или производящие нефтепродукты удовлетворительного качества, но имеющие очень высокую цену и довольно большие мощности, которые не всегда можно загрузить имеющимся сырьем. Ни то, ни другое не является стимулом для развития малотоннажной переработки нефти.

Для мини-НПЗ невозможно использовать уменьшенные копии проектов, используемых на крупных нефтеперерабатывающих предприятиях, как для атмосферной, так и для вакуумной перегонки. Более того, если проекты атмосферных установок существуют, то установок малой производительности для вакуумной переработки просто нет. Поэтому все мини-НПЗ имеют только атмосферную перегонку нефти, при которой глубина переработки довольно низкая, а попытки увеличить глубину за счет повышения температуры переработки резко снижают качество дизельного топлива. Так же большой проблемой для мини-НПЗ является подготовка нефти. Наличие солей и механических примесей очень быстро выводит из строя оборудование и негативно влияет как на сам производственный процесс, так и на качество нефтепродуктов [4].

Однако в ряде отдельных случаев мини-НПЗ являются предприятиями с высокой прибылью. Владельцы таких предприятий поставляют свои полуфабрикаты для окончательной переработки крупным НПЗ, либо самостоятельно занимаются производством товарных нефтепродуктов, используя топливные присадки.

При этом рентабельность работы мини-НПЗ достигает 35 % при сроке окупаемости общих затрат в 1-1,5 года [5].

Применение нефтей в качестве крекируемого сырья целесообразно, так как они доступны, дешевы, не требуют специальной предварительной подготовки и транспортабельны на любые

экономически оправданные расстояния. Кроме того, использование сырых нефтей для крекинга не связано с конкретными схемами нефтеперерабатывающих заводов, от ритмичной работы и возможности которых во многом зависит своевременное и полное обеспечение сырьем нефтехимических производств. Решение проблемы использования сырых нефтей и тяжелых нефтепродуктов для крекинга до последних лет встречает трудности из-за отсутствия надежных методов и технологических систем для их переработки.

На протяжении нескольких десятков лет как в нашей стране, так и за рубежом разрабатываются различные технологические системы крекинга, для которых повышенное коксообразование не препятствует непрерывной переработке тяжелых нефтепродуктов и сырых нефтей с высоким выходом светлых нефтепродуктов. Наиболее перспективными из вновь разрабатываемых процессов являются контактные процессы деструктивной переработки с применением различных теплоносителей (водяного пара, движущихся твердых порошкообразных или гранулированных материалов, расплавов металлов и др.) и катализаторов, которые способны эффективно работать в условиях непрерывного повышенного коксообразования (специальные катализаторы, устойчивые к закоксовыванию, расплавы катализаторов и т.п.) [6].

В работах [7,8] показана возможность повышения выхода светлых нефтепродуктов на 17-22% при переработке сырой западносибирской нефти путем ее крекинга в расплавленных металлах и солях. Предлагаемая технология проста в практической реализации и имеет ряд преимуществ: не требуется специальная подготовка сырья; получаемые продукты превосходят по качеству прямогонные бензиновые и дизельные фракции; реакторный узел крекинга работает в автотермическом режиме (минимальная затрата энергоносителей); относительно низкая себестоимость оборудования при высокой его производительности. Крекинг нефти проводят при температурах 450-550 °С преимущественно в расплавах бинарных эвтектических смесей LiCl, KCl, NaCl, MgCl<sub>2</sub>, CaCl<sub>2</sub>, CuCl, ZnCl<sub>2</sub>, FeCl<sub>3</sub> при атмосферном давлении.

На рис. 1 и 2 представлены традиционная и предлагаемая принципиальные технологические схемы мини-НПЗ.

