

Проект РНФ 24-23-00351
«Плазмохимический акватермолиз тяжелого
углеводородного сырья»
Отчет первого года выполнения проекта.

Руководитель проекта
к.т.н. Титов Дмитрий Юрьевич

Объект исследования

Таблица. 1. Характеристики исходного сырья.

Сырье	Мазут
Плотность при 20 °С, г/см ³	0,955
Кинематическая вязкость при 100 °С, мм ² /с	31,169
Соотношение С/Н	7,07
Содержание серы, %	2,675
Нелетучий остаток, %	30,6
Температура начала кипения, °С	298,5
Температура конца кипения, °С	671,3
Объем отгона, %	69,4

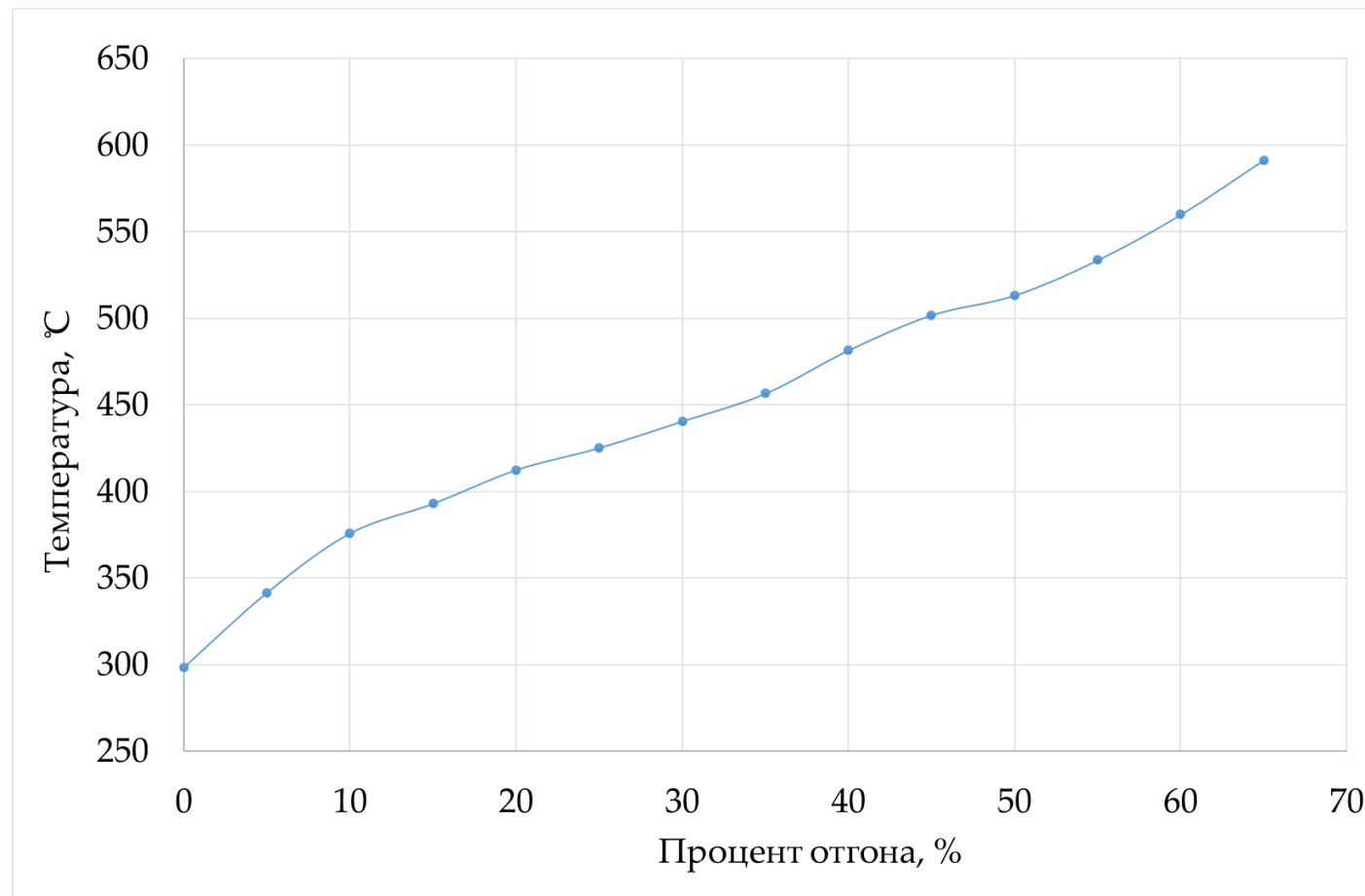
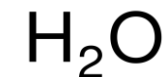


Рисунок 1. Фракционный состав мазута

Влияние воды на процесс плазмохимического пиролиза

- Введение воды в тяжелое углеводородное сырье позволяет снизить вязкость сырья, а также увеличить выход доли газообразных продуктов. Вода выступает в роли донора радикалов водорода ($H\cdot$) и свободные радикалы ($R\cdot$) рекомбинируют с образованием длинноцепочных углеводородов.
- В основе процесса плазмохимического пиролиза смеси тяжелых нефтепродуктов с водой заключается в активировании радикалами водорода, образующихся при распаде молекул воды, длинноцепочечных молекул (смола, асфальтенов, полиароматических соединений).
- Основным преимуществом использования технологии «акватермолиза» с нетермической плазмой заключается в повышении энергоэффективности процесса и снижении эмиссии углекислого газа за счет возможности внедрения «зеленой» электроэнергии.



Вода



Донор водорода



Механизм акватермолиза

- На рисунке 2 показан обобщенный механизм акватермолиза, где одинарные связи C-S разрываются посредством взаимодействия молекул воды.
- Этот шаг запускает серию химических реакций, таких как **перегруппировка**, **декарбонилирование**, **гидродесульфуризация** и реакции сдвига вода-газ, которые приводят к образованию соединений с более низкой молекулярной массой.
- С другой стороны, нестабильные гетероатомные соединения, которые не гидрогенизированы должным образом, подвергаются реакциям полимеризации, образуя соединения с более высокой молекулярной массой, которые могут увеличить вязкость сырой нефти.

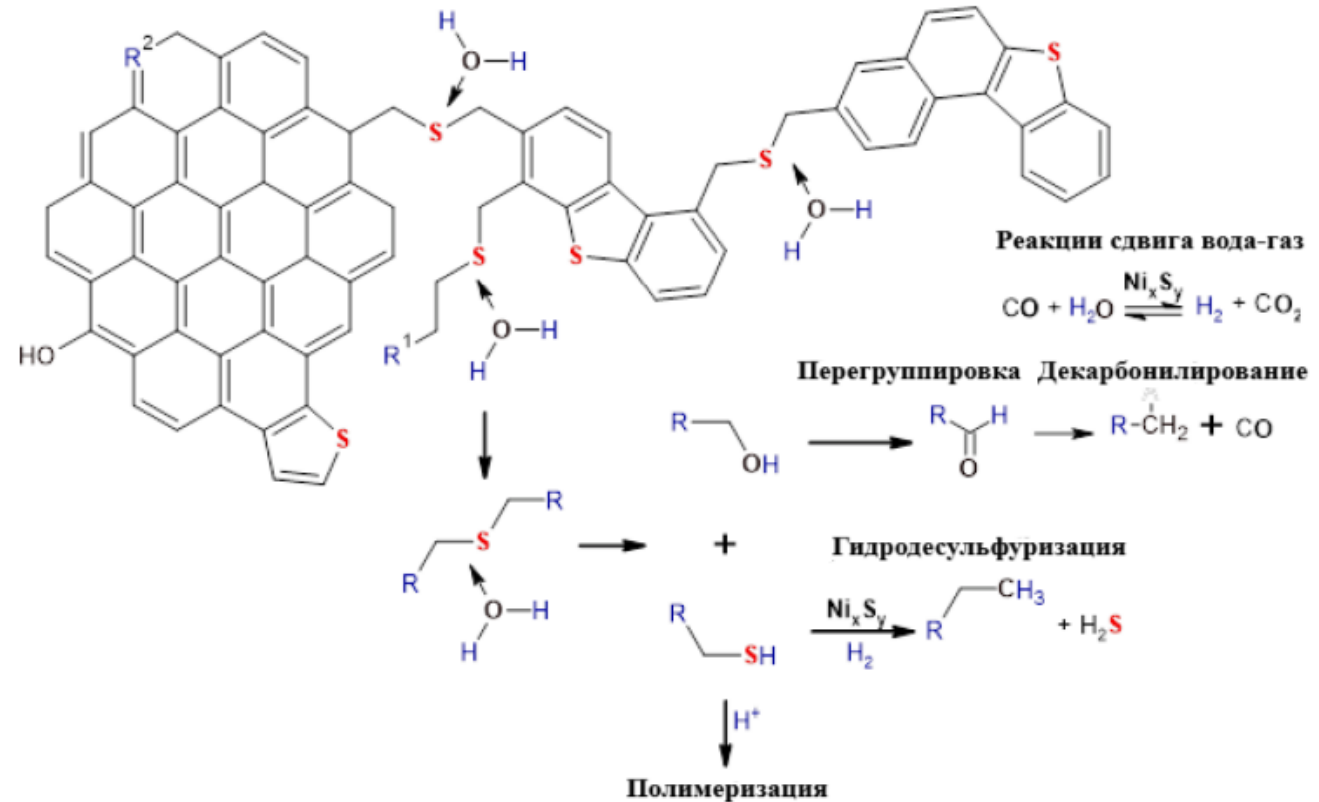


Рисунок 2. Механизм акватермолиза*

*Definition of reaction pathways for catalytic aquathermolysis of Liaohe heavy crude oil, Fuel, <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.126345>.

Механизм акватермолиза

Во время реакции (а) связь C-S подвергается гидролизу. Этот гидролиз катализируется переходными металлами (железо, никель и ванадий), присущими тяжелой нефти. В результате процесса образуются промежуточные спирты и тиоловые соединения. В реакции (б) перегруппировка молекул спирта приводит к образованию альдегидных соединений, термолиз которых приводит к образованию алканов и CO. Впоследствии образовавшийся CO подвергается реакции конверсии водяного газа при высоких температурах с образованием H₂ и CO₂ (в). В конечном итоге карбоксильные соединения подвергаются декарбоксилированию с образованием CO₂ (г). Повышенная температура и длительное время способствуют реакциям (г) и (д) с повышением концентрации CO₂. Образование H₂S объясняется различными механизмами, включая образование свободных радикалов, разрушающих мостиковые связи, гидролиз моно-кольцевой серы и гидрогенизационную десульфурацию (г). Кроме того, возможна гидрогенизация во время акватермолиза в результате переноса водорода с участием воды в качестве донора водорода.

