

**V Всероссийская (с международным участием) молодежная  
научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»**

103-1

**20-22 октября 2022 года**

---

---

**УДК 620.9**

Н.Д. ВИЛИСОВ, студент группы ТЭм-221, техник научно-исследовательской лаборатории катализа и преобразования углеродсодержащих материалов с получением полезных продуктов (КузГТУ)

Научный руководитель: К.Ю. УШАКОВ, старший преподаватель, научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории катализа и преобразования углеродсодержащих материалов с получением полезных продуктов (КузГТУ) г. Кемерово

**ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПИРОЛИЗА РЕЗИНОВОЙ КРОШКИ  
НА СОСТАВ ПИРОЛИЗНОГО ГАЗА**

Существующие способы переработки отходов резинотехнических изделий, в частности переработки шин, не подлежащих восстановлению, можно разделить на механические и термические. Цель механических способов переработки – получение резиновой крошки либо продукта, химические свойства которого не отличаются от первоначального сырья (резиновый регенерат). Однако эти способы имеют ряд недостатков: чрезмерное энергопотребление, высокая изнашиваемость оборудования и низкая производительность, при этом не вся продукция при производстве резиной крошки находит своё применение. Целью термических способов является использование энергетического потенциала резинотехнических отходов для дальнейшего использования в различных отраслях. К таким способам можно отнести пиролиз – нагревание материала без доступа кислорода [1]. При этом к нетрадиционному направлению использования газообразного продукта процесса пиролиза можно отнести его использование в качестве сырья для получения водорода. Настоящее исследование направлено на определение влияния температуры процесса на количество газообразного водорода в продуктах пиролитической переработки резиной крошки. В качестве сырья в работе использовалась измельченная фракция (2-4 мм) отходов крупногабаритных шин карьерных самосвалов, полученная на установке ООО «СибЭкоПром» и предоставленная компанией АО ХК «СДС-Уголь». Их основные характеристики приведены в табл. 1.

Таблица 1.

**Характеристики исходного сырья**

Образец	Технический анализ (мас%)		Элементный анализ (мас%)					$Q$ (МДж·кг <sup>-1</sup> )
	W	A	C	H	N	S	O	
Резиновая крошка АО ХК «СДС-Уголь»	0,9	5,8	89,3	8,8	0,4	1,3	0,2	38,4

Для проведения процессов пиролиза использовалась экспериментальная установка (рис. 1), основанная на использовании реактора проточного типа объемом 275 см<sup>3</sup>.

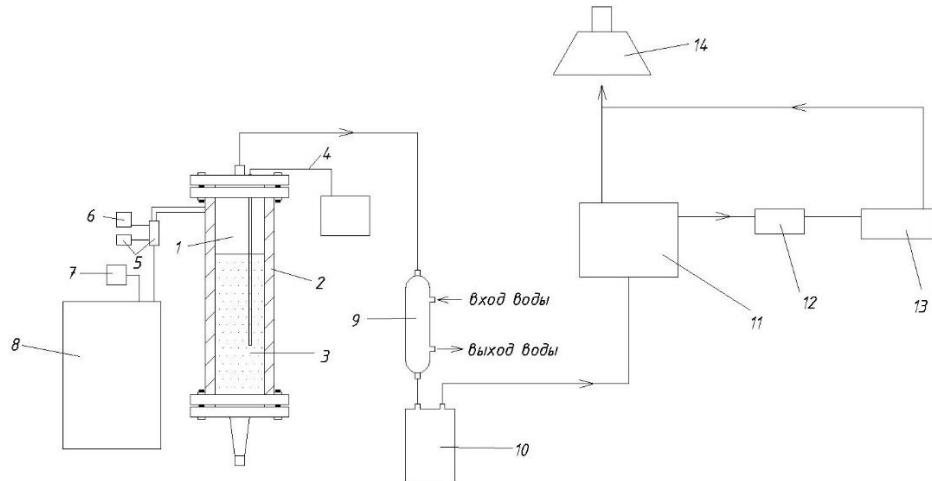


Рис. 1. Схема установки:

1 – реактор; 2 – изоляция; 3 – фракция резины; 4 – термопара с измерителем ОВЕН ТРМ1; 5 – регулятор нагрева; 6 – амперметр; 7 – вольтметр; 8 – трансформатор; 9 – кожухотрубный теплообменник (холодильник); 10 – сепаратор-отделитель; 11 – барабанный счетчик ГСБ-400; 12 – перистальтический насос ZALIMP type pp-1-05; 13 – газоанализатор “Бонэр” Тест-1; 14 – вытяжка.