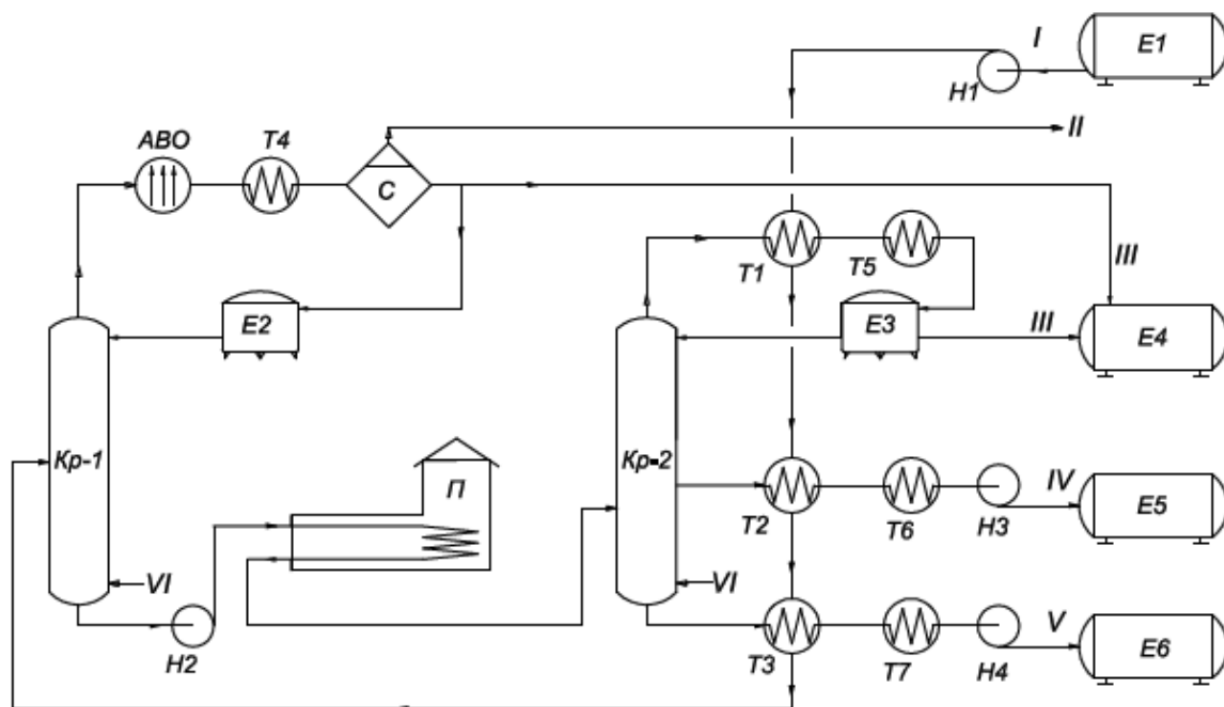


Рис. 1. Принципиальная технологическая схема традиционного мини-НПЗ.

I – сырая нефть, II – газы, III – бензиновая фракция, IV – дизельная фракция, V – мазут, VI – водяной пар.  
E1-E6 – емкости, H1-H4 – насосы, T1-T7 – теплообменники, Кр1-Кр2 – колонны ректификационные, С – сепаратор,  
П – печь, АВО – аппарат воздушного охлаждения