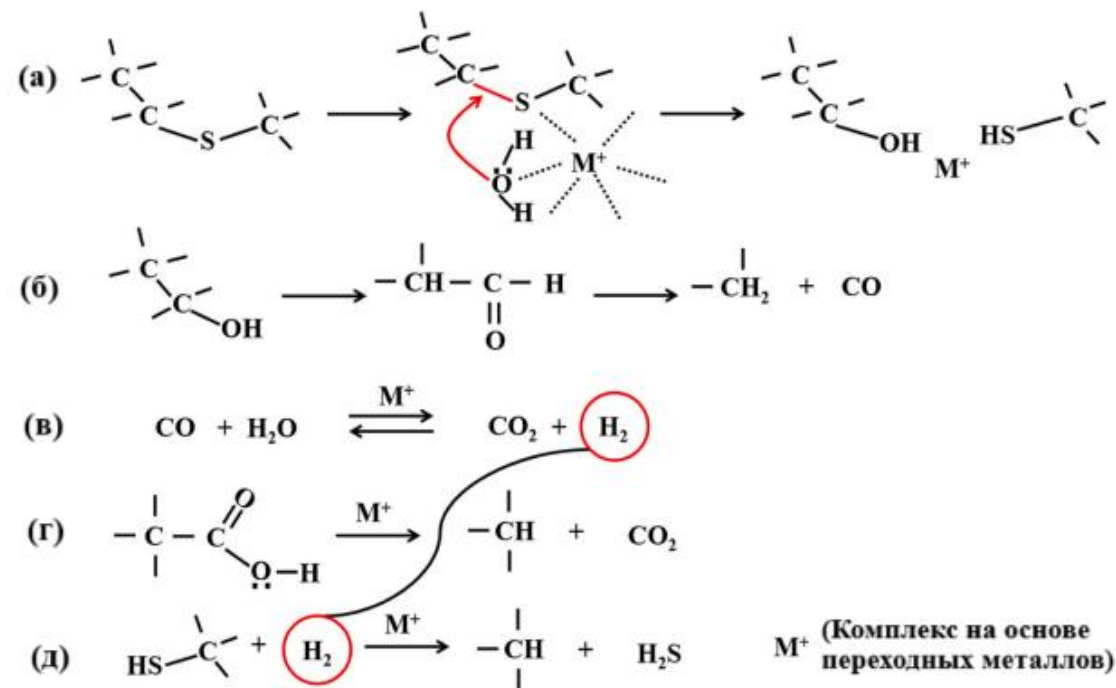


Рисунок 3. Механизм акватермолиза**

**Experimental study on the mechanism of associated gas generation by heavy oil aquathermolysis and thermal cracking during steam injection, Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2024.106722>.



Механизм аквагермолиза

Механизм аквагермолиза предложен путем систематического анализа структурных изменений асфальтенов (рисунок 4). Вода выступает в роли донора радикалов водорода и возможный путь реакции заключается в том, что ароматические и алифатические радикалы дополнительно насыщаются и попадают во фракцию низкомолекулярных соединений. Без участия воды в процессе плазменного пиролиза основными являлись реакции конденсации и полимеризации.

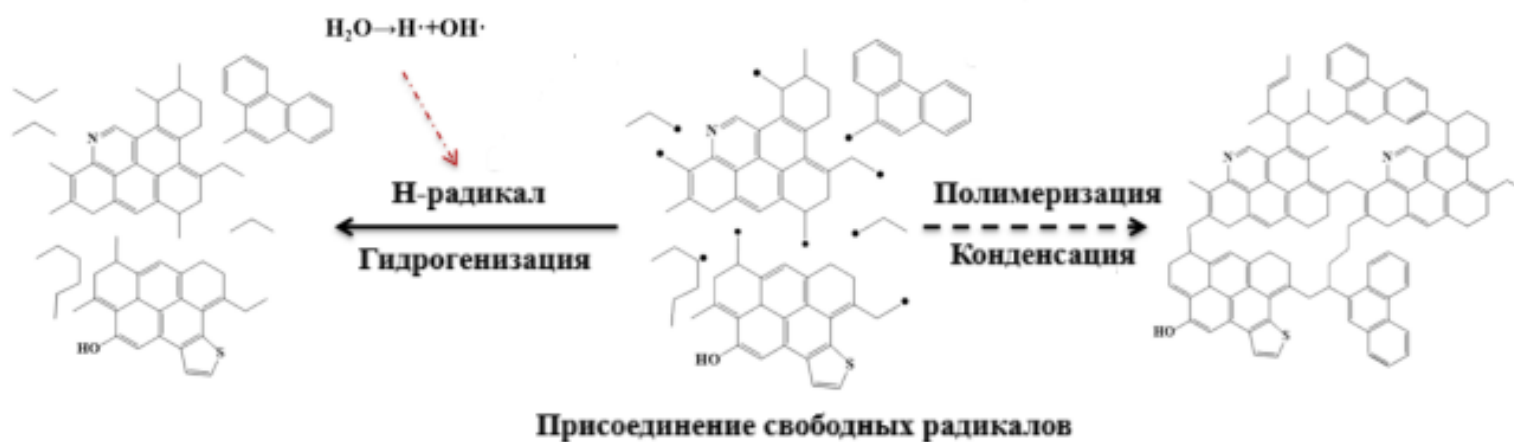


Рисунок 4. Механизм аквагермолиза***

Установка плазмохимического пиролиза

- 1) Многосекционный реактор с переменным объемом от 0.3 до 2.5л (давление до 10 атм, температура до 250 °С);
- 2) Холодильник до -15 С;
- 3) Пробоотборник для анализа продуктов в газовой фазе;
- 4) Система для управления и генерации электрических разрядов;
- 5) Источник постоянного тока EA-PSI 9750-06 2U до 750В;
- 6) Цифровой осциллограф MSO5074 Rigol и система управления генерируемых разрядов;
- 7) Счетчик газа барабанный ВИКС-1 для измерения потока и объема газа.

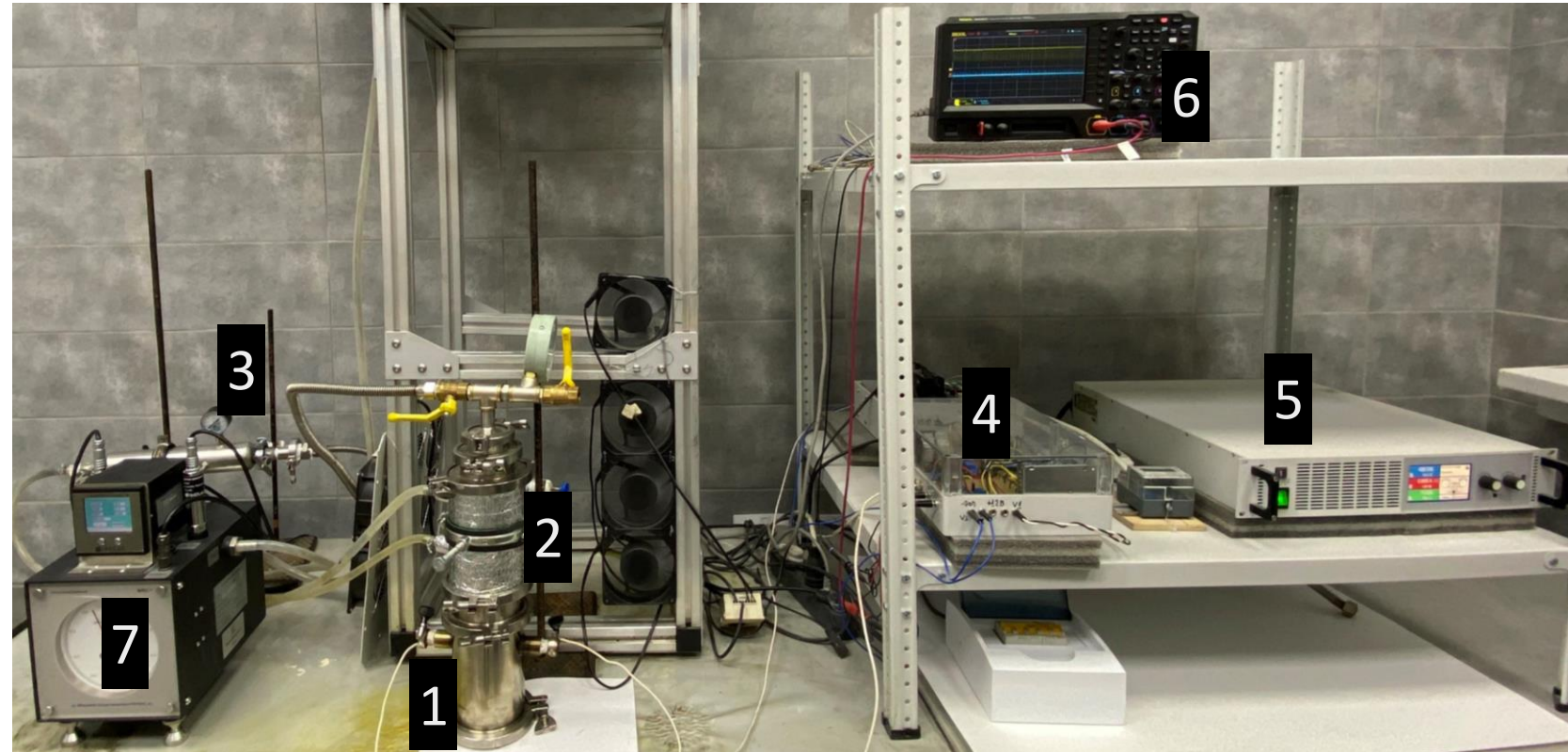


Рисунок 5. Установка для проведения плазмохимического акватермолиза тяжелых нефтепродуктов.

1) Газообразные продукты:

1.1) Газовая хроматография с использованием газового хроматографа «Хроматэк-Кристалл 5000.2» для анализа природного газа по ГОСТ 31371.7-2008 с дополнительной аттестованной газовой смесью (водород, кислород, азот, монооксид углерода, диоксид углерода, метан, этан, этилен, ацетилен, пропан, пропин, бутadiен-1,3 в аргоне).

1) Жидкие продукты и кубовый остаток:

2.1) Фракционный состав по ASTM D7169 с использованием газового хроматографа «Хроматэк-Кристалл 5000.2».

2.2) Содержание серы по ASTM 4294 с использованием рентгено-флуоресцентный анализатора «Lab-X 3500».

2.3) Кинематическая вязкость при 100°C по ASTM D7042 и плотность образца при 20°C по ASTM D4052 с использованием вискозиметра-плотномера Штабингера SVM 3000, «Anton Paar GmbH».

2.4) ИК-спектроскопия с использованием ИК фурье-спектрометра ФСМ 1202.

