



Казань - 2022  
МНПК «Глубокая переработка  
тяжелых нефтей и нефтяных  
остатков»



## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕРАБОТКИ ТЯЖЕЛЫХ НЕФТЯНЫХ ОСТАТКОВ**

Юсевич А.И. (БГТУ);  
Гребеньков А.Ж. (ИТМО НАН Беларуси);  
Войтов И.В. (БГТУ);  
Агабеков В.Е. (ИХНМ НАН Беларуси)



## Глубина переработки нефти

$$ГП = \frac{Н - ТМ - П}{Н} \cdot 100,$$

ГП – глубина переработки, %;

Н – количество поступающей на переработку нефти, т/год;

ТМ – количество вырабатываемого топочного мазута, т/год;

П – безвозвратные потери, т/год

# Инвестиционные проекты по углублению переработки нефти в Республике Беларусь

– ОАО «Нафтан»:

Строительство комплекса замедленного коксования нефтяных остатков



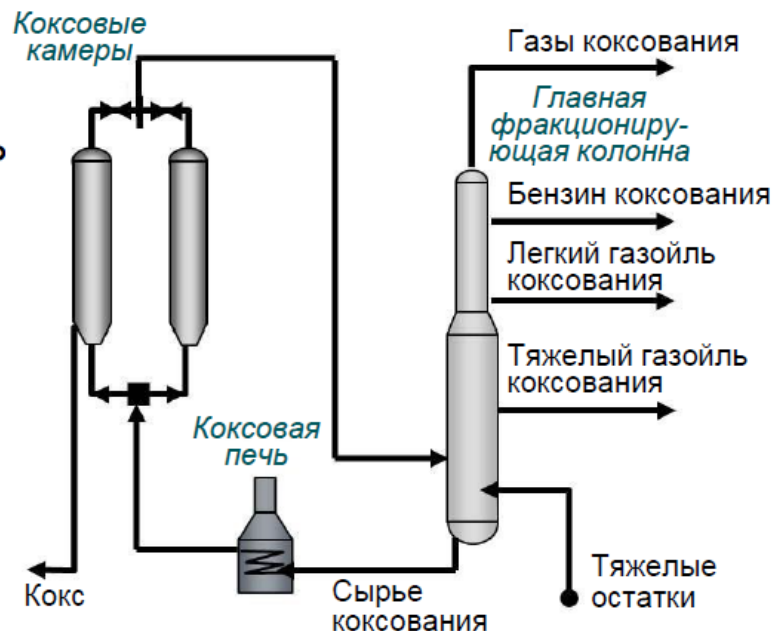
– ОАО «Мозырский НПЗ»:

Строительство комплекса гидрокрекинга тяжелых нефтяных остатков

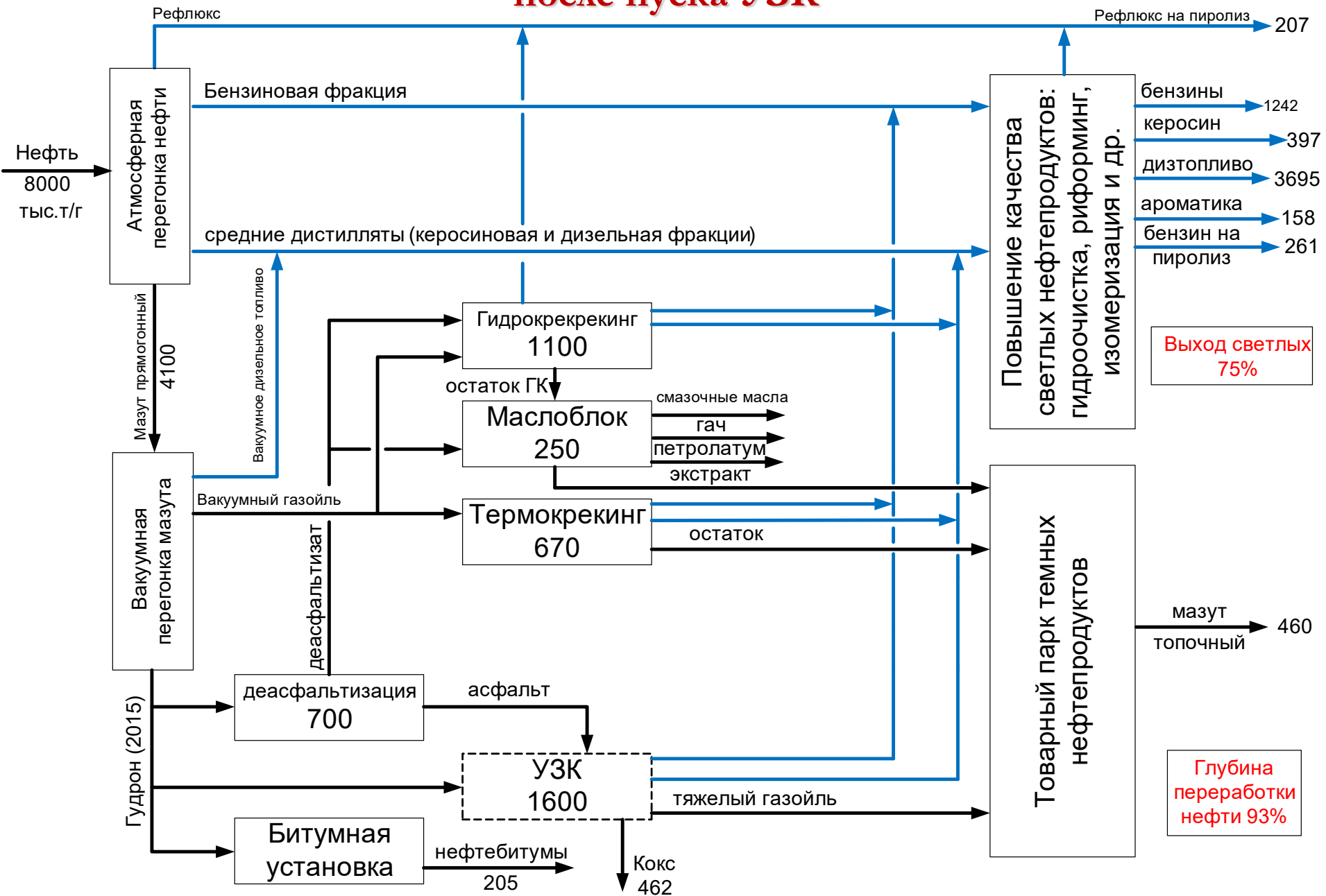


# Технология замедленного коксования Foster Wheeler

- ▶ Процесс жесткой термической конверсии
  - ▶ Полное превращение остатков в дистилляты и кокс
  - ▶ Обычно реализуется для максимального увеличения выхода жидких продуктов
  - ▶ Жидкие продукты коксования требуют дальнейшей переработки
- ▶ Самый распространенный процесс переработки нефтяных остатков
  - ▶ Возможность перерабатывать различные виды сырья
  - ▶ Общая мощность построенных установок свыше 5 000 000 барр./сут
- ▶ Процесс конверсии и образования кокса протекает в коксовых камерах



# Вариант схемы материальных потоков НПЗ ОАО «Нафтан» после пуска УЗК

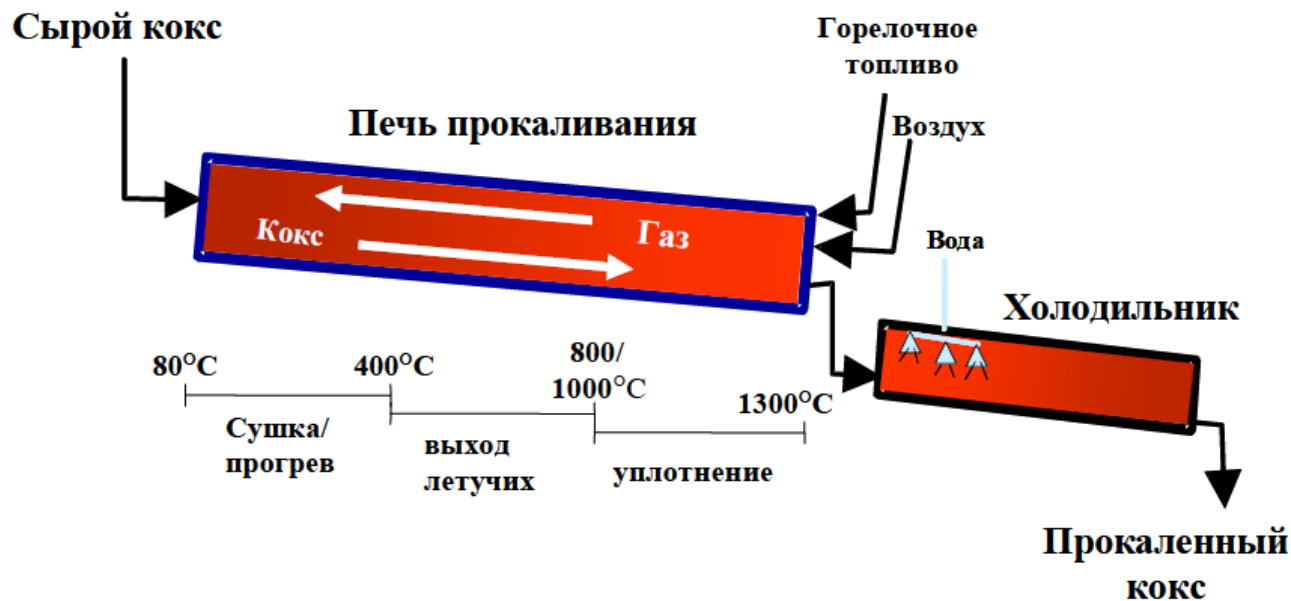


# Проектное качество нефтяного кокса ОАО «Нафтан»

Наименование показателей	Единица измерения	Значение	Кокс для алюминиевой промышленности*	
			сырой	прокаленный
Низшая теплота сгорания	МДж/кг	31,14		
Общее влагосодержание	%	10,2	< 3	< 0,5
Летучие горючие вещества	%	9,56	< 9	< 0,5
Зольность	%	0,55	< 0,5	< 0,5
Насыпная плотность	кг/м <sup>3</sup>	850		
Температура размягчения золы	°С	>1100		
Элементный состав (% масс.):				
Углерод, С	%	89,90		
Водород, Н	%	3,50		
Кислород, О	%	0,72		
Азот, N	%	1,74		
Сера, S	%	3,53	< 1,5	< 1,5
Хлор, Cl, max.	%	0,1		
Содержание металлов:				
- ванадия, не более	ppm	1500	< 150	< 150
- никеля, не более	ppm	375	< 160	< 160

\* Единые корпоративные требования алюминиевых заводов ОАО «Русский алюминий» (потребляет свыше 80% нефтяного кокса, производимого на НПЗ РФ)

# Прокалка нефтяного кокса во вращающихся печах



ТОО «УПНК-ПВ», Павлодар, Казахстан:

- ввод в эксплуатацию – 2015 год;
- проектная мощность – 205 тыс. т/г;
- объем инвестиций – 125 млн. \$