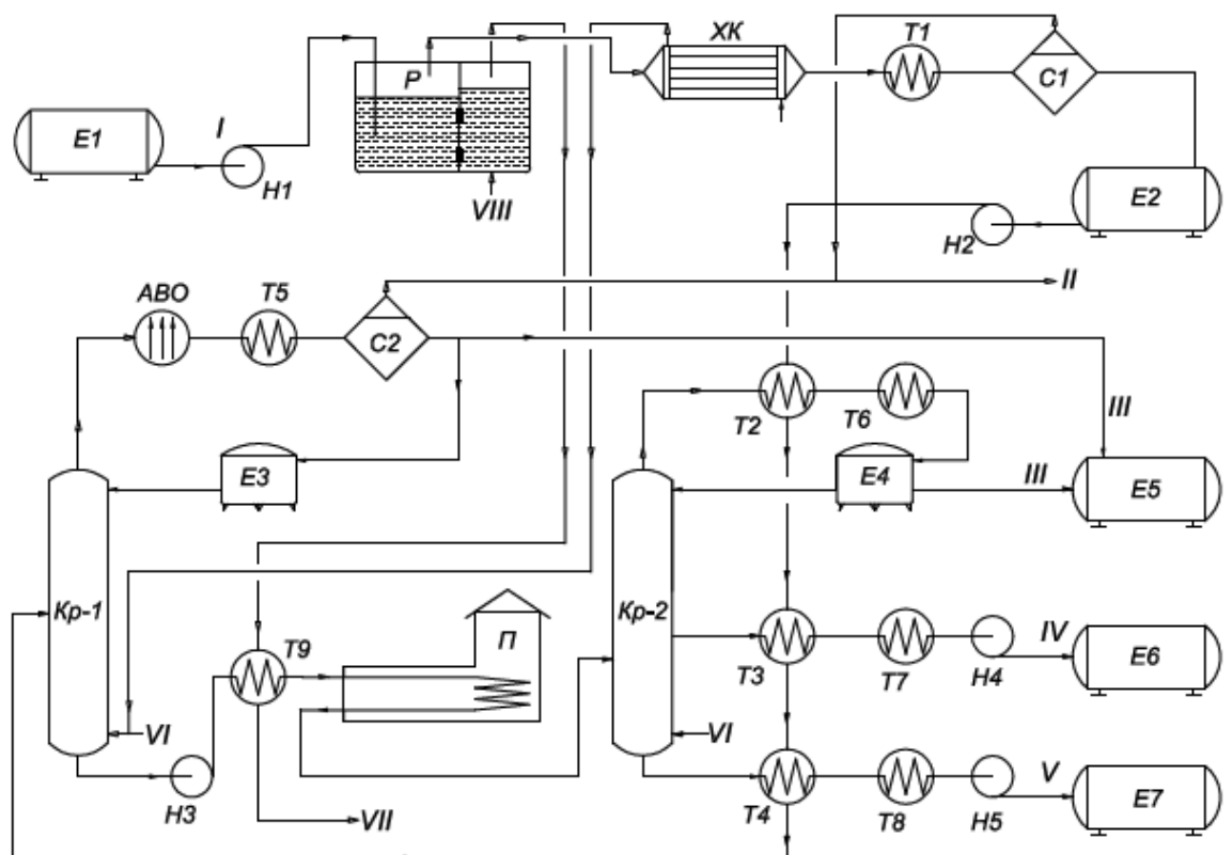


Рис. 2. Принципиальная технологическая схема предлагаемого мини-НПЗ. I – сырая нефть, II – газы,  
III – бензиновая фракция, IV – дизельная фракция, V – мазут, VI – водяной пар, VII – газы окисления, VIII – воздух.  
E1-E7 – емкости, P – реактор, XK – холодильник-конденсатор, H1-H5 – насосы, T1-T9 – теплообменники,  
Кр1-Кр2 – колонны ректификационные, C1-C2 – сепараторы, П – печь, АВО – аппарат воздушного охлаждения

Общий выход продуктов по обеим схемам представлен в таблице 1.

Таблица 1

**Выход продуктов при переработке 1 т сырой нефти**

Продукты	Выход, кг	
	Традиционный процесс [9]	Переработка в расплаве [7,8]
Газы	11	45
Бензиновая фракция	180	235
Дизельная фракция	289	420
Мазут	520	–
Газойлевая фракция	–	202
Твердые продукты (кокс)	–	98*
Итого:	1000	1000

\* кокс расходуется для обеспечения работы реактора с расплавом в автотермическом режиме

Таблица 2

**Расход основных энергоресурсов на переработку 1 т нефти**

Ресурс	Традиционный процесс [10]		Переработка в расплаве [7,8]	
	Натуральное выражение	Денежное выражение, грн.	Натуральное выражение	Денежное выражение, грн.
Электроэнергия, кВт·ч	10	12,34	7	8,64
Насыщенный водяной пар, кг	170	119,00	160	112,00
Мазут, кг	20	138,00	16	110,40
Охлаждающая вода, м <sup>3</sup>	6	44,82	5	37,35
Итого:		314,16		268,39

Таблица 3

**Прибыль от реализации основных продуктов переработки 1 т нефти**

Продукт	Традиционный процесс		Переработка в расплаве	
	Натуральное выражение, кг	Денежное выражение, грн.	Натуральное выражение, кг	Денежное выражение, грн.
Бензиновая фракция	180	1944,00	235	2538,00
Дизельная фракция	289	3150,10	420	4578,00
Мазут	520	3588,00	–	–
Газойлевая фракция	–	–	202	1575,60
Итого:		8682,10		8691,60

**Результаты исследований.** Основной вклад в определение рентабельности мини-НПЗ вносят доходы от реализации жидких нефтепродуктов – бензиновой и дизельной фракций, мазута, газойлевой фракции. Реализация газообразных продуктов, полученных по описанным технологиям, не вносит существенных изменений в экономические показатели предприятия, а зачастую и вовсе не производится – полученный газ используют как топливо непосредственно на установках. Ниже представлены расчетные данные о расходе основных энергоресурсов (табл. 2) и оценка ожидаемой прибыли от реализации основных продуктов переработки 1 т сырой нефти (табл. 3) для традиционной схемы мини-НПЗ и предлагаемой. В расчете использованы средние рыночные цены на энергоресурсы и нефтепродукты в ноябре 2014 г. на Украине.