2.5) ЯМР анализ - ^1H NMR спектры с использованием Bruker Avance III 400 MHz

3) Твёрдые продукты :

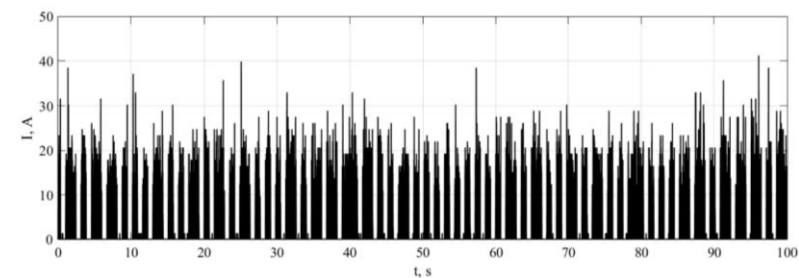
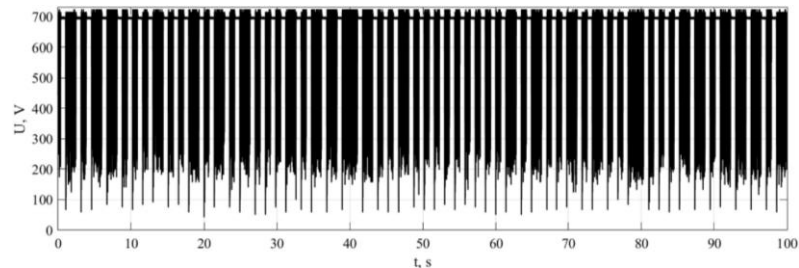
3.1) Анализ CHNS-O проводился с помощью элементного анализатора ЕМА 502 для определения углерода, водорода, азота, серы и кислорода в твердых продуктах с гелием в качестве газа-носителя. 8

Плазмохимический пиролиз смеси мазута с водой

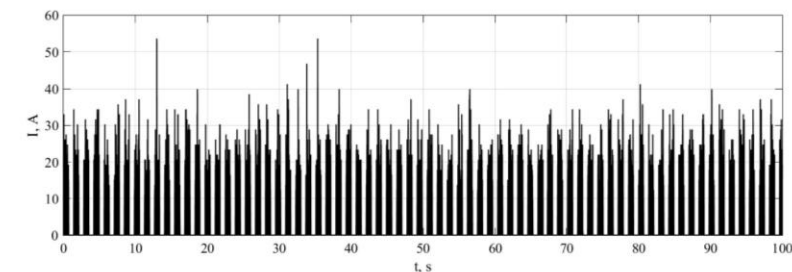
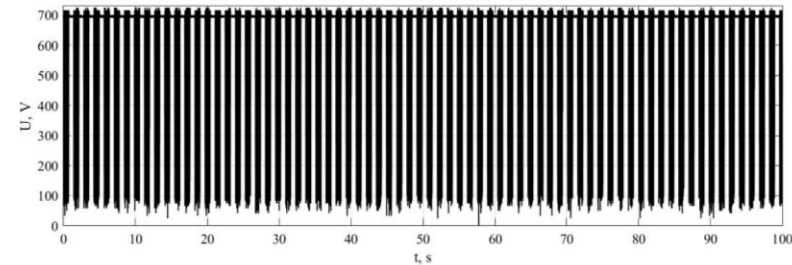
Таблица 2. Характеристики электрических разрядов процесса плазмохимического аквагермолиза смеси мазута с водой при напряжении на источнике постоянного тока 700В и времени процесса 100 минут.

Реакционная система	Мазут (700В)	Смесь мазута с водой				
		1	5	10	15	20
Содержание воды, %масс.	-	1	5	10	15	20
Средняя длительность импульса, мс	1,6	2,4	2,3	2,3	2,4	2,1
Средняя частота импульса, Гц	52,5	42,7	42,5	43,1	42,4	37,5
Средняя амплитуда импульса, А	9,6	12,3	13,0	13,0	13,7	9,0
Средняя энергия импульса, Дж	0,5	1,0	0,9	1,0	1,0	0,5

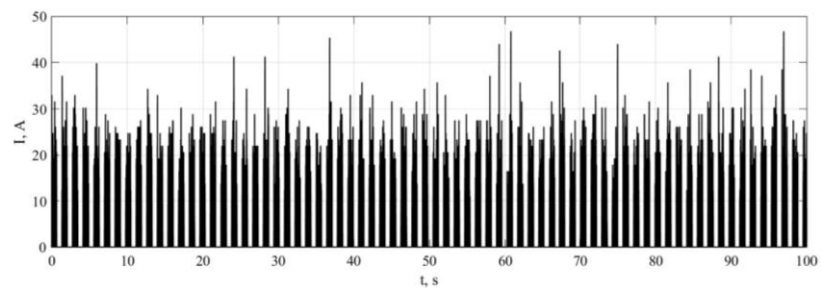
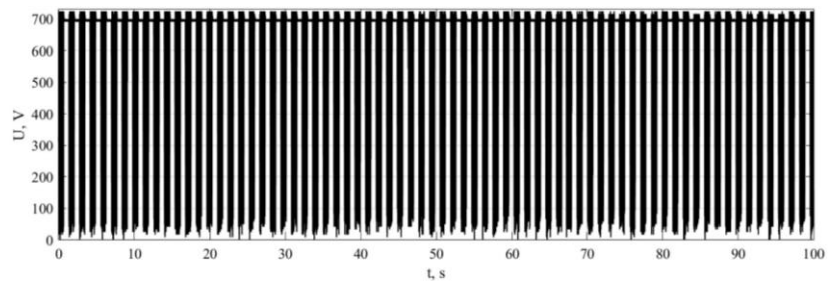
А



Б



В



Г

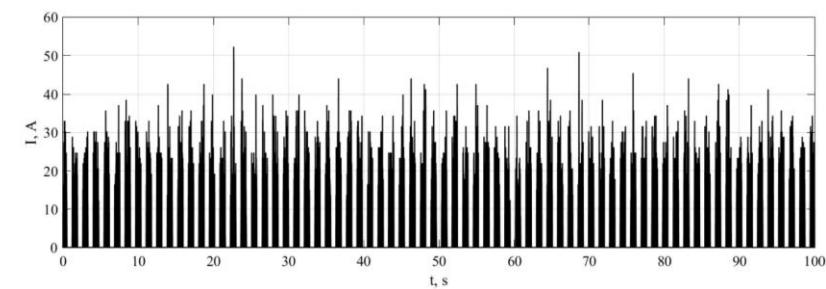
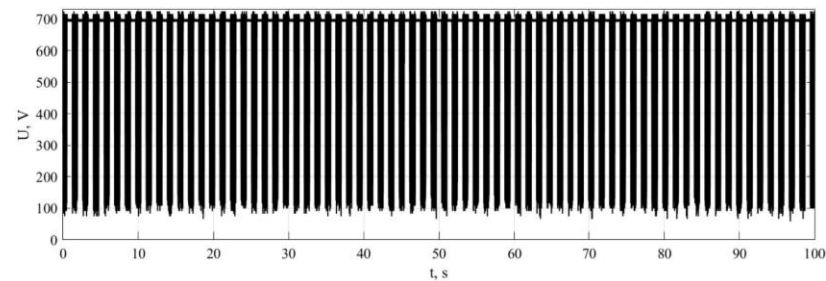
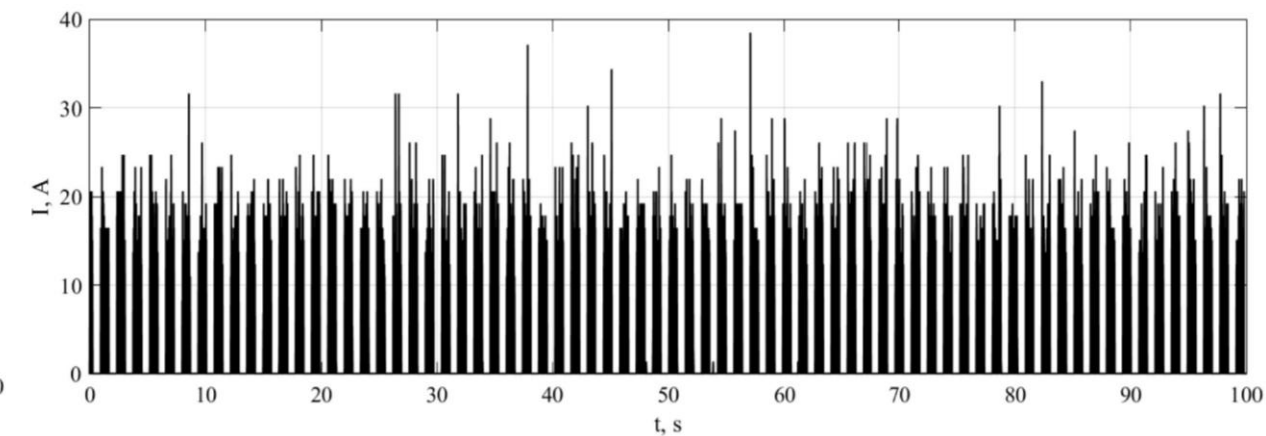
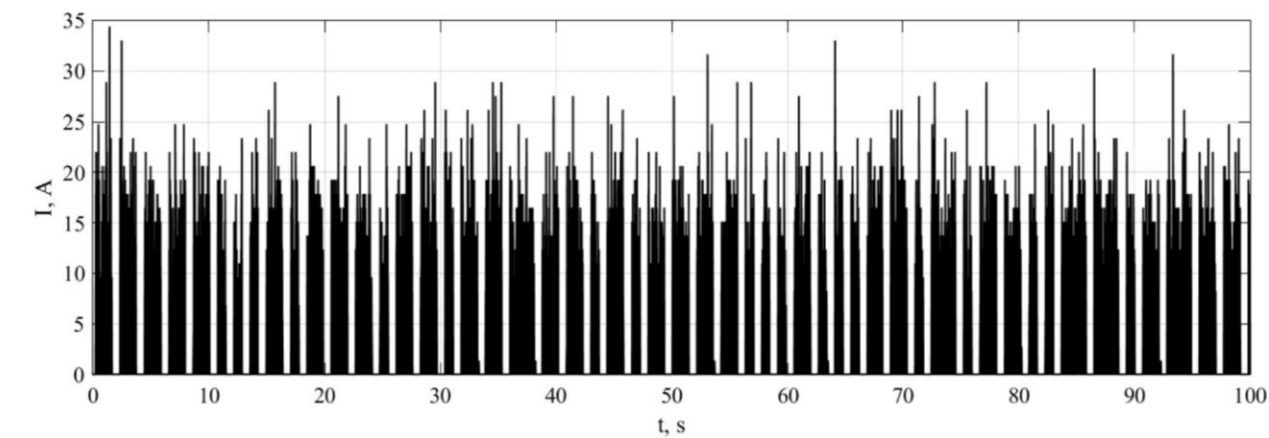
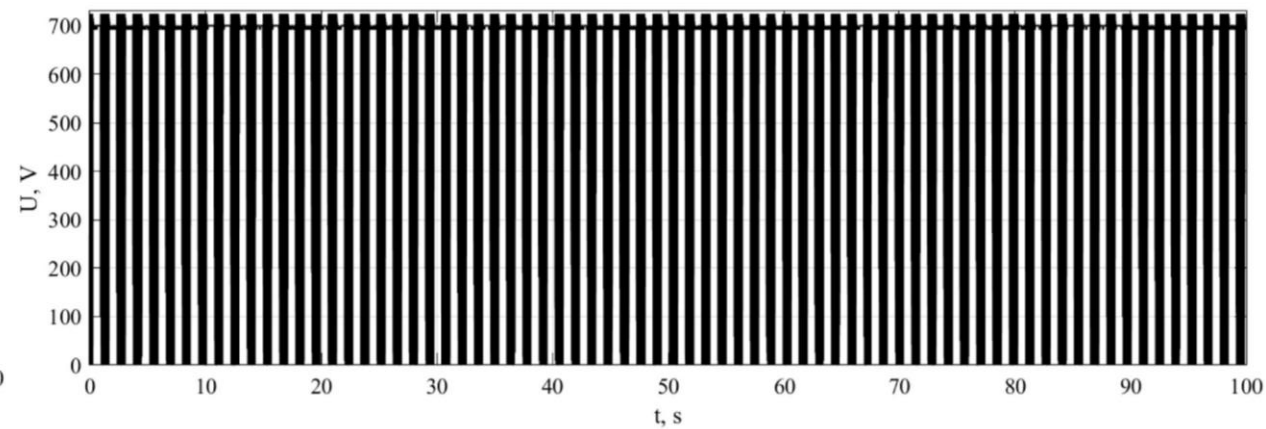
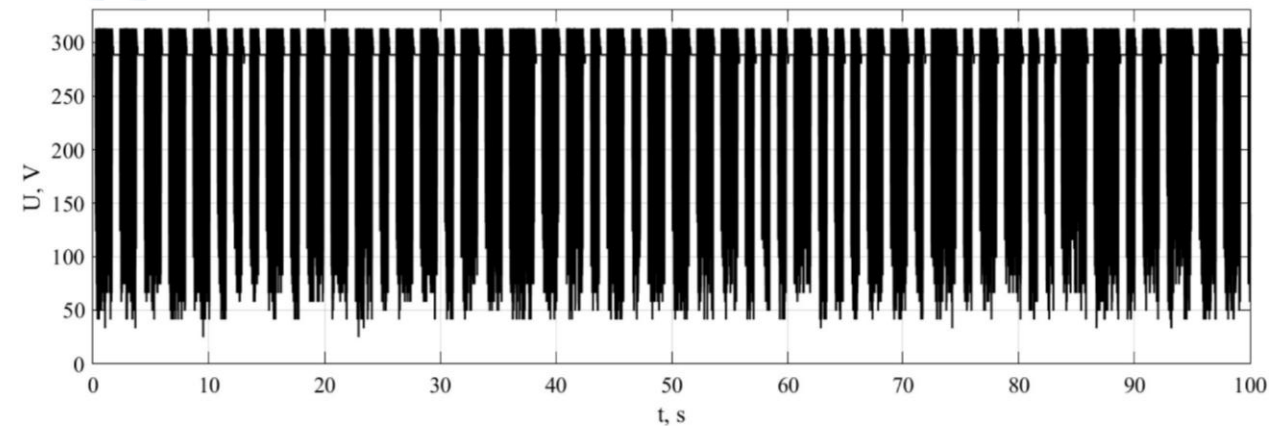


