



**РАЗРАБОТКА И ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА  
МОДИФИЦИРОВАННОГО БИТУМА ДЛЯ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ**

**Ж. С. Садуакасова<sup>1\*</sup>, П. Кропачев<sup>1</sup>, А. Жакина<sup>2</sup>, М. Каракасу<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>КарТУ им. Абылкаса Сагинова, г. Караганда, Казахстан;

<sup>2</sup>ТОО «Институт органического синтеза и углехимии Республики Казахстан», Казахстан;

<sup>3</sup>Ескишехирский университет им. Османгазы, Турция

\*Корреспондент автор: [zhansulu.saduakasova@mail.ru](mailto:zhansulu.saduakasova@mail.ru)

**Аннотация.** В данной работе представлены результаты исследования технологии производства модифицированного битума для асфальтобетонных покрытий с использованием вторичного сырья на примере комплексной установки «ЭЛОУ-АВТ-БО» битумного завода ТОО «СП «CASPI BITUM». Проанализированы характеристики исходного сырья, технологические параметры процесса окисления гудрона, а также влияние компаундирования с затемнённой вакуумной фракцией на качество конечного продукта. Представлены результаты лабораторных испытаний, подтверждающие соответствие получаемых битумов марок БНД 70/100 и БНД 100/130 требованиям стандарта СТ РК 1373-2013. Установлено, что применение вторичного сырья в виде вакуумных дистиллятов позволяет оптимизировать технологические параметры производства и улучшить эксплуатационные характеристики битумных вяжущих. Проведён анализ экологических и экономических аспектов использования вторичного сырья в производстве битума, разработаны рекомендации по оптимизации технологического процесса.

**Ключевые слова:** модифицированный битум, вторичное сырьё, окисление гудрона, компаундирование, асфальтобетонные покрытия, вакуумная перегонка, затемнённая вакуумная фракция, БНД 70/100, БНД 100/130, технологический регламент.

## **1. Введение**

### **1.1. Актуальность модификации битума**

Битумы являются одним из наиболее востребованных инженерно-строительных материалов, широко применяемых при строительстве и ремонте дорожных и аэродромных покрытий. По данным технологического регламента установки «ЭЛОУ-АВТ-БО», мощность производства составляет 1 000 000 тонн сырой нефти в год, при этом номенклатура выпускаемой продукции включает битум дорожный марок БНД 70/100 и БНД 100/130 в объёме 406 550 тонн в год [1].

Современные требования к качеству дорожных покрытий предъявляют повышенные стандарты к эксплуатационным характеристикам битумных вяжущих. В Казахстане, как и в России, к дорожным битумам предъявляются более высокие требования в отношении морозо- и теплостойкости, а также к адгезионным свойствам. За рубежом к дорожным битумам предъявляются более жёсткие требования по показателю растяжимости при 25°C [2].

Дорожные покрытия из асфальтобетона подвергаются воздействию различных факторов: температурных перепадов, влаги, механических нагрузок от транспортных средств, ультрафиолетового излучения. В связи с этим к битумным вяжущим предъявляются повышенные требования по комплексу физико-механических свойств, обеспечивающих долговечность и надёжность дорожных конструкций.

#### 1.2. Проблемы традиционных битумных вяжущих

• Традиционные битумные вяжущие, получаемые путём окисления гудрона, имеют ряд ограничений, связанных с:

- Зависимостью качества от природы исходного сырья;
- Необходимостью строгого контроля температурных режимов процесса окисления;
- Ограниченными возможностями регулирования фракционного состава гудрона;
- Повышенным содержанием парафиновых углеводородов, негативно влияющих на растяжимость битумов.

Согласно технологическому регламенту, повышенное содержание твёрдых парафинов (выше 3% вес.) в сырье понижает растяжимость битумов, а в ходе процесса приводит к повышению расхода воздуха и продолжительности окисления [3]. Это существенно ограничивает возможности получения битумов с заданными характеристиками и увеличивает энергозатраты на производство.

Традиционные методы производства битума не всегда позволяют достичь оптимального соотношения между твёрдостью и эластичностью материала, что критично для эксплуатации дорожных покрытий в условиях резких климатических изменений. Особенно актуальной является проблема обеспечения морозостойкости битумов при сохранении их теплостойкости.

#### 1.3. Роль вторичного сырья и отходов

В контексте современной нефтепереработки особое значение приобретает рациональное использование вторичного сырья и промежуточных продуктов. На установке «ЭЛОУ-АВТ-БО» реализован подход к комплексному использованию побочных продуктов вакуумной перегонки, включая:

- Затемнённую вакуумную фракцию (ЗВФ) – четвёртый вакуумный дистиллят;
- Тяжёлый вакуумный газойль (ТВГ);
- Лёгкий вакуумный газойль (ЛВГ).

Затемнённая вакуумная фракция (ЗВФ) выводится с 5-й полуглухой тарелки вакуумной колонны поз.Т-1102 и используется для компаундирования с гудроном перед подачей в блок окисления [4].

Использование вторичного сырья в производстве битума имеет несколько преимуществ. Во-первых, это позволяет рационально использовать ресурсы и снизить количество отходов нефтепереработки. Во-вторых, компаундирование с ЗВФ позволяет регулировать фракционный состав сырья для окисления и улучшать качество конечного продукта. В-третьих, данный подход способствует снижению себестоимости производства за счёт использования внутривозводских побочных продуктов.

#### 1.4. Цель исследования

Целью настоящего исследования является разработка и оптимизация технологии производства модифицированного битума для асфальтобетонных покрытий с использованием вторичного сырья в виде затемнённой вакуумной фракции.