Перед каждым опытом в реактор 1, покрытый изоляцией 2, состоящей из мертеля и стеклоткани, загружалось 80 г резиновой крошки. Нагрев резиновой крошки осуществляется за счет спирали, которая наматывалась между слоями мертеля на корпусе реактора. Концы спирали от реактора подключаются к регулятору нагрева 5, к которому также подключается амперметр 6. Сам регулятор подключается к трансформатору 8, к которому подключен вольтметр 7. Трансформатор работает от сети 220 вольт и с помощью него можно изменять скорость нагрева, повышая или понижая силу тока. Когда регулятор нагрева не включен, трансформатор не подает силу тока и за счет этого нагрев отсутствует. После включения регулятора начинается нагрев. Регулятор находится во включенном состоянии до тех пор, пока температура не достигнет необходимого значения (550°C; 600°C; 650°C и 700°C). Далее начинается выдержка с поддержанием необходимой температуры за счет отключения и включения регулятора нагрева. Температура внутри реактора измеряется термопарой, подключенной к измерителю

ОВЕН ТРМ1 4, который и показывает значения температуры. В процессе пиролиза выделяется газ, который по трубке поступает в кожухотрубный теплообменник 9, к которому подводится и циркулирует холодная вода. За счет охлаждения газ конденсируется и из части газа образуется пиролизная жидкость. Отделение газа и пиролизной жидкости происходит в сепараторе-отделителе 10. Далее газ поступает в барабанный счетчик 11, который измеряет его объем. Часть газа из счетчика за счет перистальтического насоса 12 перекачивается в газоанализатор 13, который показывает состав газа и процентные доли компонентов. Газ, который не отбирается насосом, через шланг направляется к вытяжке. Также к вытяжке направляется газ из газоанализатора.

Переработка резинотехнических изделий методом пиролиза на выходе даёт три вида продукта: пиролизный газ, пиролизная жидкость, твердый остаток. В таблице 2 сведена информация по исследованию влияния фракционного состава и температуры проведения процесса пиролиза на выходы продуктов процесса.

Таблица 2.

Материальные балансы процесса пиролиза фракций 2-4 мм

Сырье	фракция 2-4 мм			
Температура, °C	550	600	650	700
Объём пиролизного газа, %	16,0	12,8	16,0	21,8
Масса жидкости, %	42,3	43,6	45,6	39,9
Масса твердого остатка, %	41,8	43,6	38,4	38,4
Состав газа:				
CO, %	0,7	2,5	0	0
CO <sub>2</sub> , %	0,4	0,4	0	0
CH <sub>4</sub> , % (по разнице)	46,3	39,5	37,4	31,3
H <sub>2</sub> , %	50,9	56,4	61,5	67,3
O <sub>2</sub> , %	1,7	1,2	1,1	1,4
Теплота сгорания, МДж/нм <sup>3</sup>	22,2	20,6	20,0	18,5

Исходя из материального баланса процесса можно сделать вывод что при температуре пиролиза 700 °C наблюдается максимум выхода газообразного продукта пиролиза в исследуемом диапазоне температур. На рис. 2 а-г показан состав газообразного продукта процесса пиролиза резиной крошки фракции 2-4 мм при различных температурах пиролиза. В составе газообразных продуктов реакции можно наблюдать водород (H<sub>2</sub>) и метан (CH<sub>4</sub>), наличие таких компонентов как CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> суммарно не превышает 5%. При этом на картинках рис. 2 можно наблюдать полку красной линии на уровне 9%, что связано с ограничением датчика по метану установленного на газоанализаторе Тест-1, поэтому содержание метана было рассчитано по разнице от 100%.