Рисунок 6. Осциллограммы при плазменном пиролизе смеси мазута с водой 700В. Содержание воды: А – 0%, Б – 1%, В – 5%, Г – 10%.

Плазмохимический пиролиз смеси мазута с водой



А

Б

Рисунок 7. Осциллограммы при плазменном пиролизе смеси мазута с водой 700В. Содержание воды: А – 15%, Б – 20%. 11

Таблица 3. Характеристики электрических разрядов при плазмохимическом пиролизе мазута и смеси мазута с водой (15 %масс.) при времени процесса 100 минут.

Реакционная система	Мазут			Смесь мазута с водой (15%масс)		
	300	500	700	300	500	700
Напряжение, В	300	500	700	300	500	700
Средняя длительность импульса, мс	1,8	2,0	1,6	1,9	2,0	2,4
Средняя частота импульса, Гц	57,9	65,5	52,5	56,8	44,7	42,4
Средняя амплитуда импульса, А	9,4	7,7	9,6	7,7	8,6	13,7
Средняя энергия импульса, Дж	0,2	0,4	0,5	0,2	0,4	1,0

А

Б

В

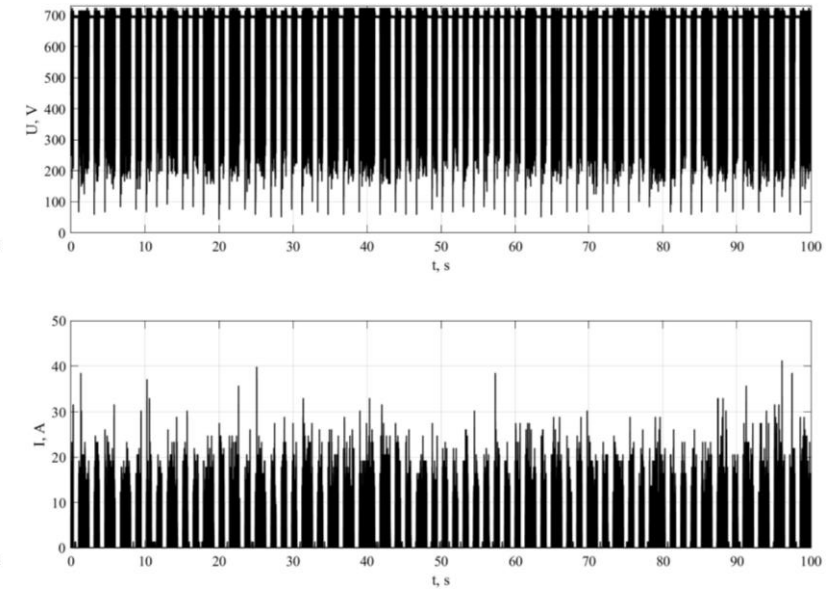
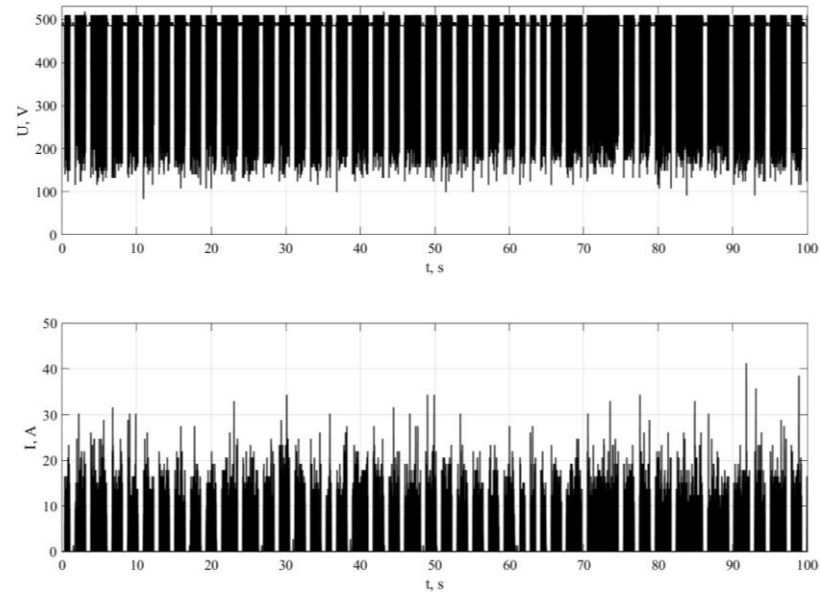
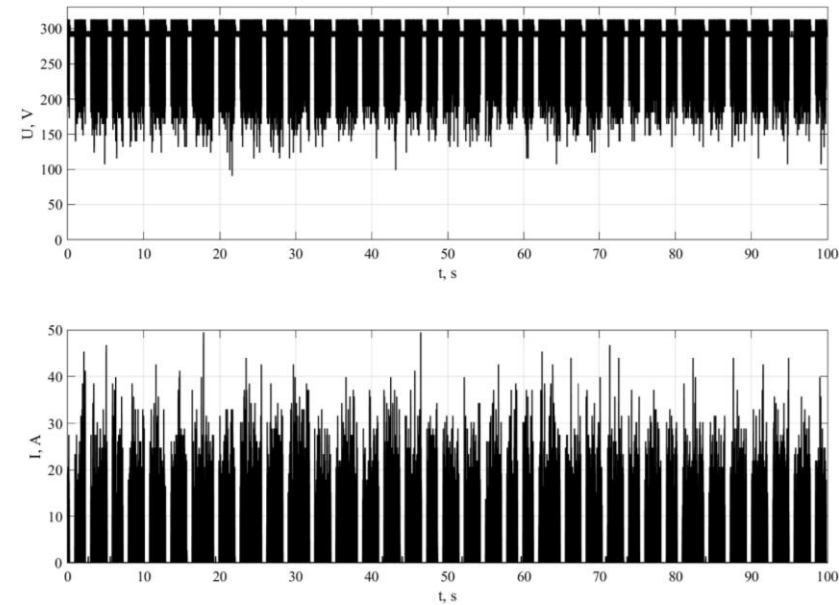


Рисунок 8. Осциллограммы при плазмохимическом пиролизе мазута.
Напряжение: А – 300В, Б – 500В, В – 700В.

Плазмохимический пиролиз смеси мазута с водой (15% масс.) при напряжении 300-700В