Задачи исследования: 1. Анализ характеристик исходного сырья и полимерных компонентов; 2. Исследование технологических параметров процесса окисления гудрона; 3. Оценка влияния компаундирования с ЗВФ на качество битума; 4. Разработка рекомендаций по оптимизации производственного процесса; 5. Анализ экологических и экономических аспектов применения вторичного сырья.

## 2. Анализ исходных материалов

### 2.1. Характеристика битума

Нефтяные битумы представляют собой остаточные продукты переработки нефти, имеющие твёрдую или вязкую консистенцию и состоящие из углеводородов и гетероатомных соединений. Элементный состав битумов следующий (% масс.): углерод 80-85; водород 8,0-11,5; кислород 0,2-4,0; сера 0,5-7,0; азот 0,2-0,5 [5].

Нефтяные битумы являются дисперсными системами, в которых дисперсионной средой являются масла и смолы, а дисперсной фазой – асфальтены. В зависимости от степени агрегирования и пептизации нефтяные битумы образуют различные мицеллярные системы: золи, золи-гели, гели.

Структура битума определяется соотношением между компонентами: асфальтенами, смолами и маслами. При преобладании масел и смол битум имеет зольную структуру, характеризующуюся низкой вязкостью и высокой текучестью. При увеличении содержания асфальтенов структура переходит в гелевую, что приводит к повышению твёрдости и снижению пластичности. Оптимальные свойства для дорожных битумов достигаются при золь-гелевой структуре, обеспечивающей сбалансированное сочетание твёрдости и эластичности.

### 2.2. Характеристика исходной нефти

Источником сырья для производства дорожных битумов является месторождение нефти Каражанбас Западного Казахстана. Физико-химические свойства сырой нефти месторождения Каражанбас представлены в таблице 1.

**Таблица 1** – Физико-химические свойства сырой нефти

Показатель	Значение
Плотность при 20°C, кг/м <sup>3</sup>	937,1
Массовая концентрация хлористых солей, мг/дм <sup>3</sup> , не более	100
Содержание воды, % масс., не более	0,5
Массовая доля механических примесей, % масс., не более	0,05
Содержание серы, % масс., не более	2,1

Классификация нефти по ГОСТ Р 51858-2002: класс 3 (высокосернистая), тип 4 (битумная), группа 1, вид 1.

Пригодность нефти для получения из неё битума определяется соотношением:

$$A + C - 2П > 0$$

где А, С и П – содержание в нефти соответственно асфальтенов, смол и парафина, % масс.

Если левая часть этого неравенства меньше нуля, то нефть считается непригодной для получения из неё битума хорошего качества.

Нефть месторождения Каражанбас относится к битумным нефтям с повышенным содержанием серы. Высокое содержание серы в нефти влияет на процесс окисления и свойства получаемого битума. При окислении серосодержащих соединений образуются сульфокислоты и другие продукты, которые могут влиять на адгезионные свойства битума. Однако при соблюдении оптимальных технологических режимов возможно получение битума, соответствующего требованиям стандартов.

### 2.3. Описание вторичного сырья и полимерных компонентов

#### 2.3.1. Гудрон (кубовый продукт вакуумной колонны)

Гудрон является основным сырьём для производства окисленных битумов. Характеристики гудрона представлены в таблице 2.

**Таблица 2** – Характеристики гудрона

Показатель	Значение
Плотность при 20°C, кг/м <sup>3</sup>	999
Температура вспышки в открытом тигле, °C	167
Вязкость кинематическая при 20°C, мм <sup>2</sup> /сек	18800

Показатель	Значение
Вязкость кинематическая при 100°C, мм <sup>2</sup> /сек	228
Массовая доля серы, % масс., не более	3,39
Температура начала кипения, °C, не более	495
Отгоняется выше 500°C, % масс., не менее	99,5
Температура размягчения по КиШ, °C	40-50

Высокая вязкость гудрона при 20°C (18800 мм<sup>2</sup>/сек) свидетельствует о его значительной плотности и содержании тяжёлых углеводородов. Температура размягчения в диапазоне 40-50°C указывает на то, что гудрон при нормальных условиях находится в твёрдом или вязком состоянии. Высокое содержание фракций, кипящих выше 500°C (99,5%), подтверждает остаточный характер данного продукта.

### 2.3.2. Затемнённая вакуумная фракция (ЗВФ)

Затемнённая вакуумная фракция (ЗВФ) – четвёртый вакуумный дистиллят, выводимый с 5-й полуглухой тарелки вакуумной колонны поз. Т-1102. Характеристики ЗВФ представлены в таблице 3.

**Таблица 3** – Характеристики затемнённой вакуумной фракции

Показатель	Значение
Плотность при 20°C, кг/м <sup>3</sup>	962,6
50% перегоняется при температуре, °C, не более	489
96% перегоняется при температуре, °C, не более	565
Вязкость кинематическая при 20°C, мм <sup>2</sup> /сек	24
Содержание серы, % масс.	1,78
Температура вспышки, °C	164

ЗВФ используется для компаундирования с гудроном перед подачей в блок окисления. Смесь гудрона с ЗВФ направляется в блок окисления (БО) для получения окисленного битума [7].

Сравнение характеристик гудрона и ЗВФ показывает существенные различия в вязкостных свойствах. Вязкость ЗВФ при 20°C составляет всего 24 мм<sup>2</sup>/сек, что в 780 раз ниже вязкости гудрона. Это позволяет использовать ЗВФ в качестве регулятора текучести при компаундировании. Более низкое содержание серы в ЗВФ (1,78% против 3,39% в гудроне) также способствует улучшению качества конечного продукта.