Следует отметить, что при переработке нефти в расплавах бензиновая и дизельная фракции имеют более высокое качество, чем аналогичные фракции, полученные атмосферной перегонкой нефти. Массовое содержание общей серы не превышает

0,02% в бензиновой и 0,4% в дизельной фракциях. Октановое число по исследовательскому методу бензиновой фракции составляет 82-89 пунктов (для прямогонных бензинов этот показатель равен 60-65 пунктов). То есть для получения товарного бензина из бензиновой фракции, полученной при переработке нефти в расплаве, требуется значительно меньшее количество дорогостоящих присадок и других компонентов бензина. Наличие этих факторов не учитывалось в проведенных расчетах, т.к. на основании лишь экспериментальных данных невозможно с удовлетворительной точностью оценить изменение экономических показателей производства с мощностью промышленной установки.

Затраты на строительство нефтеперерабатывающего завода малой мощности (до 1 млн. тонн в год) зависят, главным образом, от выбора оборудования, обустройства сырьевых и товарных парков, доступности транспортного обслуживания и др. В среднем капитальные затраты на строительство мини НПЗ с традиционной схемой переработки мощностью 100 тыс. тонн в год

составляют около 8 млн. гривен [1,4]. Капитальные затраты при строительстве мини НПЗ с блоком предварительного крекинга нефти в реакторе с расплавом той же мощности составляют 9,5 млн. гривен. С учетом энергоресурсных затрат и прибыли от реализации продуктов (табл. 2,3) при цене нефти \$75 за баррель (при курсе 15,2 грн. за \$1) сроки окупаемости мини НПЗ составят 14 и 9 месяцев соответственно.

**Выводы.** Анализируя полученные данные, можно сделать следующие выводы:

1. Предложена новая энергоэффективная усовершенствованная технологическая схема мини НПЗ, базирующаяся на процессе крекинга сырой нефти в неорганических расплавах.
2. Затраты основных энергетических ресурсов на переработку сырья снижаются на 14,6 %.
3. Прибыль от реализации получаемых нефтепродуктов увеличивается на 950 тыс. грн. в год при производственных мощностях 100 тыс. тонн в год.
4. Срок окупаемости капитальных затрат на строительство производства снижается с 14 до 9 месяцев или более чем в 1,5 раза.

#### Л и т е р а т у р а

1. Высокотехнологичные мини НПЗ [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://www.intech-gmbh.ru/mini\\_oil\\_refinery\\_plants.php](http://www.intech-gmbh.ru/mini_oil_refinery_plants.php)
2. Нефтеперерабатывающая промышленность России [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Нефтеперерабатывающая\\_промышленность\\_России](https://ru.wikipedia.org/wiki/Нефтеперерабатывающая_промышленность_России)
3. Нефтеперерабатывающая промышленность Украины [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Нефтеперерабатывающая\\_промышленность\\_Украины](https://ru.wikipedia.org/wiki/Нефтеперерабатывающая_промышленность_Украины)
4. Мини нефтеперерабатывающий завод [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://mini-npz.com.ua/>
5. Петров С. И. Кому мешают мини НПЗ [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://tbu.com.ua/articles/komu\\_meshaut\\_mini\\_npz.html](http://tbu.com.ua/articles/komu_meshaut_mini_npz.html)
6. Тменов Д. Н. Интенсификация процессов пиролиза / Д. Н. Тменов, С. П. Гориславец. – Киев : Техника, 1978. – 192 с.
7. Черноусов Е. Ю. Исследование процесса крекинга углеводородного сырья в расплаве // Химия и современные технологии : междунар. науч.-техн. конф. : тезисы докл. – Днепропетровск, 2013. – Т. 2. – С. 28 - 29.
8. Аверкина Е. А. Исследование каталитических свойств расплава в процессе крекинга сырой нефти / Аверкина Е. А., Черноусов Е. Ю., Гликин М. А. // Поступ в нафтогазопереробній та нафтохімічній промисловості : междунар. науч.-техн. конф. : тезисы докл. – Львов, 2014. – С. 31.
9. Технология, экономика и автоматизация процессов переработки нефти и газа : учеб. пособие / С. А. Ахметов, М. Х. Ишмияров, А. П. Веревкин, Е. С. Докучаев, Ю. М. Мальшев ; под ред. С. А. Ахметова. – М. : Химия, 2005. – 736 с.
10. Технические характеристики установок [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://mininpz.net/>