А

Б

В

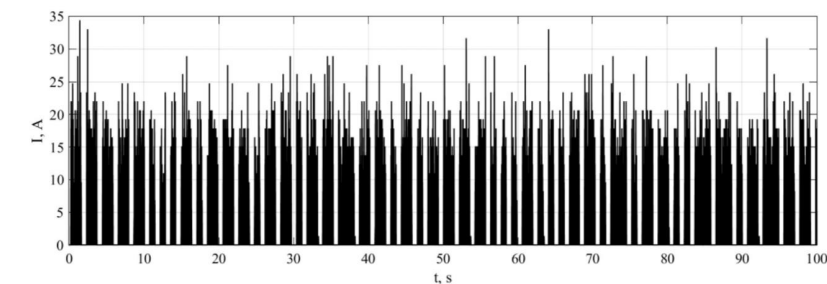
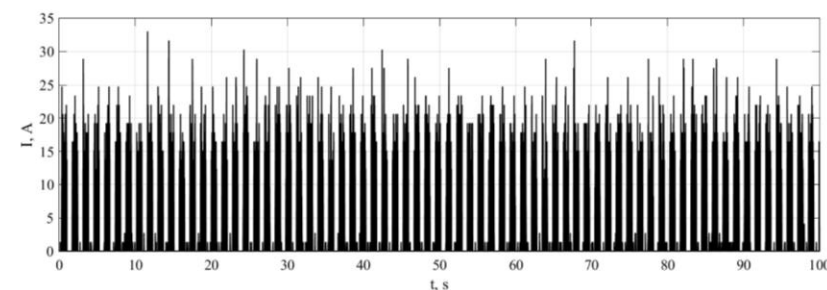
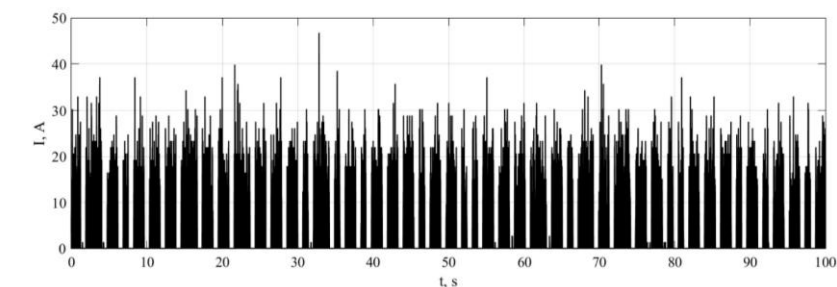
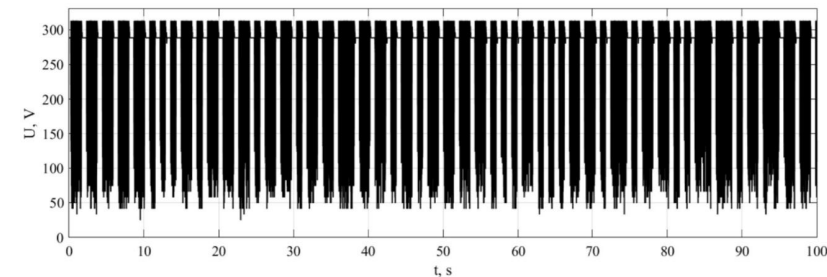
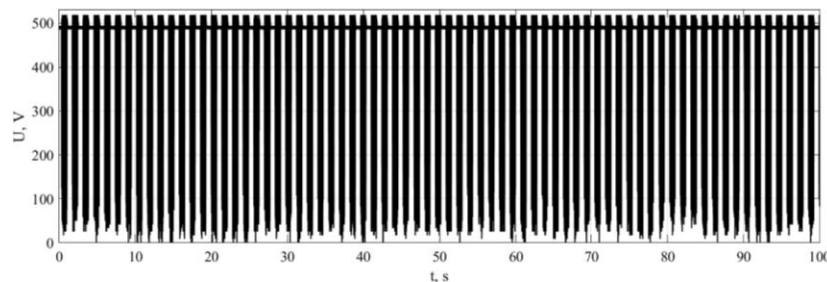
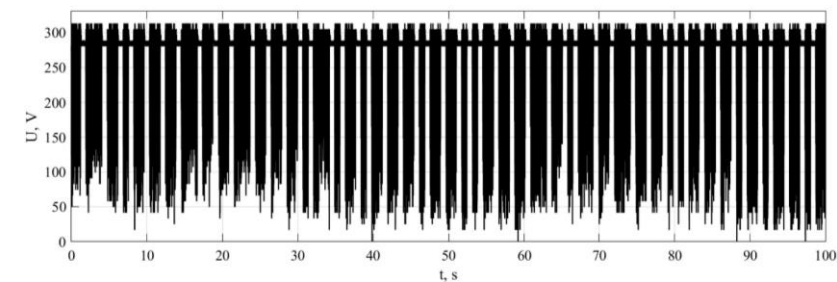


Рисунок 9. Осциллограммы при плазмохимическом пиролизе смеси мазута с водой (15% масс.).
Напряжение: А – 300В, Б – 500В, В – 700В.

Плазмохимический пиролиз мазута и смеси мазута с водой

Таблица 4. Характеристика процесса плазмохимического пиролиза мазута и смеси мазута с водой при напряжении 700В и времени 100 минут.

Реакционная система	Мазут	Смесь мазута с водой				
		1	5	10	15	20
Содержание воды в мазуте, %масс.	-	1	5	10	15	20
Содержание воды после пиролиза, % масс.	-	0,2	0,1	0,3	6,0	6,4
Конверсия по мазуту, %масс	37,8	26,2 ↓	25,7 ↓	24,3 ↓	36,4 ↓	16,9 ↓
Доля газа, %масс.	51,1	42,3 ↓	39,5 ↓	43,7 ↓	49,8 ↓	77,6 ↑
Доля твердых продуктов, %масс.	48,9	57,7 ↑	60,5 ↑	56,3 ↑	50,2 ↑	22,4 ↓
Соотношение С/Н в твердых продуктах	10,9	12,5 ↑	10,1 ↓	11,0 ↑	10,5 ↓	11,5 ↑
Энергопотребление, кВт*ч/кг реакционной системы	5,6	7,0 ↑	7,8 ↑	8,2 ↑	5,6	13,8 ↑
Энергопотребление, кВт*ч/кг газа	10,9	16,5 ↑	19,8 ↑	18,9 ↑	11,3 ↓	17,7 ↑
Поток газа, мл/мин	629,7	402,2 ↓	304,2 ↓	280,4 ↓	578,0 ↑	364,3 ↓

Плазмохимический пиролиз мазута и смеси мазута с водой

Таблица 5. Характеристика процесса плазмохимического пиролиза мазута и смеси мазута с водой (15 %масс.).

Реакционная система	Мазут			Смесь мазута с водой		
	300	500	700	300	500	700
Напряжение, В	300	500	700	300	500	700
Соотношение С/Н в твердых продуктах	-	-	10,9	-	-	10,5
Остаточное содержание воды после пиролиза, %масс.	-	-	-	1,6	1,7	6,0
Конверсия по мазуту, %масс	7,8	32,2	37,8	9,8 ↑	13,4 ↓	36,4 ↓
Доля газа, %масс	23,0	44,2	51,1	29,0 ↑	29,7 ↓	49,8 ↓
Доля твердых продуктов, % масс	77,0	55,8	48,9	71,0 ↓	70,3 ↑	50,2 ↑
Энергопотребление, кВт*ч/кг реакционной системы	14,5	7,1	5,6	15,3 ↑	12,2 ↑	5,6
Энергопотребление, кВт*ч/кг газа	62,9	16,1	10,9	52,5 ↓	41,1 ↑	11,3 ↑
Поток газа, мл/мин	58,5	292,9	629,7	61,9 ↑	80,7 ↓	578,0 ↓

Состав газообразных продуктов плазмохимического пиролиза смеси мазута с водой

Таблица 6. Состав газообразных продуктов при плазмохимическом пиролизе смеси мазута с водой при напряжении 700В и времени 100 минут.

Реакционная система содержание воды, %масс	Мазут	Смесь мазута с водой (%масс)				
	-	1	5	10	15	20
	Концентрация, мол%.					
Состав продуктов в газовой фазе						
H ₂	34,7	45,7 ↑	36,7 ↑	33,0 ↓	51,1 ↑	47,3 ↑
C ₂ H ₂	36,0	31,4 ↓	37,3 ↑	38,6 ↑	28,2 ↓	30,9 ↓
C ₂ H ₄	11,3	9,1 ↓	10,2 ↓	11,1 ↓	7,2 ↓	8,7 ↓
CH ₄	7,6	5,0 ↓	5,9 ↓	6,1 ↓	4,1 ↓	4,6 ↓
C ₃ H ₈	3,3	2,7 ↓	3,1 ↓	3,4 ↑	2,1 ↓	2,6 ↓
neo-C ₅ H ₁₂	2,2	2,0 ↓	2,3 ↑	2,4 ↑	4,0 ↑	2,2
C ₆₊	0,5	0,6 ↑	0,2 ↓	0,7 ↑	0,4 ↓	0,2 ↓
C ₃ H ₄	1,5	1,3 ↓	1,8 ↑	2,0 ↑	1,1 ↓	1,6 ↑
1,3-C ₄ H ₆	1,2	1,0 ↓	1,1 ↓	1,2	0,9 ↓	0,8 ↓
C ₂ H ₆	0,8	0,5 ↓	0,6 ↓	0,7 ↓	0,4 ↓	0,5 ↓
n-C ₄ H ₁₀	0,5	0,4 ↓	0,5	0,5	0,3 ↓	0,4 ↓
i-C ₄ H ₁₀	0,2	0,1 ↓	0,2	0,1 ↓	0,1 ↓	0,0 ↓
i-C ₅ H ₁₂	0,1	0,1	0,0 ↓	0,1	0,0 ↓	0,1
n-C ₅ H ₁₂	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

Состав газообразных продуктов плазменного пиролиза мазута с ВОДОЙ

Таблица 7. Состав газообразных продуктов при плазменном пиролизе мазута в присутствии воды (15%масс.).

Реакционная система Напряжение, В	Мазут			Смесь мазута с водой			
	300	500	700	300	500	700	
Состав продуктов в газовой фазе	Концентрация компонентов в газе, мол%.						
	H ₂	45,8	29,4	34,7	34,7 ↓	21,6 ↓	51,1 ↑
	C ₂ H ₂	33,8	42,9	36,0	36,6 ↑	45,9 ↑	28,2 ↓
	C ₂ H ₄	7,5	10,2	11,3	10,1 ↑	11,6 ↑	7,2 ↓
	CH ₄	5,7	5,9	7,6	5,3 ↓	6,4 ↑	4,1 ↓
	C ₃ H ₈	1,9	3,0	3,3	3,2 ↑	3,4 ↑	2,1 ↓
	neo-C ₅ H ₁₂	1,8	3,3	2,2	4,9 ↑	6,0 ↑	4,0 ↑
	C ₆₊	0,6	0,6	0,5	0,5 ↓	0,5 ↓	0,4 ↓
	C ₃ H ₄	1,1	2,3	1,5	2,1 ↑	1,8 ↓	1,1 ↓
	1,3-C ₄ H ₆	0,7	1,0	1,2	1,0 ↑	1,2 ↑	0,9 ↓
	C ₂ H ₆	0,5	0,6	0,8	0,9 ↑	0,9 ↑	0,4 ↓
	n-C ₄ H ₁₀	0,3	0,4	0,5	0,5 ↑	0,5 ↑	0,3 ↓
	i-C ₄ H ₁₀	0,2	0,3	0,3	0,1 ↓	0,1 ↓	0,1 ↓
	n-C ₅ H ₁₂	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

Оценка рентабельности технологии плазмохимического пиролиза смеси мазута с водой

Таблица 8. Сравнение рентабельности технологии плазмохимического пиролиза мазута и реакционной системы мазут-вода (15%масс.).

Продукты	Цена, \$/т	Плазмохимический пиролиз мазута		Плазмохимический пиролиз системы мазут-вода	
		Выход, %масс	Итого, руб	Выход, %масс	Итого, руб
Водород	2000	1,79	3 222	3,08	5 544
Ацетилен	3500	24,07	75 821	22,15	69 773
Этилен	1250	8,13	5 122	6,12	6 885
Метан	700	3,11	1 959	1,97	1 241
Этан	160	0,58	84	0,37	53
Пропан-бутан	210	8,11	1 533	6,29	1 189
Бензин	800	5,31	3 823	9,83	7 074
Кокс нефтяной	250	48,90	11 003	50,20	11 295
Итого		100	102 566	100	103 054
Доход с 1 т, руб			47 566		51 604

Таблица 9. Расходы на сырье при добавлении 15% масс. воды.

Статья расхода	Затраты, р/т сырья
Мазут, р/т	22 950
Дистиллированная вода	450
Электроэнергия (5600 кВт*ч/т) при цене 5р/кВт*ч	28 000
Итого, руб	51 400



Характеристики кубовых остатков плазмохимического пиролиза смеси мазута с водой

Таблица 10. Характеристика мазута и жидких продуктов плазмохимического пиролиза смеси мазута с водой при напряжении 700В и времени проведения процесса 100 минут.