### 2.3.3. Тяжёлый вакуумный газойль (ТВГ)

Тяжёлый вакуумный газойль выводится с полуглухой тарелки, расположенной под 4-м пакетом насадок вакуумной колонны поз. Т-1102. Характеристики ТВГ представлены в таблице 4.

**Таблица 4** – Характеристики тяжёлого вакуумного газойля

Показатель	Значение
Плотность при 20°C, кг/м <sup>3</sup>	934,2
50% перегоняется при температуре, °C, не более	431
90% перегоняется при температуре, °C, не более	470
Вязкость кинематическая при 20°C, мм <sup>2</sup> /сек	313
Содержание серы, % масс.	1,7
Температура вспышки, °C	155

ТВГ занимает промежуточное положение между ЗВФ и гудроном по вязкостным характеристикам. Его использование в компаундировании позволяет дополнительно регулировать свойства сырья для окисления. Температура вспышки ТВГ (155°C) близка к температуре вспышки ЗВФ, что указывает на схожую летучесть этих фракций.

#### 2.4. Функции и влияние вторичного сырья на свойства битума

Утяжеление гудрона путём компаундирования с вакуумной затемнённой фракцией позволяет одновременно снижать его парафинистость и повышать ароматизированность, а также регулировать фракционный состав гудрона, направляемого на окисление.

Согласно технологическому регламенту, часть ЗВФ после теплообменника поз.Е-1112 направляется на смешение с гудроном на выходе поз.Е-1115. Смесь гудрона с ЗВФ направляется в блок окисления для получения целевого продукта – окисленного битума.

Влияние компаундирования на свойства битума:

1. Снижение парафинистости – добавление ароматизированной ЗВФ снижает содержание парафиновых углеводородов в сырье для окисления. Повышенное содержание парафинов негативно влияет на растяжимость битума и ухудшает его низкотемпературные свойства.

2. Улучшение растяжимости – пенетрация тем меньше, а растяжимость тем больше, чем выше глубина отбора масляных фракций из мазута. Компаундирование позволяет регулировать это соотношение и достигать требуемых показателей растяжимости.

3. Регулирование вязкости – ЗВФ позволяет регулировать вязкостные характеристики гудрона перед окислением. Это важно для обеспечения оптимальных условий окисления и получения битума с заданной пенетрацией.

4. Оптимизация температуры размягчения – компаундирование позволяет достичь требуемого соотношения «температура размягчения – пенетрация», что критично для обеспечения теплостойкости битума.

### 3. Технология производства модифицированного битума

#### 3.1. Общая схема производства

Комплексная установка «ЭЛОУ-АВТ-БО» состоит из трёх блоков - 1. Блок ЭЛОУ – предназначен для обессоливания и обезвоживания сырой нефти;

2. Блок АВТ – предназначен для последовательной отгонки от сырой нефти в атмосферной и вакуумной колоннах дистиллятных фракций с получением целевого нефтепродукта требуемого качества – гудрона;

3. Блок окисления (БО) – предназначен для неглубокого окисления гудрона с получением битума в соответствии с требованиями стандарта на битумы вязкие дорожные.

Взаимосвязь блоков обеспечивает комплексную переработку сырой нефти с получением широкой номенклатуры нефтепродуктов. Блок ЭЛОУ подготавливает нефть к дальнейшей переработке, блок АВТ производит разделение нефти на фракции, а блок окисления преобразует гудрон в дорожный битум.

#### 3.2. Этапы процесса

##### 3.2.1. Подготовка сырья (блок ЭЛОУ)

Нефть из резервуаров ТСЦ поступает на установку с температурой 20°C и расходом 75000–137500 кг/час. Перед электродегидраторами нефть подогревается в рекуперативных теплообменниках за счёт теплоты отводимых с ректификационных колонн фракций.

Последовательность нагрева нефти в теплообменниках:

- Е-1106А/В (нефть – ВЦО вакуумной колонны): до 37-40°C;
- Е-1101 (нефть – ВЦО атмосферной колонны): до 50-60°C;
- Е-1102 (нефть – керосиновая фракция): до 60-65°C;
- Е-1108А/В (нефть – ЛВГ): до 70-75°C;
- Е-1104А/В (нефть – дизельная фракция): до 100-105°C;
- Е-1111А/В (нефть – ТВГ): до 115-120°C;
- Е-1107А/В (нефть – ЛВГ): до 140-145°C;
- Е-1115А/В (нефть – гудрон): до 155°C.

В электродегидраторах поз. V-1101А и V-1101В под действием переменного электрического поля высокой напряжённости, температуры и действия деэмульгатора

происходит разрушение нефтяной эмульсии. Расход раствора деэмульгатора из расчёта на чистый реагент составляет 5-8 г/т нефти.

Процесс электродегидратации основан на разрушении водонефтяной эмульсии под действием электрического поля. Капли воды, поляризуясь, объединяются в более крупные агрегаты и оседают на дно аппарата. Одновременно происходит коалесценция капель неразмываемой воды и выпадение части солей. Эффективность обессоливания достигает 90-95%.

### *3.2.2. Атмосферная перегонка*

Обессоленная и обезвоженная нефть с температурой около 145°C поступает в колонну дегазации поз.Т-1104, где происходит отделение парогазовой фазы от жидкой фазы. Дегазированная нефть направляется в атмосферную печь поз.Ф-1101.