# Очистка нефтяного кокса в электротермическом кипящем слое (ЭТКС)



Экспериментальная установка ЭТКС

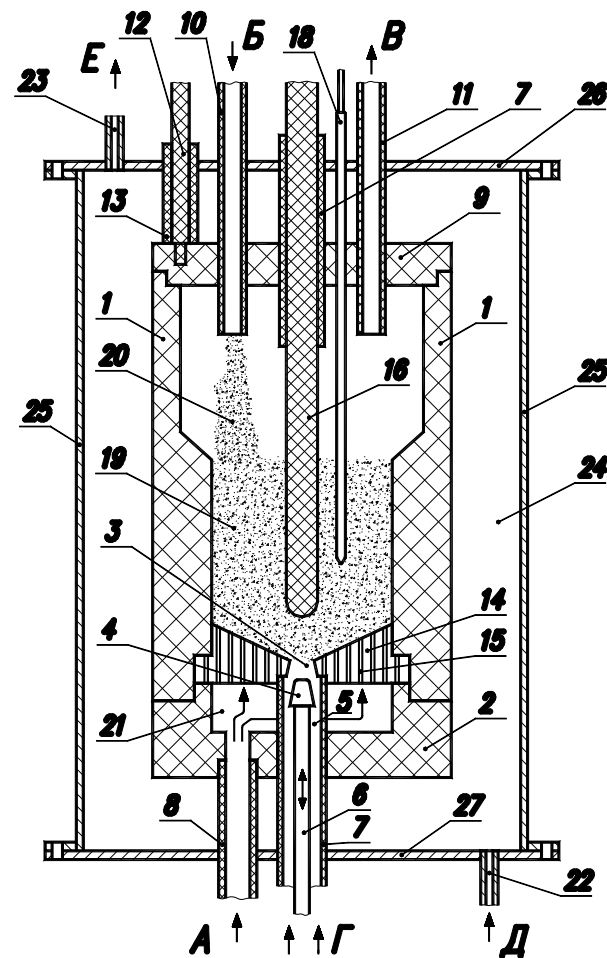
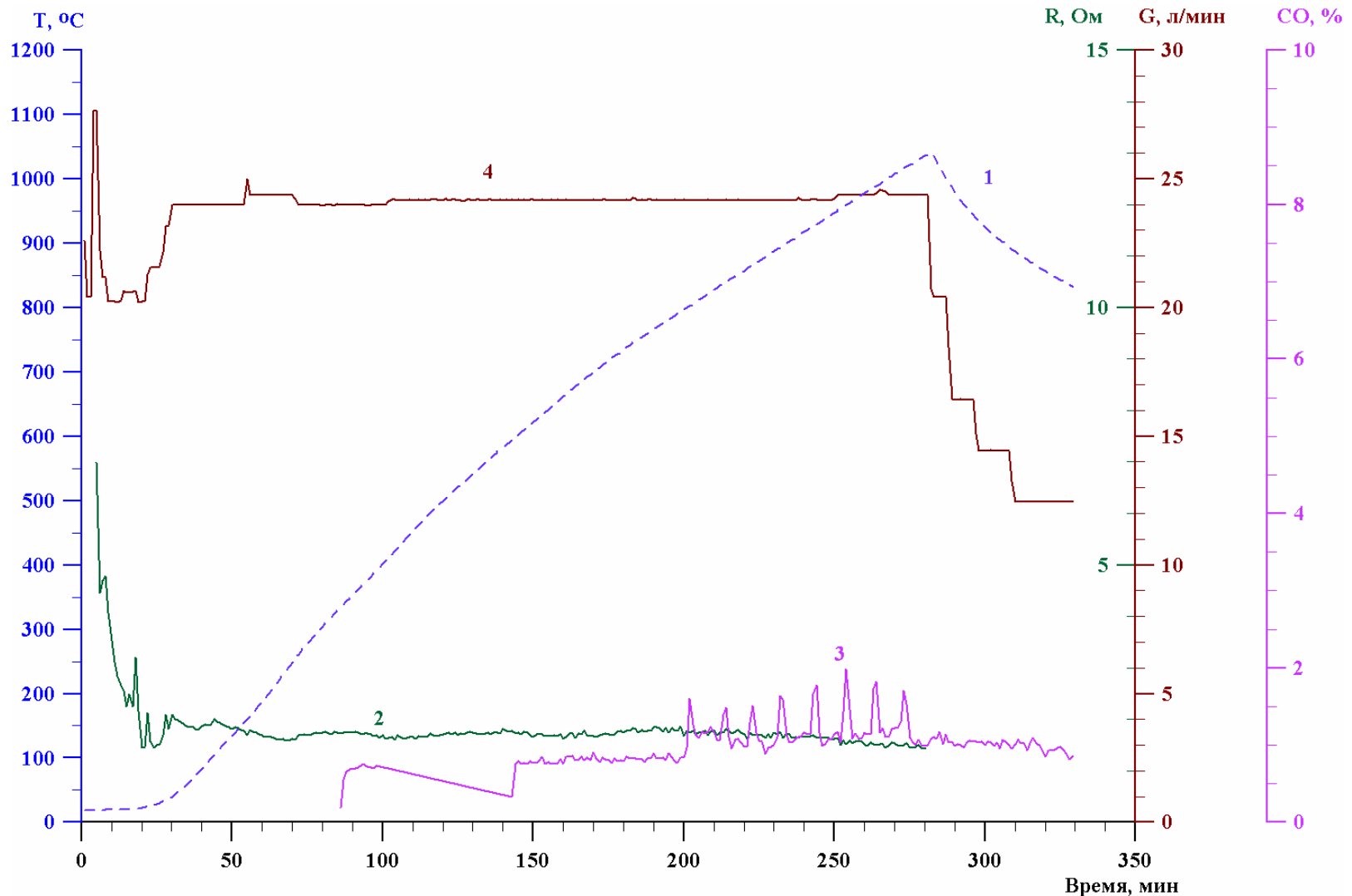