Реакционная смесь	Мазут (сырье)	Мазут (700В)	Смесь мазута с водой				
			1	5	10	15	20
Исходное содержание воды, %масс.	-	-	1	5	10	15	20
Исходное содержание серы, %	2,7	2,2	2,3 ↑	2,3 ↑	2,3 ↑	2,1 ↓	2,3 ↑
Остаточное содержание воды после пиролиза, %масс	-	-	0,2	0,1	0,3	6,0	6,4
Содержание серы после упаривая воды в продуктах пиролиза, %масс.	-	-	2,4 ↑	2,4 ↑	2,3	2,5 ↑	2,4 ↑
Содержание твердых структур после фильтрации продуктов пиролиза, %масс	-	22,9	17,0 ↓	17,3 ↓	15,3 ↓	22,3 ↓	4,4 ↓

Характеристики кубовых остатков плазмохимического пиролиза смеси мазута с водой

Таблица 11. Характеристика мазута и жидких продуктов плазмохимического пиролиза смеси мазута с водой 15%масс.

Реакционная смесь	Мазут (сырье)	Мазут (700В)			Смесь мазута с водой		
		300	500	700	300	500	700
Напряжение, В	-	300	500	700	300	500	700
Исходное содержание серы, %	2,7	2,5	2,4	2,2	2,3 ↓	2,5 ↑	2,1 ↓
Остаточное содержание воды после пиролиза, %масс	-	-	-	-	1,6	1,7	6,0
Содержание серы после упаривая воды в продуктах пиролиза, %масс.	-	-	-	-	2,6 ↑	2,6 ↑	2,5 ↑
Содержание твердых структур после фильтрации продуктов пиролиза, %масс	-	6,1	21,0	22,9	7,1 ↑	9,8 ↓	15,7 ↓

Результаты ЯМР анализа образцов плазмохимического пиролиза смеси мазута с водой

Таблица 12. Результаты ЯМР ^1H анализа продуктов плазмохимического пиролиза смеси мазута с водой при напряжении 700В (растворы образцов в CDCl_3 отфильтрованы через мембранный фильтр). Вода предварительно упарена

Диапазон хим. сдвигов, м.д.	9,0-8,3	8,3-7,25	7,24-6,5	4,4-2,4	2,4-2,1	2,1-1,05	1,05-0,3	F_{HA}
Образец	$H_{ar}, \%$			$H_{al}, \%$				
Мазут (сырье)	0,19	2,26	2,55	7,85	2,78	62,83	21,55	0,0499
Мазут без добавок, 700В	0,44	3,57	2,18	8,57	2,72	61,25	21,68	0,0613
Мазут (1% H_2O)	0,32	3,11	2,11	7,91	2,57	62,16	21,82	0,0554
Мазут (5% H_2O)	0,28	2,87	2,18	7,54	2,65	61,77	22,70	0,0534
Мазут (10% H_2O)	0,29	3,03	2,03	8,02	2,81	62,23	21,59	0,0535
Мазут (15% H_2O)	0,29	2,98	2,06	7,70	2,67	62,00	22,29	0,0533
Мазут (20% H_2O)	0,31	2,96	2,04	7,77	2,70	61,63	22,60	0,0530

Таблица 13. Результаты ЯМР ^{13}C анализа продуктов плазмохимического пиролиза смеси мазута с водой при напряжении 700В (растворы образцов в CDCl_3 отфильтрованы через мембранный фильтр). Вода предварительно упарена

Диапазон хим. сдвигов, м.д.	155-135	135-115	60-5	F_{CA}
Образец	$C_{ar}, \%$		$C_{al}, \%$	
Мазут (сырье)	3,27	7,12	89,61	0,104
Мазут без добавок, 700В	5,66	8,67	85,67	0,143
Мазут (1% H_2O)	3,64	11,88	84,48	0,155
Мазут (5% H_2O)	4,11	12,36	83,54	0,165
Мазут (10% H_2O)	3,75	12,79	83,46	0,165
Мазут (15% H_2O)	4,77	12,11	83,13	0,169
Мазут (20% H_2O)	4,49	11,99	83,52	0,165

Результаты ЯМР анализа образцов плазмохимического пиролиза смеси мазута с водой

Таблица 14. Результаты ЯМР ^1H продуктов плазмохимического пиролиза смеси мазута с водой (растворы образцов в CDCl_3 отфильтрованы через мембранный фильтр). Вода предварительно упарена.

Диапазон хим. сдвигов, м.д. Образец	9.0-8.3	8.3-7.25	7.24-6.5	4.4-2.4	2.4-2.1	2.1-1.05	1.05-0.3	F_{HA}
	H_{ar} , %			H_{al} , %				
Мазут (сырье)	0,19	2,26	2,55	7,85	2,78	62,83	21,55	0,0499
Мазут 300В	0,35	3,03	2,09	8,34	2,71	62,03	21,44	0,0548
Мазут 500В	0,57	4,23	2,18	9,77	2,74	60,08	20,44	0,0697
Мазут 700В	0,44	3,57	2,18	8,57	2,72	61,25	21,68	0,0613
Мазут (15% H_2O , 300 В)	0,36	3,18	1,79	8,95	3,27	60,96	21,50	0,0533
Мазут (15 % H_2O , 500 В)	0,38	3,26	1,66	9,03	2,92	60,77	21,99	0,0530
Мазут (15 % H_2O , 700 В)	0,29	2,98	2,06	7,70	2,67	62,00	22,29	0,0533

Таблица 15. Результаты ЯМР ^{13}C анализа продуктов плазмохимического пиролиза смеси мазута с водой (растворы образцов в CDCl_3 отфильтрованы через мембранный фильтр). Вода предварительно упарена.

Диапазон хим. сдвигов, м.д. Образец	155-135	135-115	60-5	F_{CA}
	C_{ar} , %		C_{al} , %	
Мазут (сырье)	3,27	7,12	89,61	0,104
Мазут 300В	4,64	9,29	86,08	0,139
Мазут 500В	4,98	16,14	78,88	0,211
Мазут 700В	5,66	8,67	85,67	0,143
Мазут (15% H_2O , 300В)	4,27	12,42	83,31	0,167
Мазут (15% H_2O , 500В)	4,18	12,91	82,91	0,171
Мазут (15 % H_2O , 700 В)	4,77	12,11	83,13	0,169

ИК-анализ продуктов плазмохимического пиролиза смеси мазута с водой

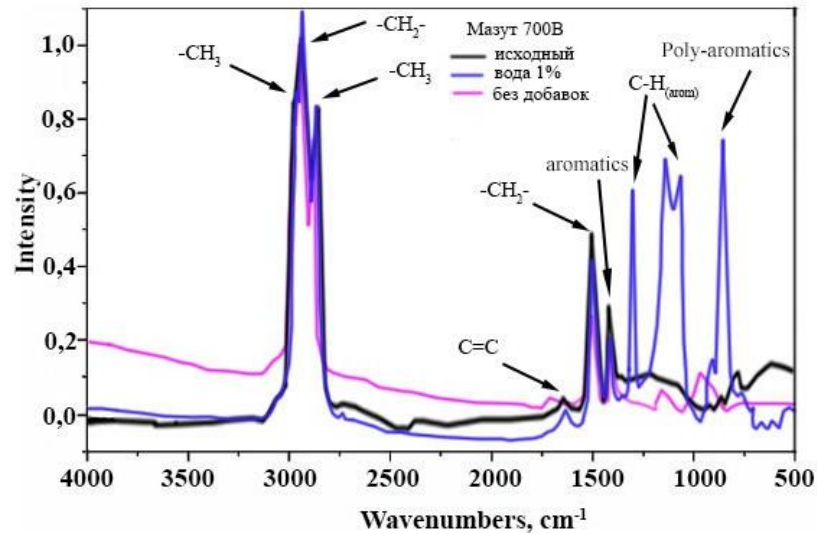


Рисунок 10. ИК-спектры мазута и жидких продуктов плазмохимического пиролиза смеси мазута с водой (1% масс.)

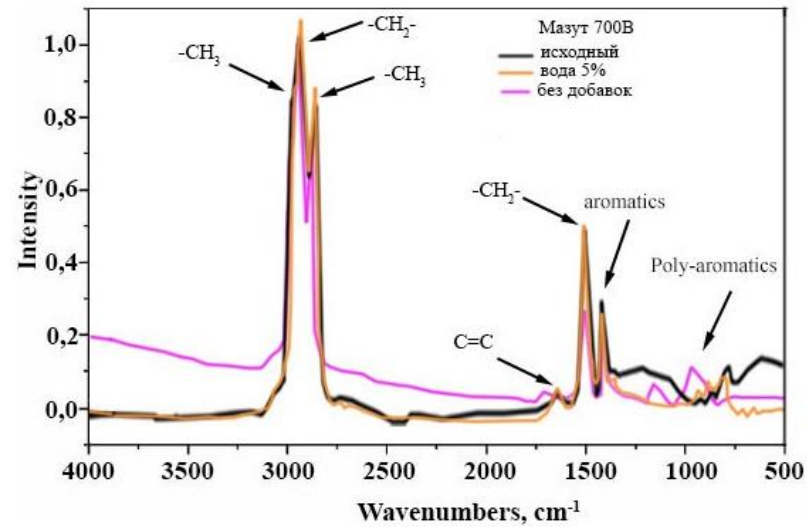


Рисунок 11. ИК-спектры мазута и жидких продуктов плазмохимического пиролиза смеси мазута с водой (5% масс.)

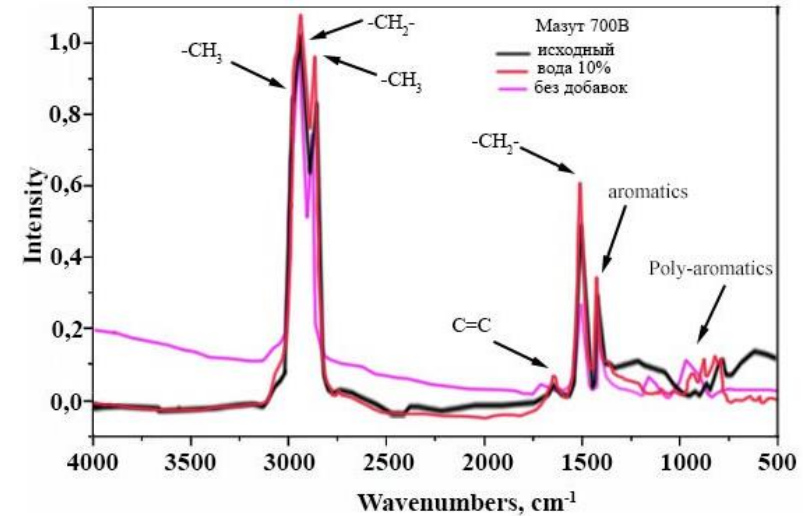


Рисунок 12. ИК-спектры мазута и жидких продуктов плазмохимического пиролиза смеси мазута с водой (10% масс.)

