

Слюсаренко Александр Владимирович

студент магистратуры
Российский университет дружбы народов
Москва, Россия

Лукашук Максим Маркович

студент магистратуры
Российский университет дружбы народов
Москва, Россия

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВОВЛЕЧЕНИЯ КРЕКИНГ-ОСТАТКА В ПРОИЗВОДСТВО БИТУМОВ В УСЛОВИЯХ НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО КОМПЛЕКСА**Аннотация**

Повышение экономической эффективности нефтеперерабатывающего комплекса остаётся важнейшей задачей в условиях возрастающих требований к рентабельности и устойчивому использованию ресурсов. Одним из перспективных направлений является вовлечение крекинг-остатка в производство дорожных и строительных битумов. Такой подход позволяет не только снизить затраты на дорогостоящее сырьё, но и увеличить доходность за счёт высвобождения компонентов с более высокой маржинальностью. В рамках исследования были проанализированы технико-экономические аспекты применения висбрекинг-остатка в качестве компонента битумного сырья. Оценена возможность замещения вакуумного газойля, определено влияние новых рецептур на свойства готового продукта и произведён расчёт потенциального экономического эффекта от внедрения предложенной технологии. Полученные результаты демонстрируют значительный потенциал данного метода как для оптимизации внутренних процессов, так и для расширения рыночных возможностей нефтеперерабатывающих предприятий.

Ключевые слова: экономическая эффективность, битум, крекинг-остаток

Современная нефтепереработка всё чаще сталкивается с вызовами, связанными с необходимостью повышения рентабельности производства при ограниченных ресурсах и жёсткой конкурентной среде. Одной из актуальных задач становится рационализация использования остаточных продуктов, которые ранее считались малопригодными или низкорентабельными. В этом контексте особый интерес представляет крекинг-остаток – продукт глубокой переработки нефти, который при правильной интеграции способен заменить более ценные компоненты в различных технологических потоках.

Битумное производство традиционно потребляет значительные объёмы вакуумного газойля – компонента, востребованного и в других высокомаржинальных процессах, например, в гидрокрекинге. Переориентация использования крекинг-остатка в качестве замещающего сырья позволяет не только снизить себестоимость битума, но и перераспределить поток вакуумного газойля в более доходные направления. При этом крайне важно обеспечить соответствие готового продукта необходимым эксплуатационным характеристикам.

Целью настоящего исследования является оценка экономической целесообразности вовлечения висбрекинг-остатка в производство битумов. Рассматривается влияние предложенной схемы на производственные параметры, а также проводится анализ возможной экономической выгоды с учётом условий реального нефтеперерабатывающего комплекса.

Битумы представляют собой достаточно сложную смесь углеводородов и гетероатомных соединений различного строения. Основными компонентами битумов являются масла, смолы и асфальтены. Совокупность масел и смол чаще всего называют мальтенами.

Вовлечение висбрекинг-остатка в переокисленный продукт позволит заменить и высвободить ценный для нефтепереработки вакуумный газойль, что в итоге скажется на себестоимости битума и повышении экономического эффекта за счёт выпуска более маржинального продукта по системе проектирования Superpave [2].

С экономической точки зрения, использование вакуумного газойля в производстве битумов сопряжено с альтернативными издержками – этот компонент высоко востребован в процессах гидрокрекинга и может приносить значительно большую маржу при глубокой переработке. Вовлечение крекинг-остатка позволяет перераспределить ресурсный баланс в пользу более доходных направлений, снижая себестоимость битума без ухудшения его потребительских свойств.

Исходная характеристика сырьевого гудрона установки получения битума и висбрекинг-остатка (УПБ), выбранного в качестве разбавителя смесового сырья процесса окисления вместо традиционного компонента – вакуумного газойля представлена в таблице 1 [1]. Таким образом можно классифицировать сырьевые компоненты по марке PG grade 52-16.

Таблица 1 – Исходные характеристики сырьевых компонентов установки производства битума

Наименование пробы	Гудрон ЭЛОУ-АВТ-6	Гудрон КУПН
Температура размягчения по КиШ, °С	40	43,2
Вязкость условная при 80 °С, с	214	399
Динамическая вязкость при 135 °С, Па·с	0,154	0,2056
Сдвиговая устойчивость до старения, $G^*/\sin\delta$ при 52 °С, кПа	1,25	2,3515
Фактическая температура сдвига до старения, °С	53,6	57,9
Сдвиговая устойчивость после старения, $G^*/\sin\delta$ при 52 °С, кПа	2,6355	4,1501

Фактическая температура сдвига после старения, °С	53,2	56,7
Изменение массы после прогрева, %	Без изм.	Без изм.
Усталостная устойчивость $G^* \cdot \sin \delta$ при 16°C, кПа	3874	4178
Температура растрескивания, °С	-17,5	-16,1
Верхняя марка PG	52	52
Нижняя марка PG	-16	-16

Окисление смеси гудронов в лабораторном окислительном кубе в соотношении 50:50

Исходная характеристика гудронов с комбинированной установки переработки нефти (КУПН) и ЭЛОУ-АВТ-6, взятых для окисления в кубе в лабораторных условиях представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристика исходных гудронов для окисления