Схема реактора ЭТКС



# Основные показатели процесса термообработки нефтяного кокса в ЭТКС



1 – температура на внешней поверхности реактора; 2 – электрическое сопротивление шихты в реакторе; 3 – содержание CO в выходящих газах; 4 – расход оживающего газа

# Результаты экспериментов по очистке нефтяных коксов в реакторе ЭТКС

Показатель	Кокс анодный марки Б АО «ТАНЕКО»		Прокаленный кокс Челябинского электродного завода	
	до термообработки	после термообработки	до термообработки	после термообработки
Температура термообработки, °С	–	2200	–	2500
Массовая доля серы, %	3,4	0,3	1,6	0,08
Зольность, %	0,2	0,09	0,2	0,05
Массовая доля влаги, %	9,0	–	–	–
Массовая доля летучих %	11	–	–	–
Степень графитизации, %	–	30,0	–	84,0
Удельное электрическое сопротивление, Ом·см	> 10 МОм·см	19,0	30,0	11,6



# Преимущества метода очистки нефтяных коксов в ЭТКС

- ❑ Высокая энергоэффективность;
- ❑ Одностадийность получения углеграфитовых материалов с высокой степенью кристалличности (до 100%) из сырого нефтяного кокса;
- ❑ Возможность организации производственного процесса в непрерывном режиме;
- ❑ Простота масштабирования;
- ❑ Возможность гибкого регулирования параметров технологического режима и качества продукции;
- ❑ Высокая чистота получаемого углеродного материала (низкое содержание серы, золы, металлов, летучих веществ);
- ❑ Новый продукт на рынке углеродных материалов;
- ❑ Использование электрической энергии и, как следствие, стабильная загрузка мощностей БелАЭС при реализации в промышленном масштабе

**Для доведения разработки до уровня промышленной реализации необходимо создать пилотную непрерывнодействующую установку мощностью по сырью до 10 кг/ч**

### **Этапы НИОКР:**

- 1. Модернизация экспериментальной установки ЭТКС с целью повышения температуры обработки до 2500–3000°C. Исследование процесса термообработки кокса ОАО «Нафтан» и характеристик получаемого углеродного материала.**
- 2. Разработка конструкторской документации на пилотную непрерывнодействующую установку с системой улавливания и обработки отходящих газов и летучих веществ и вспомогательным оборудованием.**
- 3. Изготовление пилотной установки. Монтаж и наладка.**
- 4. Экспериментальные исследования основных параметров процесса очистки нефтяного кокса и физико-химических характеристик получаемого дисперсного углеродного материала в непрерывных условиях. Определение технологических режимов. Составление материальных и энергетических балансов. Разработка ТЗ на проектирование промышленной установки.**

**Общий срок выполнения работ 12–24 месяца.**

# Инвестиционные проекты по углублению переработки нефти в Республике Беларусь

– ОАО «Нафтан»:

Строительство комплекса замедленного коксования нефтяных остатков



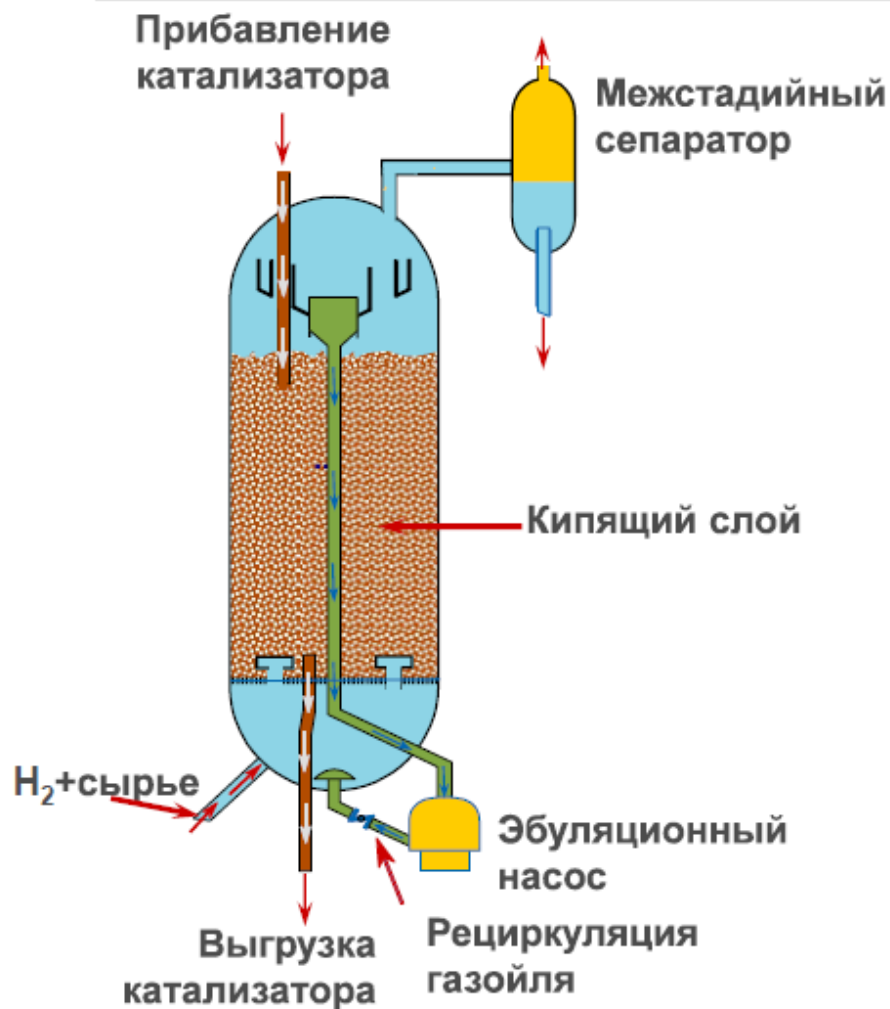
– ОАО «Мозырский НПЗ»:

Строительство комплекса гидрокрекинга тяжелых нефтяных остатков



# Axens H-Oil<sup>®</sup><sub>RC</sub> Residue HydroCracking

## Принцип действия



### ■ Реактор с кипящим слоем катализатора

- Внутренний рецикл жидкости для ожигения слоя катализатора
- Практически изотермический реактор
- Низкий и постоянный перепад давления
- Ежедневное прибавление/вывод катализатора

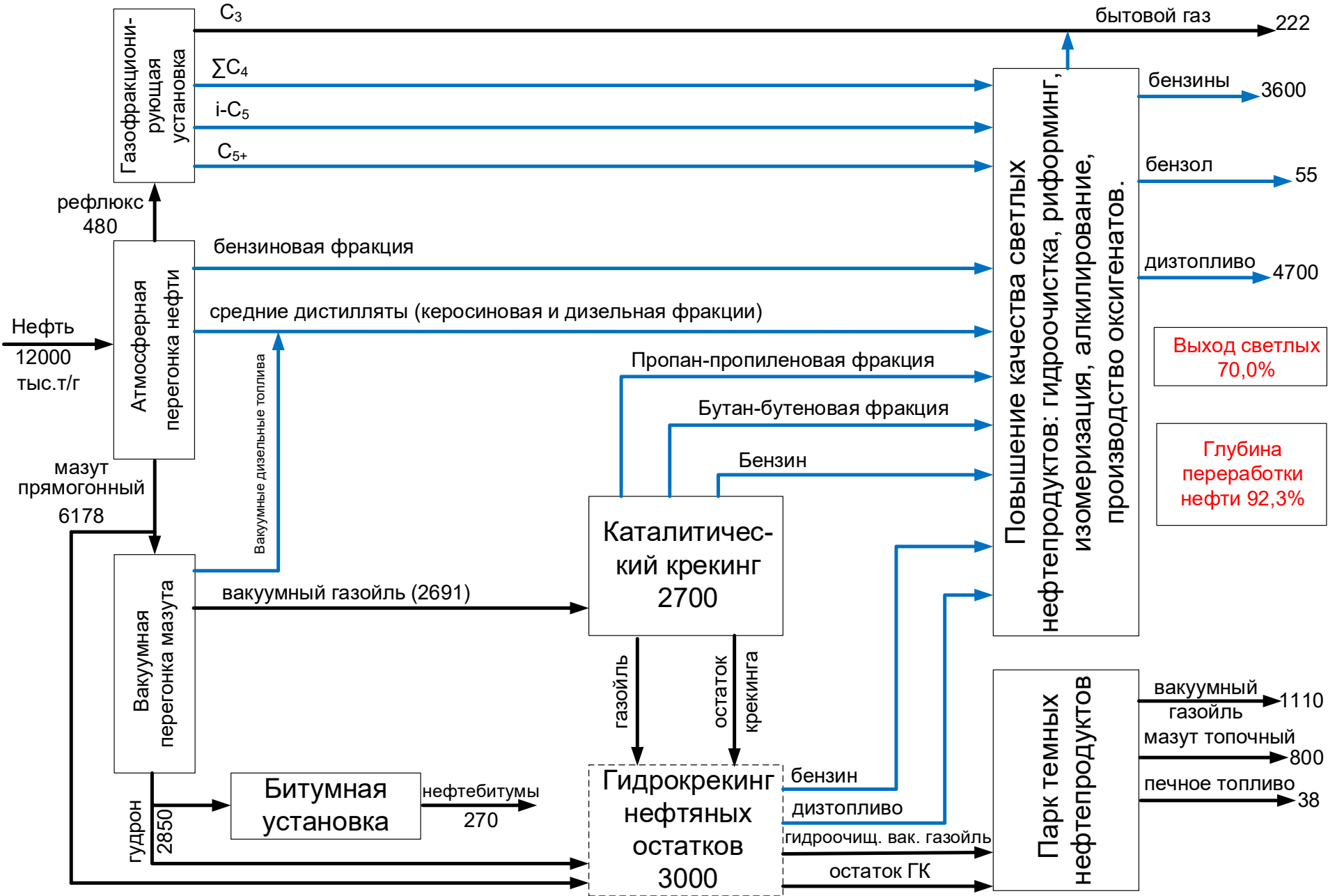


**Эксплуатационная  
гибкость**