#### R e f e r e n c e s

1. Vyisokotehnologichnyie mini NPZ [Elektronnyiy resurs] – Rezhim dostupa: [http://www.intech-gmbh.ru/mini\\_oil\\_refinery\\_plants.php](http://www.intech-gmbh.ru/mini_oil_refinery_plants.php)
2. Neftepererabatyivayuschaya promyishlennost Rossii [Elektronnyiy resurs] – Rezhim dostupa: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Нефтеперерабатывающая\\_промышленность\\_России](https://ru.wikipedia.org/wiki/Нефтеперерабатывающая_промышленность_России)
3. Neftepererabatyivayuschaya promyishlennost Ukrainyi [Elektronnyiy resurs] – Rezhim dostupa: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Нефтеперерабатывающая\\_промышленность\\_Украины](https://ru.wikipedia.org/wiki/Нефтеперерабатывающая_промышленность_Украины)
4. Mini neftepererabatyivayuschiy zavod [Elektronnyiy resurs] – Rezhim dostupa: <http://mini-npz.com.ua/>
5. Petrov S. I. Komu meshayut mini NPZ? [Elektronnyiy resurs] – Rezhim dostupa: [http://tbu.com.ua/articles/komu\\_meshaut\\_mini\\_npz.html](http://tbu.com.ua/articles/komu_meshaut_mini_npz.html)
6. Tmenov D. N. Intensifikatsiya protsessov piroliza / D. N. Tmenov, S. P. Gorislavets. – Kiev : Tehnika, 1978. – 192s.
7. Chernousov E. Yu. Issledovanie protsessa krekinga uglevodorodnogo syrya v rasplave // Himiya i sovremennyye tehnologii : mezhdunar. nauch.-tehn. konf. : tezisyi dokl. – Dnepropetrovsk, 2013. – Т. 2. - S. 28 - 29.
8. Averkina E. A. Issledovanie kataliticheskikh svoystv rasplava v protsesse krekinga syroy nefiti / Averkina E. A., Chernousov E. Yu., Glikin M. A. // Postup v naftogazopererobnly ta naftohimichny promislivosti : mezhdunar. nauch.-tehn. konf. : tezisyi dokl. – Lvov, 2014. – S. 31.
9. Tehnologiya, ekonomika i avtomatizatsiya protsessov pererabotki nefiti i gaza : ucheb. posobie / S. A. Ah-metov, M. H. Ishmiyarov, A. P. Verevkin, E. S. Doku-chaev, Yu. M. Malyshev ; pod red. S. A. Ahmetova. – M. : Himiya, 2005. – 736 s.
10. Tehnicheskie harakteristiki ustanovok [Elektronnyiy resurs] – Rezhim dostupa: <http://mininpz.net/>

#### Глікін М. А., Черноусов Е. Ю. Деструктивна переробка вуглеводневої сировини в неорганічних розплавах. Техніко-економічна оцінка

*Проведена техніко-економічна оцінка одного з можливих практичних застосувань розроблюваного процесу деструктивної переробки вуглеводневої сировини в неорганічних розплавах - процесу прямого крекінгування сирової нафти на нафтопереробних підприємствах малої потужності. Запропоновано удосконалену принципову технологічну схему. У результаті розрахунків показано зниження виробничих витрат на 14,6%, підвищення річного прибутку на 950 тис. грн. при потужності установки 100 тис. тонн на рік і зниження термінів окупності в 1,5 рази.*

**Ключові слова:** деструктивна переробка, вуглеводнева сировина, розплав, ефективність, прибуток, термін окупності.

#### Glikin M. A., Chernousov E. Yu. Destructive processing of hydrocarbon feedstocks in inorganic melts. Technical and economic assessment

*The article discusses the potential use of the developed hydrocarbon feedstocks destructive refining technology in inorganic melts. The technical and economic assessment of crude oil direct cracking in low power oil refining enterprises is shown. The modern state of mini refineries is revealed. A comparison of the effectiveness of existing and proposed technological schemes has been carried out. On the basis of*

*technical information and material balance of technological schemes the costs of major energy resources and profit from the sale of the main obtained products are calculated. In this case, the production costs are reduced by 14.6%, and an increase in annual profits at installation power of 100 thousand tons of oil per year is 950 thousand UAH. Because of this, the payback period of capital costs for the installation construction is reduced from 14 to 9 months.*

**Keywords:** *destructive processing, hydrocarbon feedstock, melt, efficiency, profit, payback period.*

**Глікін Марат Аронович** – д.т.н., професор, завідувач кафедри технології органічних речовин, палива і полімерів, Технологічний інститут Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля (м. Северодонецьк), [maratglik@rambler.ru](mailto:maratglik@rambler.ru)

**Черноусов Євген Юрійович** – аспірант кафедри технології органічних речовин, палива і полімерів, Технологічний інститут Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля (м. Северодонецьк), [eychernousov@gmail.com](mailto:eychernousov@gmail.com)

*Рецензент:* **Суворін О. В.** – д.т.н., доцент.

Стаття подана 19.11.2014