- Для проведения ИК анализа продуктов плазмохимического пиролиза смеси мазута с водой предварительно упарена вода

ИК-анализ продуктов плазмохимического пиролиза смеси мазута с водой

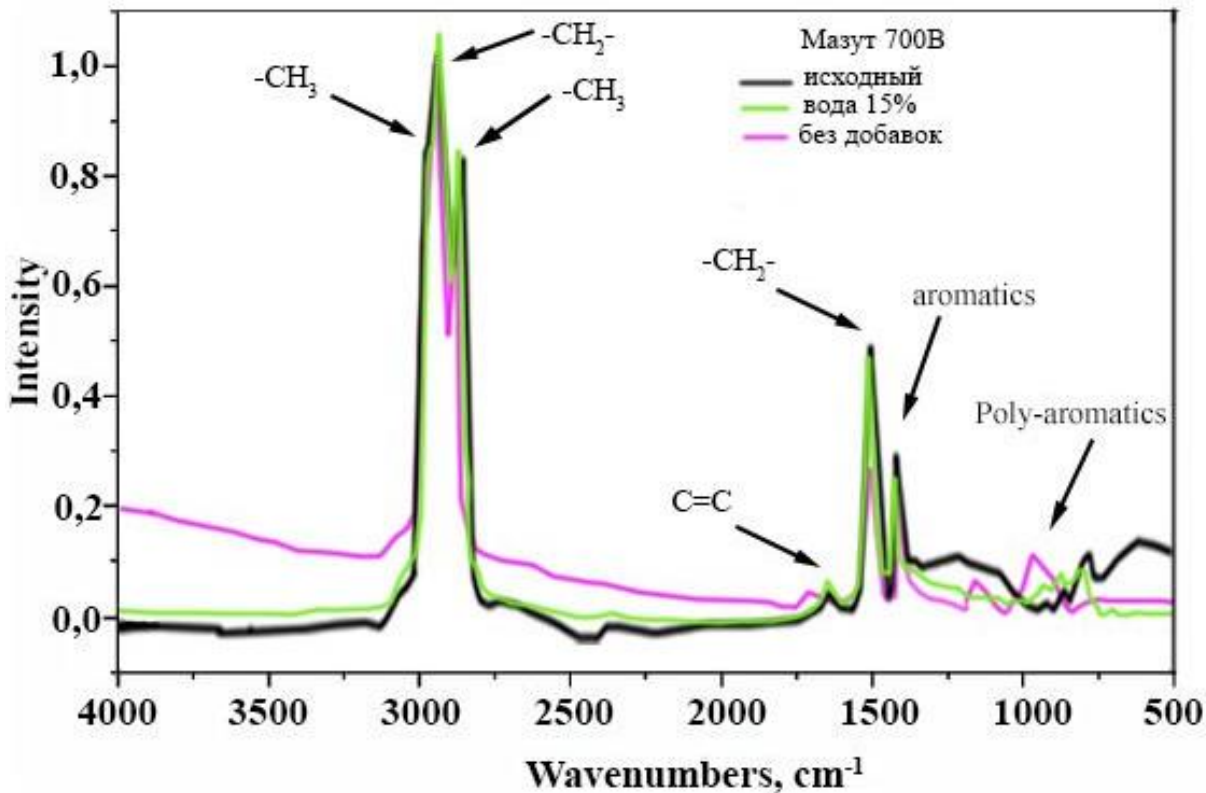


Рисунок 13. ИК-спектры мазута и жидких продуктов плазмохимического пиролиза смеси мазута с водой (15% масс.)

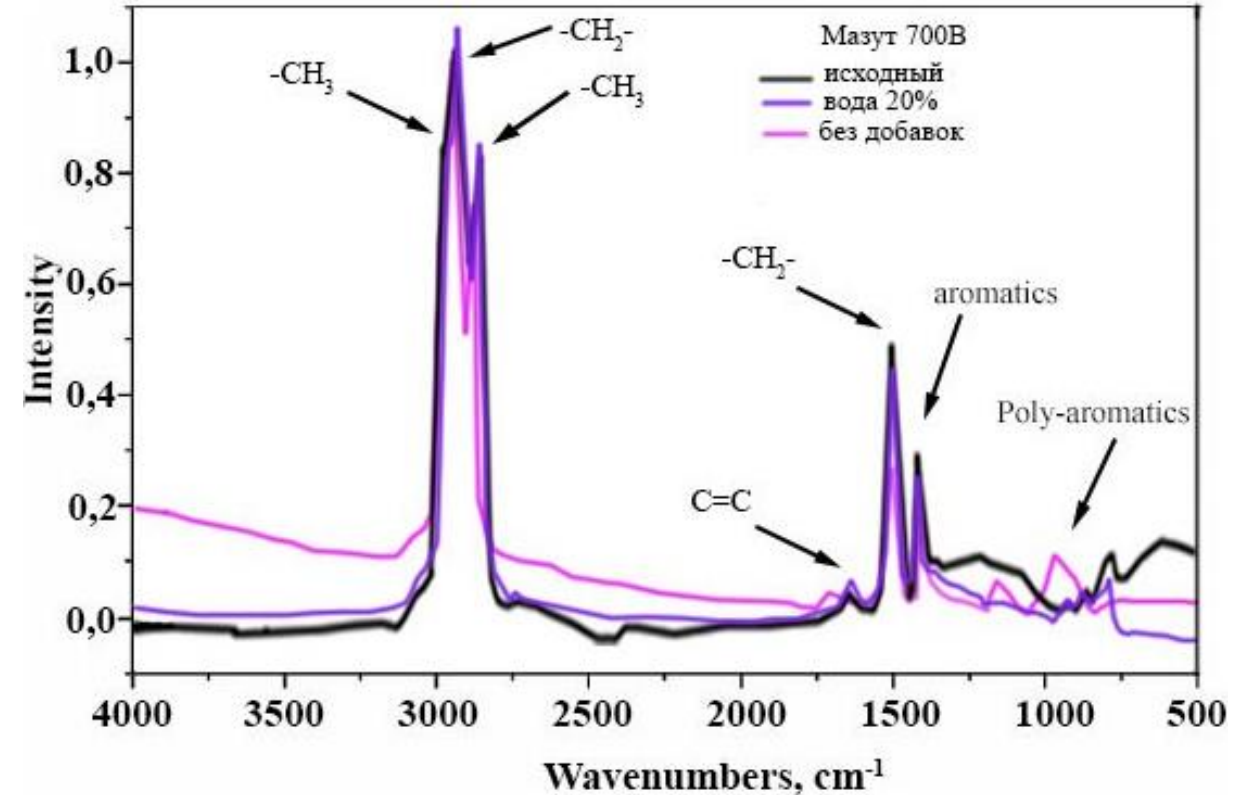


Рисунок 14. ИК-спектры мазута и жидких продуктов плазмохимического пиролиза смеси мазута с водой (20% масс.)

ИК-анализ продуктов плазмохимического пиролиза смеси мазута с водой при напряжении 300 и 500В

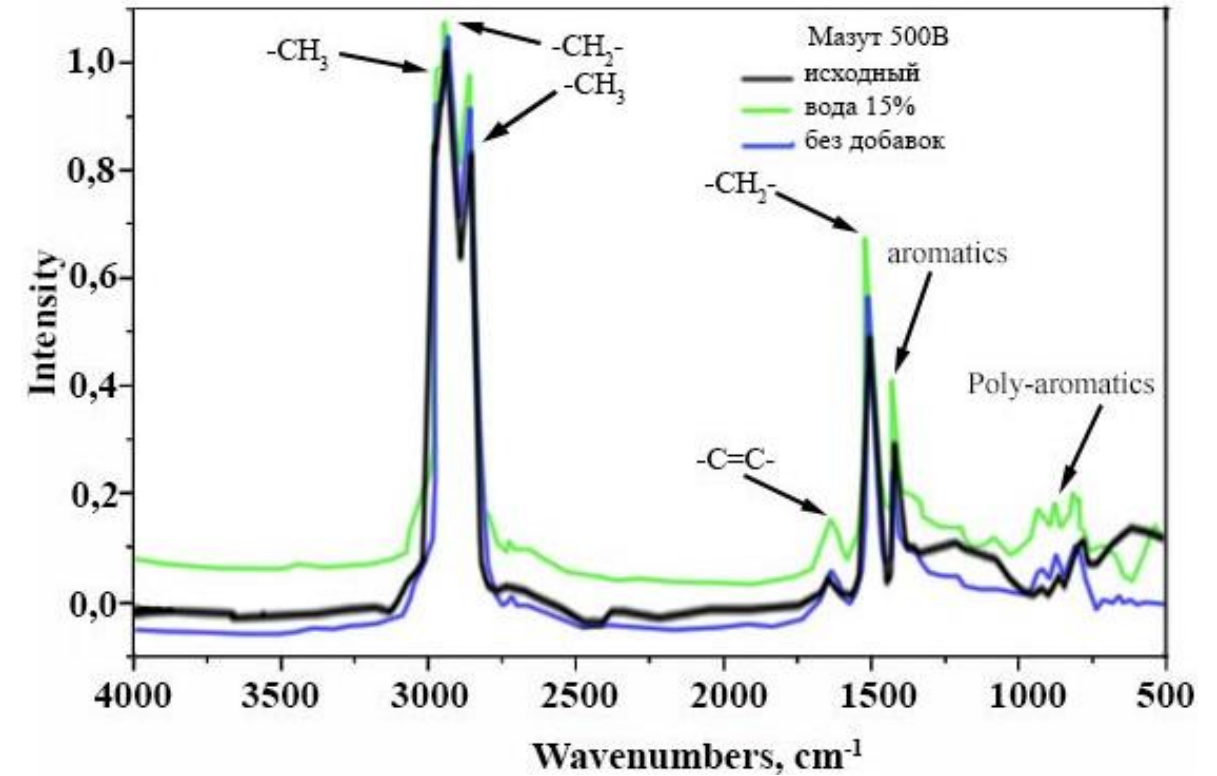
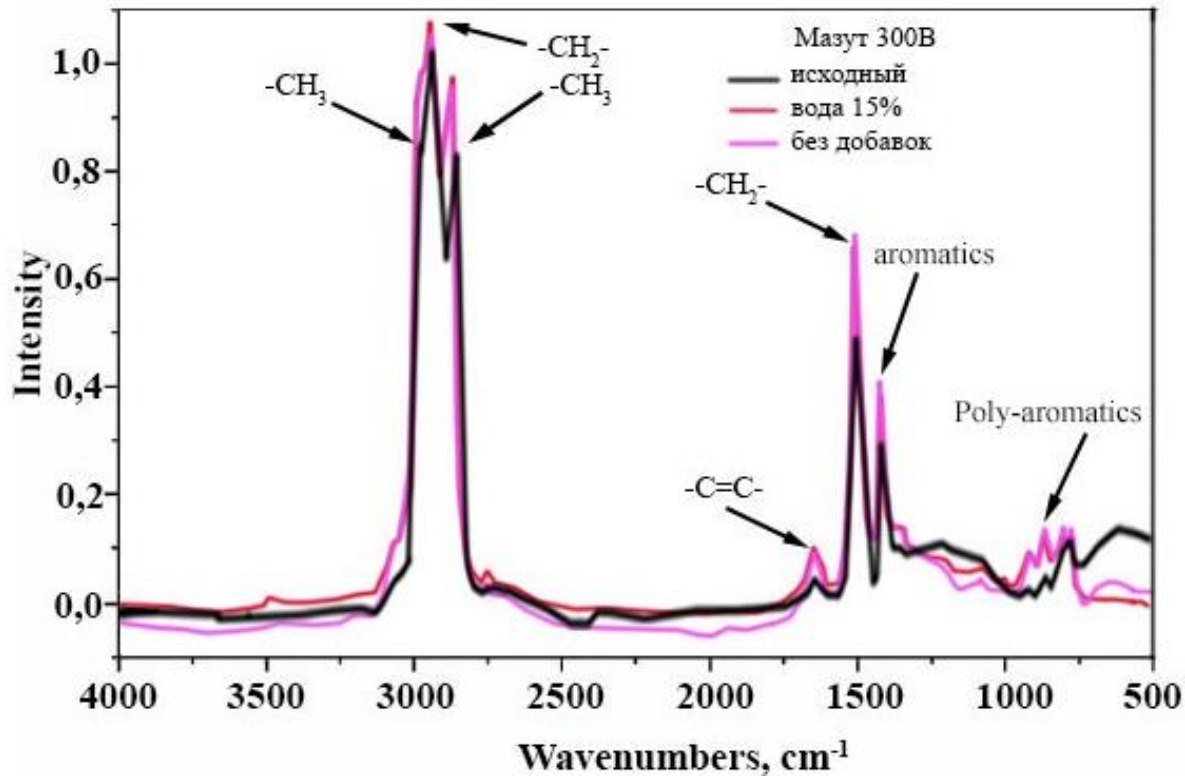