**Надежность**

# Схема материальных потоков ОАО «МНПЗ» после пуска H-Oil



# Дальнейшее повышение степени конверсии ТНЮ

Если просто повысить конверсию в процессе ГК остатков



Стабильность является ограничением по причине **конденсации асфальтенов**



0%

28%

48%

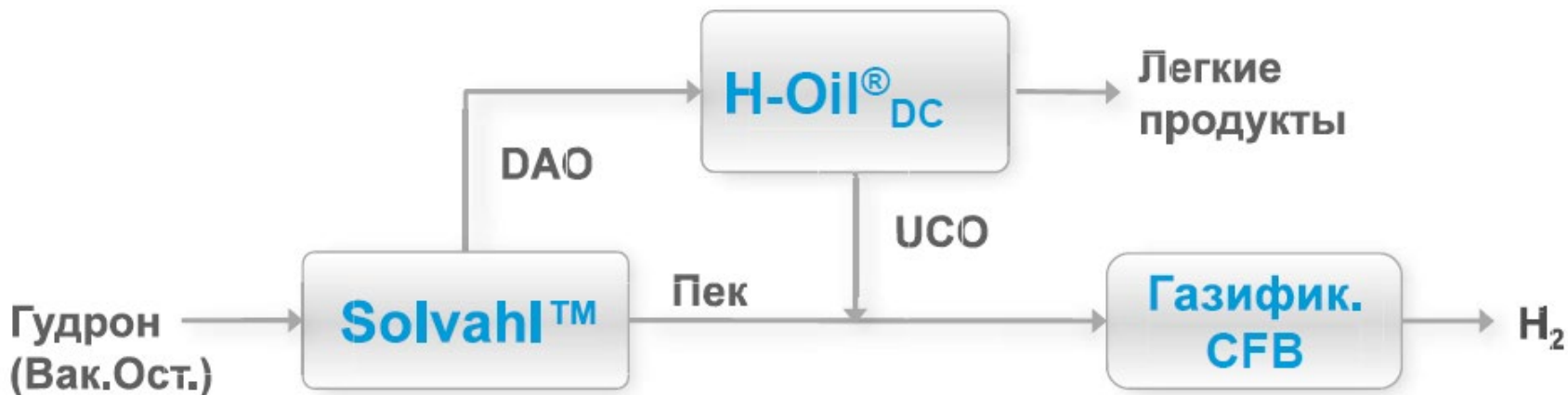
56%

74%

85%

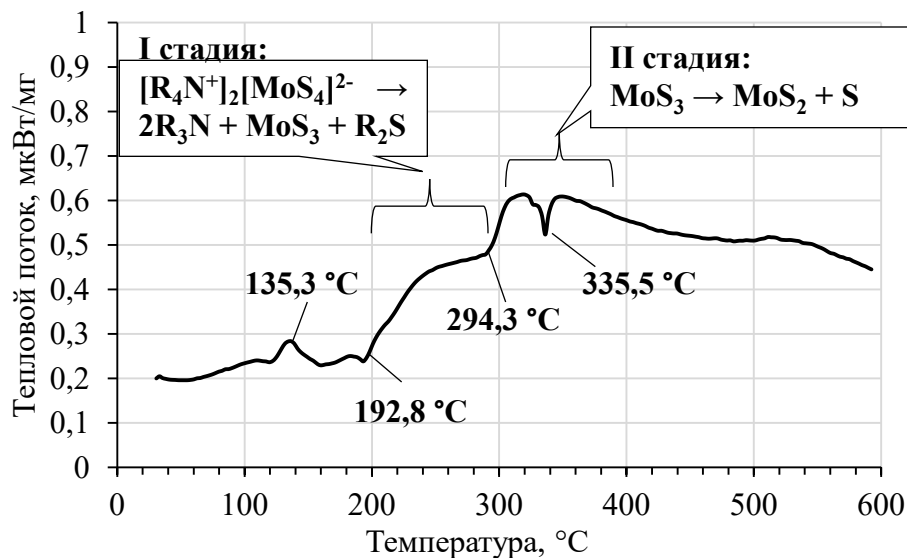
Конверсия фр. 540<sup>+</sup>, масс.%

Есть вариант использования SDA для удаления асфальтенов

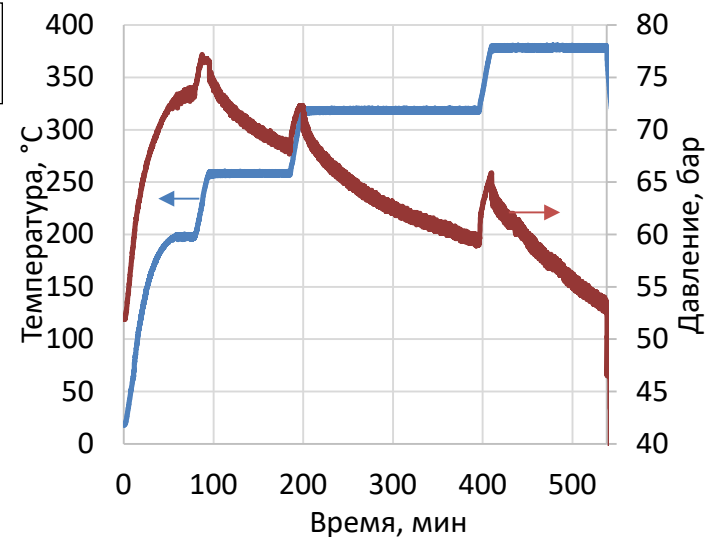




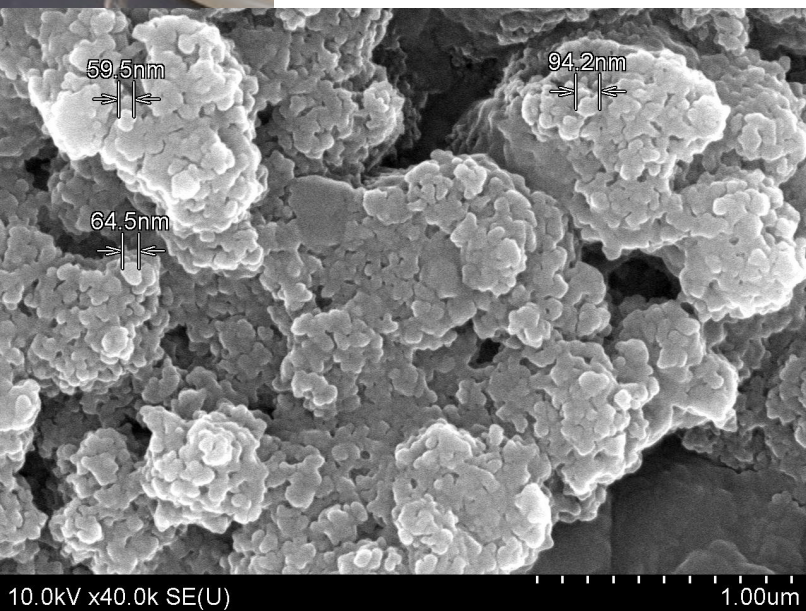
# Наноразмерные катализаторы из маслорастворимых прекурсоров