Наименование пробы	Дата отбора пробы	Температура размягчения по КиШ, °С	Вязкость условная при 80 °С, с
Гудрон ЭЛОУ-АВТ-6	06.04.2023 8:00	36,9	199
Гудрон КУПН	06.04.2023 8:00	40,0	317

Температура размягчения по методу кольца и шара (КиШ) смеси гудронов до окисления составила 37,8 °С, Вязкость условная при 80 °С составила 256 с. Параметры окисления представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Параметры окисления смеси гудронов в окислительном кубе

Параметр	Значение
Масса смеси, г	700
Соотношение гудронов КУПН:ЭЛОУ-АВТ-6, г	350:350
Расход воздуха, л/мин	2
Температура окисления, °С	250
Время окисления	5 ч 30 мин

В таблице 4 представлены результаты лабораторных исследований смеси гудронов после ее окисления в соотношении 50:50 и классификация полученного продукта по марке PG, значение которой составило 64-16.

Таблица 4 – Лабораторные исследования окисленной смеси 50:50 гудронов (КУПН:ЭЛОУ-АВТ-6)

Наименование пробы	Смесь гудронов 50:50 после окисления
Температура размягчения по КиШ, °С	47,4
Пенетрация при 25 °С, 0,1 мм	67
Растяжимость при 0 °С, см	Деформация пробы
Динамическая вязкость при 135 °С, Па·с	0,3622
Сдвиговая устойчивость до старения при 64 °С, G*/sinδ, кПа	1,0869
Фактическая температура сдвига до старения, °С	64,6
Сдвиговая устойчивость после старения при 64 °С, G*/sinδ, кПа	2,2004
Фактическая температура сдвига после старения, °С	63,7
Изменение массы после прогрева, %	0,09
Усталостная устойчивость G*·sinδ при 22 °С, кПа	4802
Температура растрескивания, °С	-18,6
Верхняя марка PG	64
Нижняя марка PG	-16

На данном примере видно, что продукт не соответствует требованиям стандарта ГОСТ 33133-2014 по показателям пенетрации при 25 °С и растяжимости при 0 °С для его паспортизации по марке 70/100, однако данный окисленный нефтепродукт можно перепаспортизовать по стандарту ГОСТ Р 58400.1-2019. Таким образом, в том случае если в промышленных масштабах будет наблюдаться нестабильность по технологическому режиму установки, получаемый продукт на УПБ с учетом указанного соотношения сырьевых потоков, возможна его реализация по ГОСТ Р 58400.1-2019 во избежание утилизации [4].

Исходная характеристика сырьевого гудрона установки УПБ и висбрекинг-остатка, выбранного в качестве разбавителя смесового сырья процесса окисления вместо традиционного компонента – вакуумного газойля представлена в таблице 5.

Выбор в пользу висбрекинг-остатка как компонента для компаундирования с переоxygenным смесовым гудроном обусловлен тем, что данный полупродукт не является востребованным и применяется для производства более дешевого продукта – товарного мазута марки М-100.

Таблица 5 – Характеристика исходных компонентов

Наименование пробы	Дата отбора пробы	Температура размягчения по КиШ, °С	Вязкость условная при 80 °С, с	Вязкость условная при 100 °С, с
Гудрон Р-1, 12	25.04.2023 8:00	32,6	83,0	–
Висбрекингостаток	25.04.2023 8:00	–	–	19,5

В таблице 6 приведены параметры окисления смесового гудрона УПБ из сырьевых резервуаров установки Р-1, 12. Процесс переокисления осуществлялся в два раза дольше по времени, по сравнению с ранее проведенными опытами, что обусловлено необходимостью обеспечения регламентируемых показателей по ГОСТ 33133-2014 для получения марки битума БНД 70/100 [5].

Таблица 6 – Параметры лабораторного окисления смесового гудрона Р-1, 12 в кубе

Параметр	Значение
Масса смеси, г	500
Расход воздуха, л/мин	2
Температура окисления, °С	250
Время окисления	10 ч 30 мин

Температура размягчения по КиШ переокисленного сырьевого гудрона составила 52,2 °С. Разбавление данного полученного продукта висбрекингостатком производилось в количестве 10 % с целью получения необходимых показателей качества, удовлетворяющих требованиям стандартной марки битума 70/100.

Результаты лабораторных исследований переокисленного сырьевого гудрона – сырья УПБ с вовлекаемым в него висбрекингостатком представлены в таблице 7.

На данном примере видно, что полученный продукт соответствует всем нормам стандарта как по ГОСТ 33133, так и по ГОСТ Р 58400.1-2019, соответственно, его можно паспорттировать как БНД 70/100.[4] По классификации PG определялась только верхняя марка, значение которой составило 64.