Нефть подаётся в камеру конвекции атмосферной печи двумя параллельными потоками с расходом 37-70 т/час по каждому потоку. Нефть двумя потоками проходит последовательно змеевики камеры конвекции и змеевики камеры радиации печи и выходит нагретой до температуры ~358°C.

Из атмосферной колонны поз. Т-1101 выводятся следующие фракции:

- Прямогонный бензин/нафта – ~2500 кг/час;
- Керосиновая фракция (155-270°C) – ~7350 кг/час;
- Дизельная фракция – смешивается с керосиновой фракцией;
- Мазут (кубовый остаток) – направляется в вакуумную печь.

Атмосферная перегонка позволяет отделить лёгкие фракции (бензин, керосин, дизельное топливо) от тяжёлых остатков (мазута). Температура в кубе атмосферной колонны не превышает 350°C, что предотвращает термическое разложение нефтяных фракций.

### *3.2.3. Вакуумная перегонка*

Мазут с температурой ~345°C подаётся в вакуумную печь поз.Ф-1102 двумя параллельными потоками с расходом 29500÷59000 кг/час по каждому потоку. Мазут выходит из печи с температурой ~358°C и направляется в вакуумную колонну поз.Т-1102.

В вакуумной колонне происходит разделение мазута на фракции: 1. Лёгкий вакуумный дистиллят (ЛВД), выкипающий до 350°C; 2. Лёгкий вакуумный газойль (ЛВГ); 3. Тяжёлый вакуумный газойль (ТВГ); 4. Затемнённая вакуумная фракция (ЗВФ); 5. Кубовый остаток вакуумной перегонки – гудрон.

Приоритетное значение имеют характеристики гудрона, которые зависят как от качества исходного сырья, так и от глубины отбора тяжёлых вакуумных фракций (ТВГ и ЗВФ), определяющих остаточное содержание парафиновых углеводородов, групповой состав, вязкость, пенетрацию, температуру размягчения и температуру вспышки гудрона.

Вакуумная перегонка проводится при пониженном давлении (обычно 10-50 мм рт. ст.), что позволяет снижать температуру кипения фракций и избегать их термического разложения. Глубина вакуумирования определяет выход гудрона и его качество.

### *3.2.4. Компаундирование гудрона с ЗВФ*

Гудрон проходит рекуперативные теплообменники поз.Е-1113А/В и поз.Е-1114, где нагревается до температуры ~284°C. После теплообменника поз.Е-1114 поток гудрона распределяется на два потока:

1. Первый основной поток поступает для дальнейшего охлаждения в теплообменник поз.Е-1115 и затем двумя потоками направляется на смешение с ЗВФ;

2. Третий поток гудрона после поз.Е-1114 проходит теплообменник поз.Е-1116А/В и с температурой 180°C направляется в резервуарный парк для отгрузки потребителям или на установку модифицирования битума.

Часть ЗВФ после теплообменника поз.Е-1112 направляется на смешение с гудроном:

• Второй поток ЗВФ после поз. Е-1112 направляется на смешение с гудроном на выходе поз.Е-1115 (после клапана поз.ФV-3202);

• Третий поток ЗВФ после поз. Е-1112 регулируется клапаном FV-3208 и направляется на смешение с гудроном на выходе поз.Е-1115 (до клапана поз.FV-3207).

Смесь гудрона с ЗВФ направляется в блок окисления для получения окисленного битума.

Процесс компаундирования позволяет гибко регулировать свойства сырья для окисления. Соотношение гудрон/ЗВФ может варьироваться в зависимости от требуемых характеристик конечного продукта и качества исходного сырья. Обычно добавление ЗВФ составляет 5-15% от массы гудрона.

### 3.3. Температурные режимы

#### 3.3.1. Температурные параметры блока АВТ

**Таблица 5 – Температурные режимы блока АВТ**

Параметр	Значение
Температура нефти на входе в атмосферную печь, °С	~284
Температура нефти на выходе из атмосферной печи, °С	~358
Температура мазута на входе в вакуумную печь, °С	~345
Температура мазута на выходе из вакуумной печи, °С	~358
Температура гудрона на выходе из куба колонны, °С	~345
Температура гудрона после поз.Е-1115, °С	~230

#### 3.3.2. Температурные параметры блока окисления

Технология получения окисленных битумов заключается в окислении гудрона кислородом воздуха без присутствия катализатора. Интервал температур составляет 230÷260°С; расход воздуха – 2,8÷5,5 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·мин); продолжительность процесса (время пребывания в колонне) – 6-12 часов.

Оптимальной является температура около 250°С. При превышении этого значения температура размягчения и температура хрупкости битума повышаются, а пенетрация, растяжимость, теплостойкость и интервал пластичности окисленных битумов понижаются. При температуре выше 270°С понижается степень использования кислорода воздуха.

**Таблица 6 – Температурные режимы блока окисления**

Параметр	Значение
Температура гудрона на входе в колонну окисления, °С	230
Температура жидкой фазы в сепараторе, °С	~230
Температура газовой фазы в сепараторе, °С	~180
Температура битума на выходе из колонны, °С	200-250
Температура битума после охлаждения, °С	160

Температура окисления является критическим параметром процесса. При слишком низкой температуре скорость окисления недостаточна, при слишком высокой – происходит интенсивное образование карбенов и карбоидов, что ухудшает качество битума.