ДСК-кривая прекурсора катализатора



Условия гидроконверсии

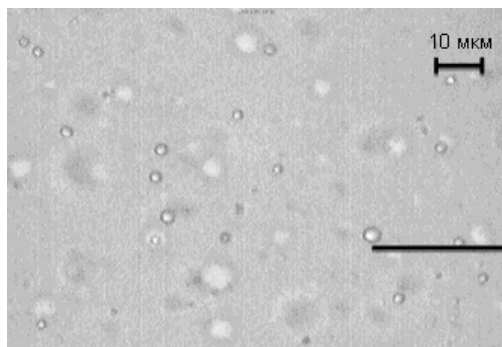


## Групповой состав асфальта до и после гидроконверсии

Компонент	Содержание компонента, мас. %	
	до гидроконверсии	после гидроконверсии
Нейтральные масла	74,9	76,4
Смолы	9,1	12,6
Асфальтены	15,5	7,4
Карбены и карбоиды	0,0	2,3
Потери	0,5	1,3

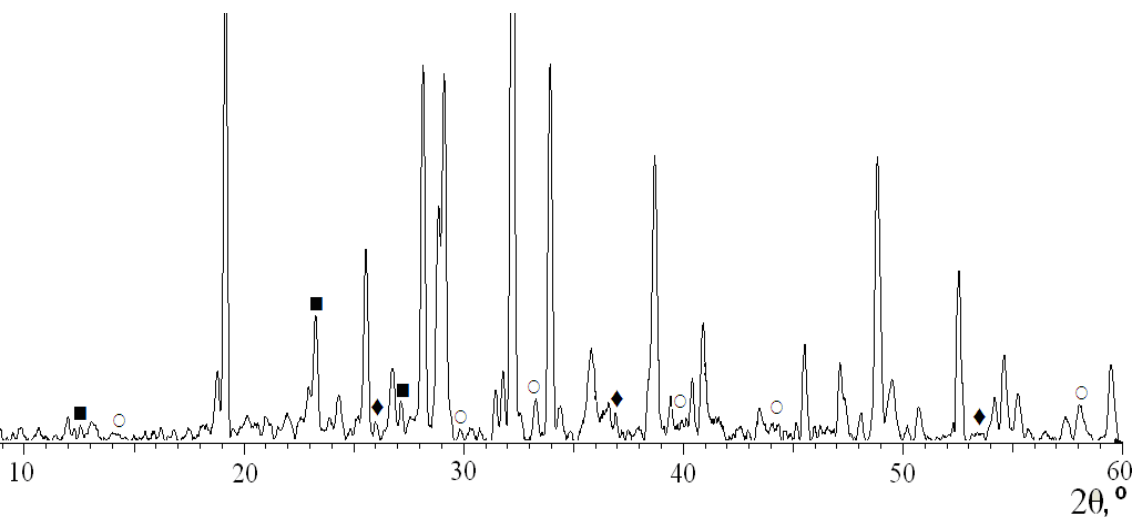
СЭМ-фотография частиц катализатора, выделенных из реакционной смеси

# Наноразмерные катализаторы из водорастворимых прекурсоров

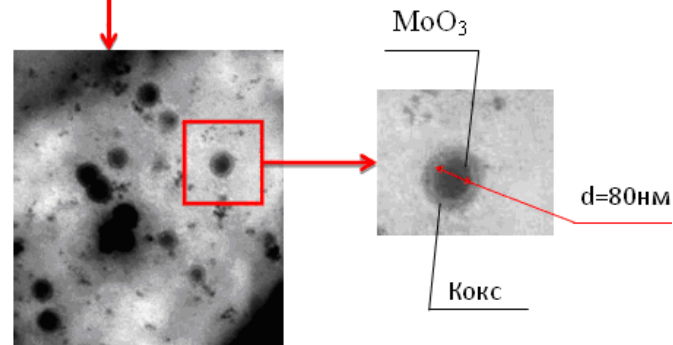
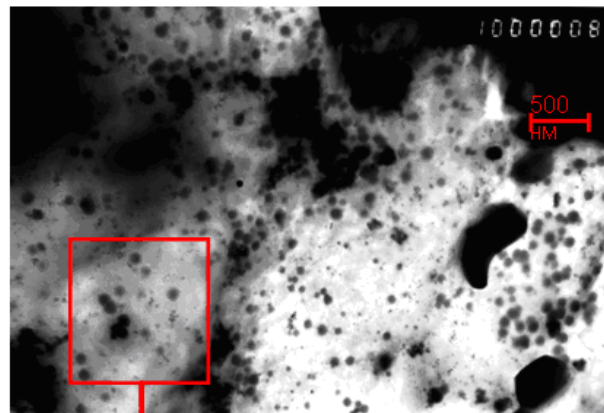


Прекурсор -  $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$   
6,2 % водный р-р

Микроэмульсия водного раствора прекурсора катализатора в гудроне (люминесцентная микроскопия)