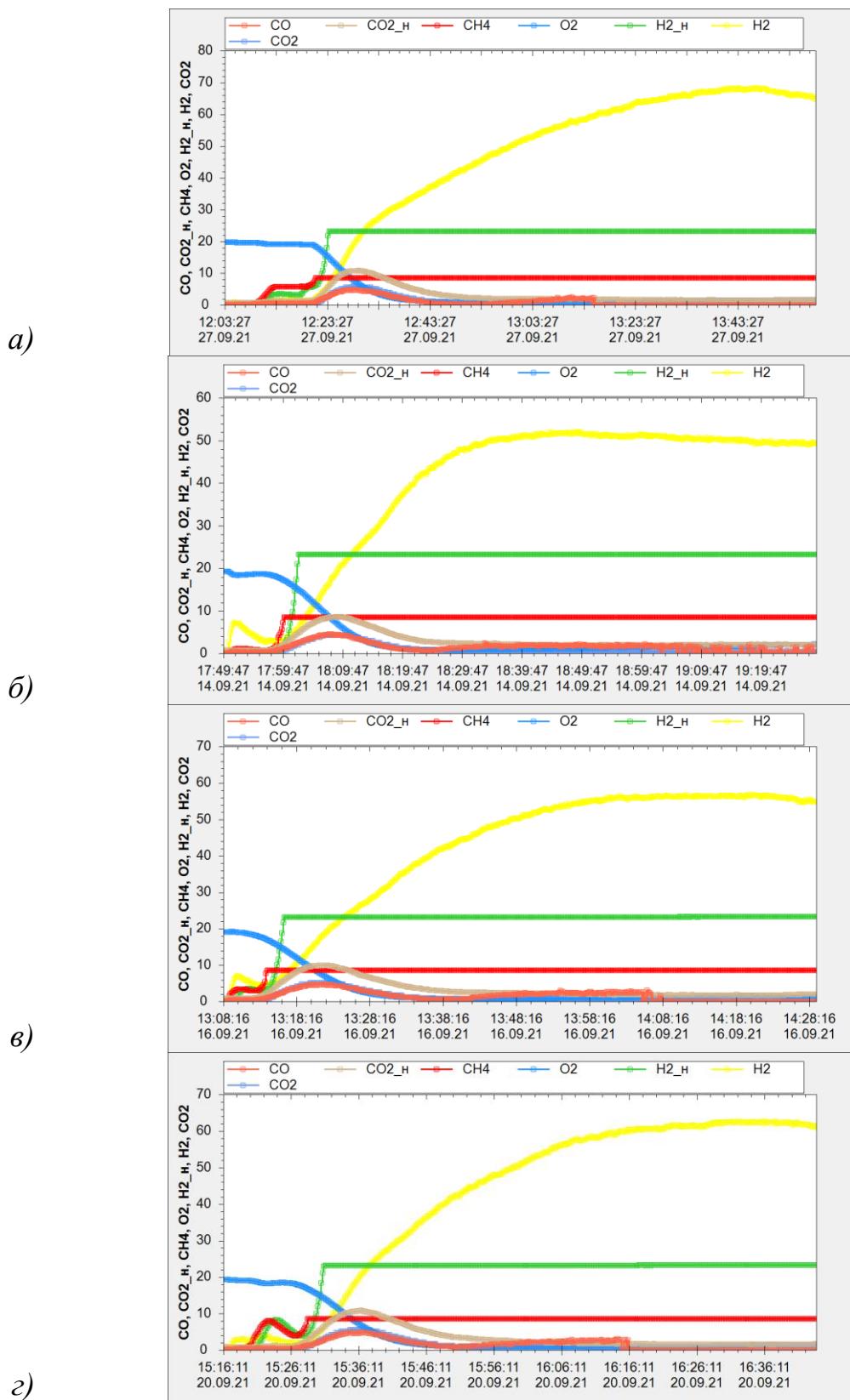


Рис. 2. Состав газообразного продукта процесса пиролиза при температуре  
 а) 550°C, б) 600°C, в) 650°C, г) 700°C.

На рис. 3 показана зависимость содержания водорода (усредненные значения) в пиролизном газе от температуры процесса пиролиза резиновой крошки.

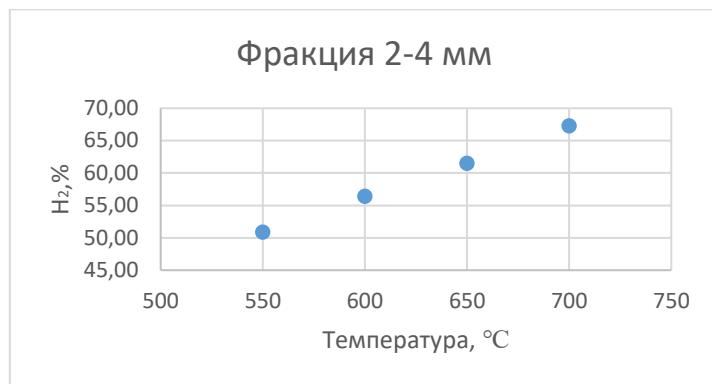


Рис. 3. Зависимость содержания водорода от температуры процесса пиролиза

Исходя из представленной зависимости, можно сделать вывод, что наибольшее содержание водорода в составе пиролизного газа наблюдается при температуре пиролиза 700°C. Как было отмечено выше при этой температуре наблюдался максимум выхода газообразного продукта реакции. В целом состав газа, полученного в ходе пиролиза резиновой крошки, является перспективным сырьем для получения водорода с использованием известных промышленных технологий.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в соответствии с дополнительным соглашением о предоставлении субсидии из Федерального бюджета на финансовое обеспечение выполнения государственного задания на оказание государственных услуг (внутренний номер 075-Г3/Х4141/687/3).

#### Список литературы:

1. Н.Д. Вилисов. Разработка технологии переработки резинотехнических изделий с использованием совместно пиролиза и газификации / Вилисов Н.Д., Макеева Т.С. // Энергетика и энергосбережение: теория и практика. Сборник материалов VI Всероссийской научно-практической конференции, 8 – 10 декабря 2021. [Электронный ресурс] / Под ред.: Р.В. Беляевский, И.А. Лобур. – Кемерово : КузГТУ, 2022

#### Информация об авторах:

Вилисов Никита Дмитриевич, студент гр. ТЭм-221, техник научно-исследовательской лаборатории катализа и преобразования углеродсодержащих материалов с получением полезных продуктов, КузГТУ, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, д. 28, vilisov2000@inbox.ru

Ушаков Константин Юрьевич, старший преподаватель, н.с. научно-исследовательской лаборатории катализа и преобразования углеродсодержащих материалов с получением полезных продуктов, КузГТУ, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, д. 28, [ushakovkju@kuzstu.ru](mailto:ushakovkju@kuzstu.ru)