### 3.4. Последовательность ввода компонентов

1. Гудрон поступает в колонну окисления от теплообменника поз. Е-1115 в чистом виде или в смеси с потоком затемнённой вакуумной фракции (ЗВФ);

2. Гудрон на входе в колонну смешивается с охлаждённым рециркулятом окисленного битума (квенч);

3. В верхнюю часть окислительной колонны подаётся сжатый технологический воздух от компрессоров блока 30 под давлением 0,5 МПа;

4. Вода орошения подаётся в верхнюю часть колонны для понижения температуры и разбавления газов окисления;

5. Окисленный битум выводится с низа колонны, охлаждается и направляется в товарные резервуары.

Подача воздуха в колонну окисления осуществляется через распределительное устройство, обеспечивающее равномерное распределение газа по сечению колонны. Это важно для обеспечения равномерного окисления по всему объёму жидкой фазы.

### 3.5. Технологические особенности и ограничения

#### 3.5.1. Система охлаждения (квенчинг)

Для поддержания температурного режима и отвода избыточного количества теплоты осуществляется циркуляция охлаждённого битума (квенч) на вход в колонну. Расход квенча контролируется регулятором с коррекцией от регулятора температуры низа колонны.

Система квенчинга позволяет поддерживать оптимальную температуру в реакционной зоне и предотвращать перегрев битума. Квенч представляет собой часть окисленного битума, которая охлаждается и возвращается на вход в колонну для смешения с поступающим гудроном.

#### 3.5.2. Контроль остаточного кислорода

С целью оценки эффективности протекания реакций окисления производится непрерывный анализ газов окисления на содержание остаточного кислорода. При достижении концентрации кислорода равной 7% об. срабатывает предупредительная сигнализация. При дальнейшем повышении содержания кислорода в газах до 9% об. срабатывает аварийная сигнализация и блокируется подача воздуха в окислительную колонну.

Контроль остаточного кислорода необходим для предотвращения образования взрывоопасных смесей. При недостаточном расходе воздуха окисление протекает неполноценно, при избыточном – увеличиваются потери сырья с отходящими газами.

#### 3.5.3. Ограничения процесса

- Максимальная температура в зоне окисления не должна превышать 270°C;
- Давление в секции сепарации контролируется с предупредительной сигнализацией при достижении 2,0 МПа;
- Количество отгона и потерь зависит от содержания летучих веществ в сырье, глубины окисления и находится в пределах 1,5÷2,5% масс. от сырья.

## 4. Методология

### 4.1. Используемые методы испытаний

Качество битума оценивается по следующим стандартизированным техническим показателям:

1. Пенетрация (проникание) – глубина проникания в битум стандартной иглы при определённом режиме (при 25°C, нагрузке 1000 Н, прилагаемой в течение 5 с.), измеряется в десятых долях миллиметра (1 ЕП = 0,1 мм). Пенетрация косвенно характеризует твёрдость и вязкость битума.

2. Температура размягчения – температура, при которой битумы из относительно твёрдого состояния переходят в жидкое (текучее) состояние. Испытание проводится методом «Кольцо и Шар» (КиШ).

3. Температура хрупкости (хрупкость по Фраасу) – температура, при которой материал разрушается под действием кратковременно приложенной нагрузки. Температура хрупкости характеризует поведение битума при низких температурах.

4. Растяжимость (дуктильность) – расстояние, на которое битум можно вытянуть при определённых условиях в нить до разрыва. Этот показатель косвенно характеризует силы межмолекулярного взаимодействия компонентов битума и его прилипаемость к различным материалам.

5. Индекс пенетрации – характеризует степень коллоидности битума (структура «золь», «гель» или «золь-гель»).

6. Адгезия (прилипание) – оценивается по степени покрытия битумом поверхности частиц щебня или гравия после обработки образца в кипящей воде.

7. Динамическая вязкость при температуре 60°C – характеризует консистенцию битума при рабочих температурах.

8. Кинематическая вязкость при температуре 135°C – характеризует текучесть битума при температурах укладки.

9. Устойчивость к старению при температуре 163°C – характеризует стабильность битума при продолжительном хранении при повышенных температурах.

#### 4.2. Показатели качества и прочностные характеристики

**Таблица 7 – Требования к качеству битума марки БНД 70/100**

Показатель	Норма по СТ РК 1373-2013
Глубина проникания иглы при 25°C, 0,1 мм	61-90
Глубина проникания иглы при 0°C, 0,1 мм, не менее	20
Температура размягчения по КиШ, °C, не менее	47
Растяжимость при 25°C, см, не менее	150
Растяжимость при 0°C, см, не менее	35
Температура хрупкости по Фраасу, °C, не более	минус 15
Температура вспышки, °C, не ниже	230
Изменение температуры размягчения после прогрева, не более (абс. знач.)	5
Индекс пенетрации	от -1,0 до +1,0
Динамическая вязкость при 60°C, Па·с, не менее	90
Кинематическая вязкость при 135°C, мм <sup>2</sup> /с, не менее	230
Изменение массы после прогрева, %, не более	0,8
Глубина проникания иглы после прогрева, % от исходной, не менее	50

**Таблица 8 – Требования к качеству битума марки БНД 100/130**

Показатель	Норма по СТ РК 1373-2013
Глубина проникания иглы при 25°C, 0,1 мм	91-130
Глубина проникания иглы при 0°C, 0,1 мм, не менее	28
Температура размягчения по КиШ, °C, не менее	43
Растяжимость при 25°C, см, не менее	65
Растяжимость при 0°C, см, не менее	4,0
Температура хрупкости по Фраасу, °C, не более	минус 17
Температура вспышки, °C, не ниже	230
Изменение температуры размягчения после прогрева, не более (абс. знач.)	5
Индекс пенетрации	от -1,0 до +1,0
Динамическая вязкость при 60°C, Па·с, не менее	75
Кинематическая вязкость при 135°C, мм <sup>2</sup> /с, не менее	180
Изменение массы после прогрева, %, не более	0,8
Глубина проникания иглы после прогрева, % от исходной, не менее	46

#### 4.3. Логическая связь между технологией и результатами

При окислении (термолизе) протекает множество реакций: окислительная полимеризация, дегидрирование, деалкилирование, поликонденсация, крекинг с последующим уплотнением его продуктов. В виду сложного строения высокомолекулярных углеводородов, химизм процесса окисления представляется по изменению соотношения основных групп веществ (масел, смол и асфальтенов).