Рентгенограмма остатка гидроконверсии гудрона в присутствии ПМА: ■ –  $\text{MoO}_3$ , ◆ –  $\text{MoO}_2$ , ○ –  $\text{MoS}_2$



ПЭМ-фотография наночастиц катализатора в реакционной смеси после гидротермической обработки

# Гидроконверсия ТНУ в присутствии наноразмерных катализаторов



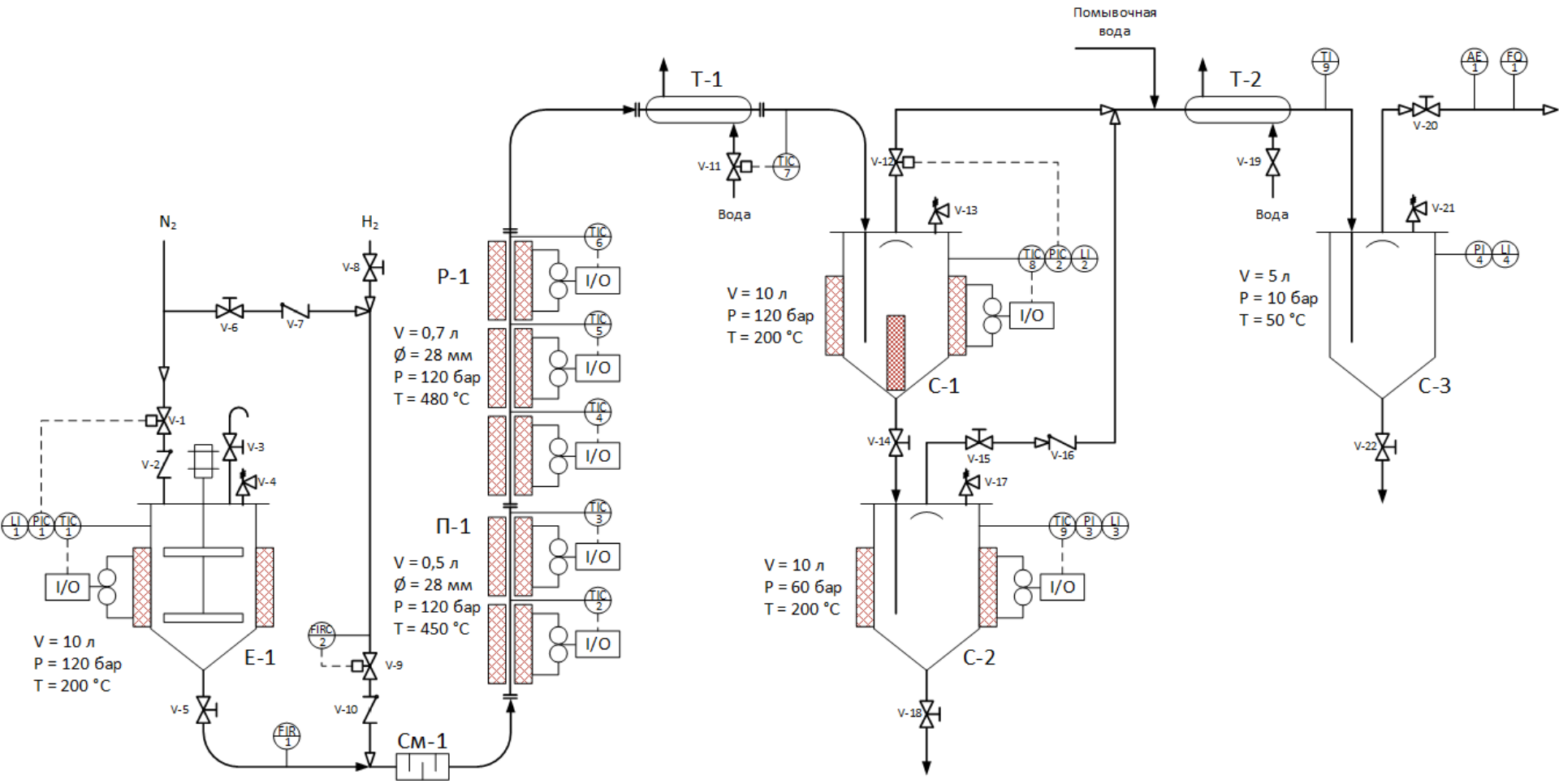
Схема лабораторной установки

# Результаты гидроконверсии нефтяного гудрона в присутствии наноразмерных оксидов и сульфидов металлов

$t=430^{\circ}\text{C}$ ,  $P_{\text{H}_2}=7$  МПа

Металл катализатора (дозировка)	Выход продуктов, мас. %				
	Газ	Гидрогенизат		Водная фаза	Кокс
		н.к.–320°C	>320°C		
<b>Сырье – гудрон</b>					
Без катализатора	14,2	27,1	49,0	–	9,7
Mo (500 ppm)	10,4	28,8	60,0	–	0,8
Ni (500 ppm)	9,7	24,5	64,5	–	1,3
Al (500 ppm)	15,5	25,2	56,5	–	2,8
Zr (500 ppm)	13,7	30,3	53,4	–	2,6
Ni/Mo (50/450 ppm)	11,3	28,0	59,2	–	1,2
Al/Zr (250/250 ppm)	16,3	40,1	35,2	–	5,2
<b>Сырье – гудрон + 18 мас. % древесных опилок</b>					
Без катализатора	17,9	25,8	33,3	5,2	17,8
Mo (500 ppm)	11,9	27,2	51,4	4,7	4,8

# Проект пилотной установки гидроконверсии нефтяного гудрона производительностью 1 кг/ч





**Спасибо за внимание!**