Рисунок 14. ИК-спектры мазута и жидких продуктов плазмохимического пиролиза смеси мазута с водой (15% масс.) при напряжении 300В

Рисунок 15. ИК-спектры мазута и жидких продуктов плазмохимического пиролиза смеси мазута с водой (15% масс.) при напряжении 500В

Плазмохимический пиролиз смеси мазута с водой

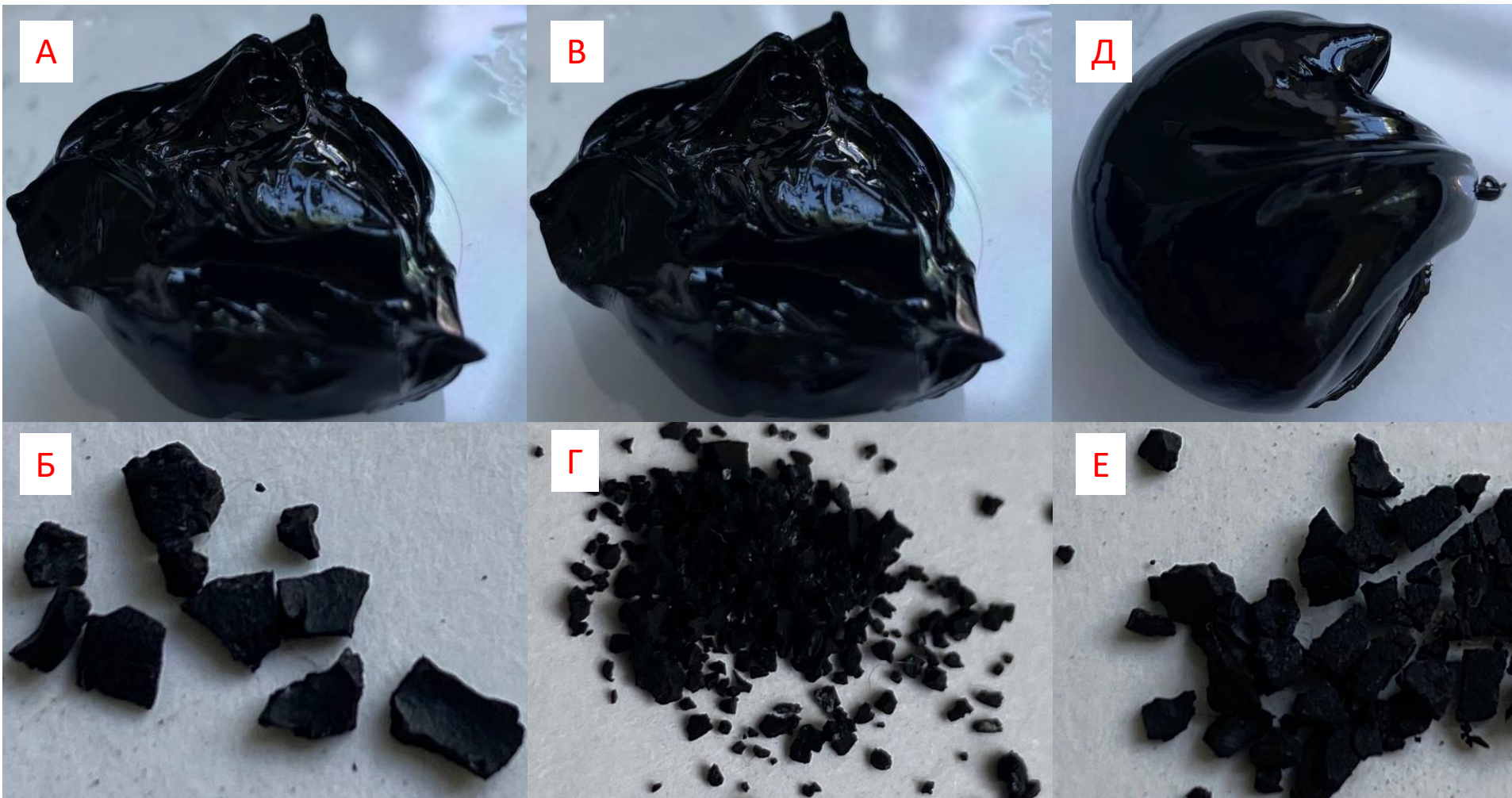


Рисунок 16. А, В, Д – кубовые остатки пиролиза смеси мазута с водой (1, 5, 10%масс.),
Б, Г, Е – твердые продукты после экстракции гептаном и фильтрации (1, 5, 10%масс.).

Плазмохимический пиролиз смеси мазута с водой



Рисунок 17. **А** – кубовый остаток плазмохимического пиролиза смеси мазута с водой (15%масс.),
Б – твердый продукт после экстракции гептаном и фильтрации (15%масс.).

Рисунок 18. **В** – кубовый остаток плазмохимического пиролиза смеси мазута с водой (20%масс.),
Г – твердый продукт (20%масс.).

Плазмохимический пиролиз смеси мазута с водой

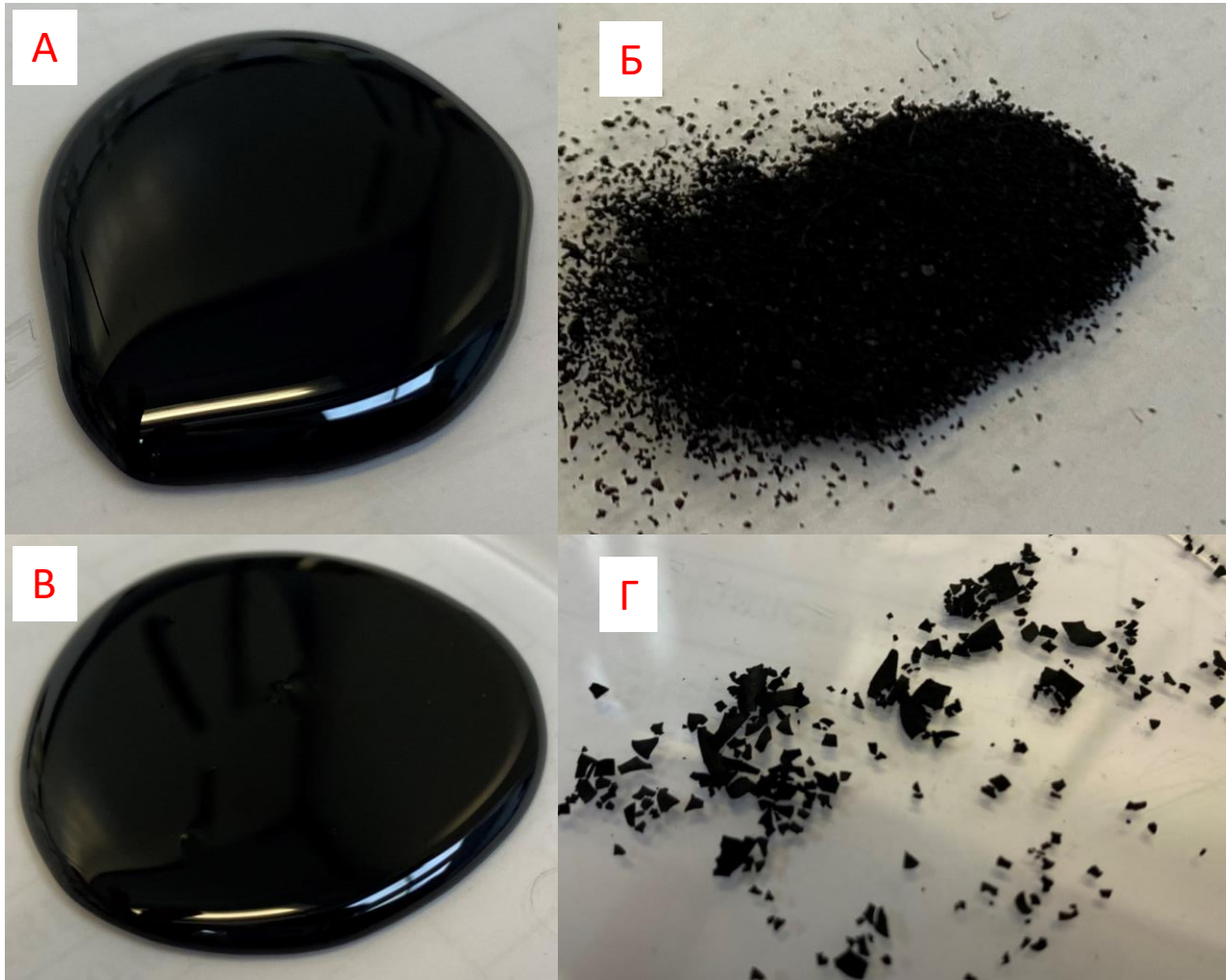


Рисунок 18. **А** – кубовый остаток плазмохимического пиролиза смеси мазута с водой (15%масс.) при напряжении 300В, **Б** – твердый продукт после экстракции гептаном и фильтрации 300В (15%масс.).

Рисунок 19. **В** – кубовый остаток плазмохимического пиролиза смеси мазута с водой (15%масс.) при напряжении 500В, **Г** – твердый продукт 500В (15%масс.).