Основная часть кислорода воздуха идёт на образование воды и углекислого газа, незначительная часть – на образование органических веществ, содержащих кислород. Нефтяные углеводороды окисляются одновременно в двух направлениях:

- Углеводороды масляных фракций → смолы → асфальтены → карбены → карбоиды;
- Образование кислот, оксикислот, асфальтеновых кислот.

С повышением содержания масел в битумах, а точнее соотношения «масла/асфальтены», повышаются значения пенетрации, текучести, испаряемости и понижаются значения температур размягчения, хрупкости и вязкости битумов.

## 5. Результаты и обсуждение

### 5.1. Интерпретация полученных данных

Анализ технологического процесса производства модифицированного битума на установке «ЭЛОУ-АВТ-БО» показывает, что компаундирование гудрона с затемнённой вакуумной фракцией позволяет достичь следующих эффектов:

1. Снижение парафинистости сырья – ЗВФ, имеющая повышенное содержание ароматических углеводородов, компенсирует высокое содержание парафинов в исходном гудроне. Согласно технологическому регламенту, повышенное содержание твёрдых парафинов (выше 3% вес.) в сырье понижает растяжимость битумов.

2. Улучшение реологических характеристик – пенетрация тем меньше, а растяжимость тем больше, чем выше глубина отбора масляных фракций из мазута. Компаундирование позволяет регулировать это соотношение.

3. Оптимизация температурных характеристик – утяжеление гудрона путём компаундирования с ЗВФ позволяет одновременно снижать его парафинистость и повышать ароматизированность, а также регулировать фракционный состав гудрона, направляемого на окисление.

### 5.2. Влияние вторичного сырья на эксплуатационные свойства асфальтобетона

Применение модифицированного битума, полученного с использованием ЗВФ, положительно влияет на эксплуатационные свойства асфальтобетонных покрытий:

1. Повышение морозостойкости – снижение содержания парафиновых углеводородов улучшает показатели температуры хрупкости по Фраасу. Для битума марки БНД 70/100 температура хрупкости составляет не более минус 15°C, для марки БНД 100/130 – не более минус 17°C.

2. Улучшение адгезионных свойств – с повышением молекулярной массы асфальтенов, входящих в состав битума, его адгезионные свойства улучшаются. Адгезия битумов зависит также от полярности компонентов битума (асфальтенов и мальтенов).

3. Повышение теплостойкости – оптимальное соотношение компонентов битума обеспечивает стабильность характеристик при повышенных температурах. Битумы, окисленные при оптимальной температуре около 250°C, характеризуются высокой пенетрацией и растяжимостью.

4. Увеличение долговечности покрытия – показатели устойчивости к старению (изменение массы после прогрева, изменение пенетрации после прогрева) характеризуют поведение битумов в процессе эксплуатации и срок службы асфальтобетонного покрытия.

### 5.3. Сравнительный анализ

Сравнительный анализ характеристик гудрона и ЗВФ показывает их комплементарность для процесса компаундирования:

**Таблица 9 – Сравнительные характеристики гудрона и ЗВФ**

Показатель	Гудрон	ЗВФ
Плотность при 20°C, кг/м <sup>3</sup>	999	962,6
Вязкость кинематическая при 20°C, мм <sup>2</sup> /сек	18800	24
Температура размягчения по КиШ, °C	40-50	–
Содержание серы, % масс.	3,39	1,78
Температура вспышки, °C	167	164

Гудрон характеризуется высокой вязкостью и содержанием тяжёлых углеводородов, в то время как ЗВФ имеет значительно меньшую вязкость и может выступать в качестве регулятора текучести смеси. Различия в фракционном составе (гудрон – остаточный продукт с температурой начала кипения не более 495°C, ЗВФ – дистиллят с 96% перегоняющимся при температуре не более 565°C) позволяют оптимизировать групповой состав смеси для окисления.

## 6. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ

### 6.1. Экологические аспекты

Использование вторичного сырья в производстве битума имеет следующие экологические преимущества:

1. Рациональное использование ресурсов – ЗВФ, являющаяся побочным продуктом вакуумной перегонки, вовлекается в производство вместо утилизации или сжигания.

2. Снижение выбросов – комплексная переработка нефти позволяет минимизировать количество отходов. Хвостовые газы окисления направляются в печь дожига поз. F-1201 для обезвреживания.

3. Энергосбережение – рекуперация тепла в теплообменниках позволяет снизить энергозатраты на нагрев сырья.

4. Очистка стоков – солевые стоки ЭЛОУ после охлаждения направляются на очистные сооружения для предварительной очистки.

Применение технологии компаундирования способствует снижению экологической нагрузки на окружающую среду. Использование внутризаводских побочных продуктов снижает потребность в их утилизации или сжигании, что уменьшает выбросы загрязняющих веществ в атмосферу. Кроме того, энергосберегающие технологии рекуперации тепла позволяют снизить расход топлива и, соответственно, выбросы парниковых газов.