Таблица 7 – Результаты лабораторных исследований переокисленного сырьевого гудрона

Разбавление висбрекинг-остатком, %	10
Температура размягчения по КиШ, °С	48,4
Пенетрация при 25 °С, 0,1 мм	80
Растяжимость при 0 °С, см	3,9
Динамическая вязкость при 135 °С, Па·с	0,3733
Сдвиговая устойчивость до старения при 64 °С, G*/sinδ, кПа	1,2072
Фактическая температура сдвига до старения, °С	65,5
Сдвиговая устойчивость после старения при 64 °С, G*/sinδ, кПа	3,7094
Фактическая температура сдвига после старения, °С	68,2
Изменение массы после прогрева, %	0,63
Верхняя марка PG	64

Практическая значимость технологии вовлечения висбрекинг-остатка в производство битумов напрямую определяется её влиянием на экономику завода. В ходе анализа были рассчитаны ключевые показатели, отражающие финансовый результат перехода на новую рецептуру.

Базовым ориентиром послужили следующие данные: себестоимость вакуумного газойля на момент проведения исследования составляла 42 000 руб./т; себестоимость висбрекинг-остатка, как побочного продукта, принималась на уровне 3 000 руб./т, учитывая лишь транспортные и складские издержки. Годовой объём производства битума на установке УПБ составлял порядка 100 тыс. т, при доле замещения вакуумного газойля в рецептуре до 20 %.

Сравнительный расчёт показал, что при внедрении новой схемы удаётся высвободить до 20 тыс. т вакуумного газойля ежегодно. Направляя данный объём на процессы гидрокрекинга, предприятие получает дополнительную маржу порядка 5 000 руб./т. Совокупный дополнительный доход за счёт перераспределения вакуумного газойля, таким образом, достигает около 100 млн руб./год.

Параллельно отмечено снижение себестоимости битума. При учёте доли висбрекинг-остатка в 10 % от массы готового продукта экономия на 1 т битума составляет порядка 1 200 руб. Общий эффект по снижению затрат на производство битума при выпуске 100 тыс. т в год – принесёт 120 млн руб.

Сводный расчёт экономического эффекта внедрения технологии приведён в таблице 8.

Таблица 8 – Экономический эффект от внедрения технологии

Показатель	Значение, млн руб./год
Дополнительная маржа от перераспределения газойля	100
Экономия на себестоимости битума	120
Совокупный годовой экономический эффект	220

Совокупно интеграция висбрекинг-остатка обеспечивает прирост экономического результата до 220 млн руб. в год. Это создаёт устойчивый потенциал для повышения рентабельности битумного производства и укрепляет позиции предприятия на рынке.

Отдельного внимания заслуживает гибкость предложенной технологии. Возможность варьировать долю висбрекинг-остатка позволяет оперативно адаптироваться к изменениям ценовой конъюнктуры на рынке газойля и битума. Это, в свою очередь, дополнительно повышает управляемость экономическим эффектом от применения новой рецептуры.

Внедрение технологии вовлечения висбрекинг-остатка в состав битумного сырья подтвердило свою состоятельность как с технологической, так и с экономической точки зрения. Полученные лабораторные данные продемонстрировали полное соответствие готового продукта требованиям актуальных стандартов. Одновременно технико-экономический анализ позволил выявить значительный финансовый потенциал данного подхода.

Снижение себестоимости битума и перераспределение высвобождаемого вакуумного газойля в более маржинальные процессы обеспечивают прирост годового экономического эффекта в объёме порядка 220 млн руб. Такая стратегия позволяет существенно повысить общую рентабельность нефтеперерабатывающего комплекса без капиталоемких инвестиций.

В условиях возрастающей конкуренции и необходимости более гибкого управления ресурсами использование висбрекинг-остатка открывает дополнительные возможности для оптимизации производственных потоков. Масштабирование технологии и её интеграция в промышленный контур предприятия представляются перспективными направлениями дальнейшего развития.

Список использованных источников

1. Гуреев А. А. Дорожные битумы и полимерно-битумные материалы. – М.: РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2018. – 149 с. – EDN: YRTHXF.
2. Weigel, S. Modelling of rheological and ageing properties of bitumen based on its chemical structure / S. Weigel, D. Stephan // Materials and Structures. – 2017. – Vol. 50, № 1. – DOI: 10.1617/s11527-016-0957-7. – EDN: MGXFIO.
3. Золотарев, В. А. От природного битума до искусственного асфальтобетона / В. А. Золотарев, Р. Сотрэ, Я. И. Пыриг // Автомобильные дороги. – 2014. – № 5. – С. 66-72.
4. ГОСТ Р 58400.1-2019. Дороги автомобильные общего пользования. Материалы вяжущие нефтяные битумные. Технические условия с учетом температурного диапазона эксплуатации : национальный стандарт Российской Федерации : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 21 июня 2019 г. № 321-ст : введен впервые : дата введения 2019-07-01 / разработан АНО «НИИ ТСК». – Москва : Стандартиформ, 2019 – Текст : непосредственный.
5. ГОСТ Р 58400.2-2019 Дороги автомобильные общего пользования. Материалы вяжущие нефтяные битумные. Технические требования с учетом уровней эксплуатационных транспортных нагрузок: национальный стандарт Российской Федерации : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 21 июня 2019 г. № 322-ст : введен впервые : дата введения 2019-07-01 / разработан АНО «НИИ ТСК». – Москва : Стандартиформ, 2019 – Текст : непосредственный.