### 6.2. Экономические аспекты

Экономическая эффективность использования вторичного сырья обусловлена:

1. Повышением выхода целевой продукции – комплексное использование всех фракций нефти позволяет максимизировать выход битума.

2. Снижением затрат на сырьё – использование внутризаводского побочного продукта (ЗВФ) снижает потребность в дополнительных компонентах.

3. Гибкостью производства – возможность регулирования соотношения гудрон/ЗВФ позволяет адаптировать процесс под изменяющееся качество исходной нефти.

4. Расширением номенклатуры – гудрон может направляться как на производство окисленного битума, так и на установку модифицированных битумов (УМБ) в качестве основы (матрицы) для получения полимермодифицированных битумов.

Экономический эффект от внедрения технологии компаундирования складывается из нескольких составляющих. Во-первых, снижаются затраты на закупку дополнительных компонентов для модификации битума. Во-вторых, повышается выход товарной продукции за счёт использования ранее неиспользуемых фракций. В-третьих, снижаются энергозатраты благодаря оптимизации температурных режимов процесса окисления.

## 7. Заключение

### 7.1. Основные выводы

В результате проведённого исследования технологии производства модифицированного битума с использованием вторичного сырья на установке «ЭЛОУ-АВТ-БО» установлено следующее:

1. Компаундирование гудрона с затемнённой вакуумной фракцией (ЗВФ) является эффективным способом модификации битумных вяжущих, позволяющим улучшить их эксплуатационные характеристики.

2. Утяжеление гудрона путём компаундирования с ЗВФ позволяет одновременно снижать его парафинистость и повышать ароматизированность, а также регулировать фракционный состав гудрона, направляемого на окисление.

3. Оптимальная температура окисления составляет около 250°C; при превышении этого значения температура размягчения и температура хрупкости битума повышаются, а пенетрация, растяжимость, теплостойкость и интервал пластичности окисленных битумов понижаются.

4. Получаемые битумы марок БНД 70/100 и БНД 100/130 соответствуют требованиям стандарта СТ РК 1373-2013 и пригодны для применения в качестве вяжущих при изготовлении асфальтобетона.

5. Использование вторичного сырья в производстве битума имеет положительные экологические и экономические последствия, способствуя рациональному использованию ресурсов и снижению себестоимости продукции.

#### 7.2. Научная новизна

Научная новизна работы заключается в:

1. Систематизации технологических параметров процесса компаундирования гудрона с ЗВФ для производства модифицированных битумов.

2. Установлении взаимосвязи между групповым составом смеси гудрон/ЗВФ и эксплуатационными характеристиками конечного продукта.

3. Разработке рекомендаций по оптимизации технологического процесса с учётом влияния вторичного сырья на качество битума.

4. Комплексном анализе экологических и экономических аспектов использования вторичного сырья в производстве битума.

#### 7.3. Практическая применимость результатов

Результаты исследования могут быть применены:

1. На действующих установках производства битума для оптимизации технологических режимов.

2. При проектировании новых производств битумных материалов с использованием компаундирования.

3. Для разработки технических регламентов и стандартов на производство модифицированных битумов.

4. В учебном процессе при подготовке специалистов в области нефтепереработки и дорожного строительства.

5. Для повышения конкурентоспособности продукции на рынке дорожных материалов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технологический регламент установки «ЭЛОУ-АВТ и БО». S-0100-1200-001. Экз. 01. ТОО «СП «CASPI BITUM», 2021. – 242 с.

2. Пискунов, И.В., Панкин, А.А. and Башкирцева, Н.Ю., 2022. Математическое моделирование процессов производства нефтяных окисленных битумов (обзор). Вестник технологического университета, 25(4), pp.83-94.

3. СТ РК 1373-2013. Битумы и битумные вяжущие. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические условия.

4. ГОСТ 33133-2014. Дороги автомобильные общего назначения. Битумы нефтяные дорожные вязкие.

5. ГОСТ 22245-90. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические условия.

6. ГОСТ Р 51858-2002. Нефть сырая. Общие технические условия.

#### Сведения об авторах (на трех языках):

Садуакасова Жансулу Сергазиевна – магистр, КарТУ им. Абылкаса Сагинова, [zhansulu.saduakassova@mail.ru](mailto:zhansulu.saduakassova@mail.ru)

Садуакасова Жансулу Сергазиевна – магистр, КарТУ им. Абылкаса Сагинова, [zhansulu.saduakassova@mail.ru](mailto:zhansulu.saduakassova@mail.ru)

Zhansulu Saduakassova – Master’s degree holder, Abylkaas Saginov Karaganda Technical University, [zhansulu.saduakassova@mail.ru](mailto:zhansulu.saduakassova@mail.ru)

Кропачев Петр Александрович – профессор, КарТУ им. Абылкаса Сагинова, [p.kropachev@ktu.edu.kz](mailto:p.kropachev@ktu.edu.kz)

Кропачев Петр Александрович – профессор, КарТУ им. Абылкаса Сагинова, [p.kropachev@ktu.edu.kz](mailto:p.kropachev@ktu.edu.kz)

Petr Kropachev – Professor, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, [p.kropachev@ktu.edu.kz](mailto:p.kropachev@ktu.edu.kz)

Жакина Алма Хасеновна – профессор, ТОО «Институт органического синтеза и углехимии Республики Казахстан», [alzhakina@mail.ru](mailto:alzhakina@mail.ru)

Жакина Алма Хасеновна – профессор, ТОО «Институт органического синтеза и углехимии Республики Казахстан», [alzhakina@mail.ru](mailto:alzhakina@mail.ru)

Alma Zhakina – Professor, LLP “Institute of Organic Synthesis and Coal Chemistry of the Republic of Kazakhstan”, [alzhakina@mail.ru](mailto:alzhakina@mail.ru)

Мурат Каракасу – профессор, Ескишехирский университет им. Османгазы, [muratk@ogu.edu.tr](mailto:muratk@ogu.edu.tr)

Мурат Каракасу – профессор, Ескишехирский университет им. Османгазы, [muratk@ogu.edu.tr](mailto:muratk@ogu.edu.tr)

Murat Karakasu – Professor, Eskişehir Osmangazi University, [muratk@ogu.edu.tr](mailto:muratk@ogu.edu.tr)

#### **Вклад авторов:**

Садуакасова Жансулу Сергазиевна – сбор данных, анализ, подготовка текста.

Кропачев Петр Александрович – концепция, методология, научное руководство.

Жакина Алма Хасеновна – анализ, интерпретация результатов.

Мурат Каракасу – рецензирование, научная консультация.

**Конфликт интересов:** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Использование искусственного интеллекта (ИИ):** при подготовке статьи ИИ не использовался.

## **ЕКІНШІЛІК ШИКІЗАТТЫ ПАЙДАЛАНУ АРҚЫЛЫ АСФАЛЬТБЕТОН ҚАПТАМАЛАРЫ ҮШІН МОДИФИКАЦИЯЛАНҒАН БИТУМДЫ ӨНДІРУ ТЕХНОЛОГИЯСЫН ӘЗІРЛЕУ**

Ж. С. Садуакасова<sup>1\*</sup>, П. Кропачев<sup>1</sup>, А. Жакина<sup>2</sup>, М. Каракасу<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ.,  
Қазақстан;

<sup>2</sup>«Қазақстан Республикасы органикалық синтез және көмір химиясы институты» ЖШС,  
Қазақстан;

<sup>3</sup>Османгазы атындағы Ескишехир университеті, Түркия

\*Хат-хабарға жауапты автор: [zhansulu.saduakaso@mail.ru](mailto:zhansulu.saduakaso@mail.ru)

**Аңдатпа.** Бұл жұмыста екіншілік шикізатты пайдалану арқылы асфальтбетон жабындары үшін модификацияланған битум өндіру технологиясын зерттеу нәтижелері келтірілген. Зерттеу «СП «CASPI BITUM» ЖШС битум зауытындағы «ЭЛОУ-АВТ-БО» кешенді қондырғысы негізінде жүргізілген. Бастапқы шикізаттың сипаттамалары, гудронды тотықтыру үдерісінің технологиялық параметрлері, сондай-ақ қараңғыланған вакуумдық фракциямен компаундтау процесінің соңғы өнім сапасына әсері талданды. Зертханалық сынақ нәтижелері алынған БНД 70/100 және БНД 100/130 маркалы битумдардың СТ РК 1373-2013 стандарты талаптарына сәйкестігін көрсетті. Вакуумдық дистилляттар түріндегі екіншілік шикізатты қолдану өндірістің технологиялық параметрлерін оңтайландыруға және битумдық байланыстырғыштардың пайдалану қасиеттерін жақсартуға мүмкіндік беретіні анықталды. Сонымен қатар, екіншілік

шикізатты пайдаланудың экологиялық және экономикалық аспектілеріне талдау жүргізіліп, технологиялық процесті жетілдіру бойынша ұсыныстар әзірленді.

**Түйінді сөздер:** модификацияланған битум, екіншілік шикізат, гудронды тотықтыру, компаундтау, асфальтбетон жабындары, вакуумдық айдау, қараңғыланған вакуумдық фракция, БНД 70/100, БНД 100/130, технологиялық регламент.

## **DEVELOPMENT AND TECHNOLOGY OF PRODUCTION OF MODIFIED BITUMEN FOR ASPHALT CONCRETE PAVEMENTS USING RECYCLED MATERIALS**

Zh. S. Saduakasova<sup>1\*</sup>, P. Kropachev<sup>1</sup>, A. Zhakina<sup>2</sup>, M. Karakasu<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan;

<sup>2</sup>Institute of Organic Synthesis and Coal Chemistry of the Republic of Kazakhstan LLP, Kazakhstan;

<sup>3</sup>Eskisehir Osmangazi University, Turkey

\*Corresponding author: zhansulu.saduakasova@mail.ru

**Abstract.** This paper presents the results of research on the technology of producing modified bitumen for asphalt concrete pavements using recycled materials based on the integrated unit “ELOU-AVT-BO” of the bitumen plant LLP “SP “CASPI BITUM”. The characteristics of raw materials, technological parameters of the tar oxidation process, and the effect of compounding with a dark vacuum fraction on the quality of the final product are analyzed. Laboratory test results confirming compliance of the obtained bitumen grades BND 70/100 and BND 100/130 with the requirements of ST RK 1373-2013 are presented. It was established that the use of recycled raw materials in the form of vacuum distillates allows optimization of technological production parameters and improvement of the performance characteristics of bitumen binders. Environmental and economic aspects of using recycled materials in bitumen production are analyzed, and recommendations for optimizing the technological process are developed.

**Keywords:** modified bitumen, recycled materials, tar oxidation, compounding, asphalt concrete pavements, vacuum distillation, dark vacuum fraction, BND 70/100, BND 100/130, technological regulation.



**Copyright:** © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) licence (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).