

Всероссийская школа молодых учёных
"Системные исследования энергетических технологий"
25 – 26 ноября 2025 г.

ПОЛУЧЕНИЕ СИНТЕЗ-ГАЗА ИЗ БИОМАССЫ МЕТОДОМ ДВУХСТАДИЙНОГО ПИРОЛИЗА ПОД ДАВЛЕНИЕМ

В.А. Лавренов, Ю.М. Фалеева

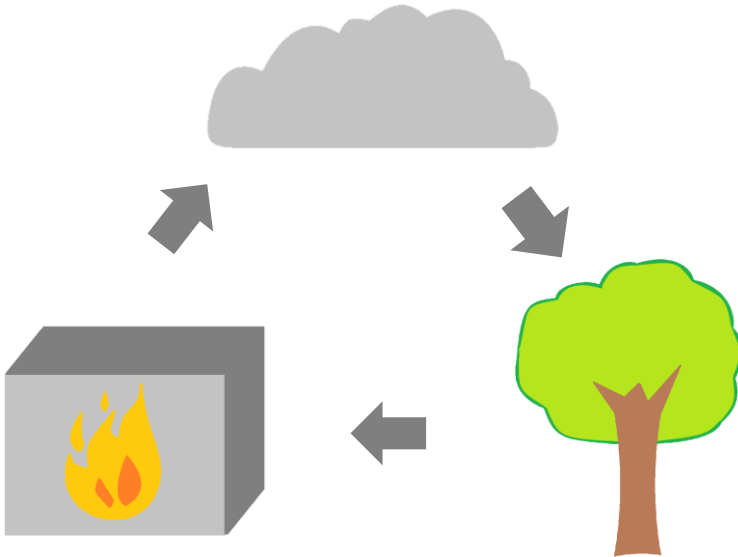


Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Объединённый институт высоких температур РАН
Лаборатория 12 Распределённой генерации

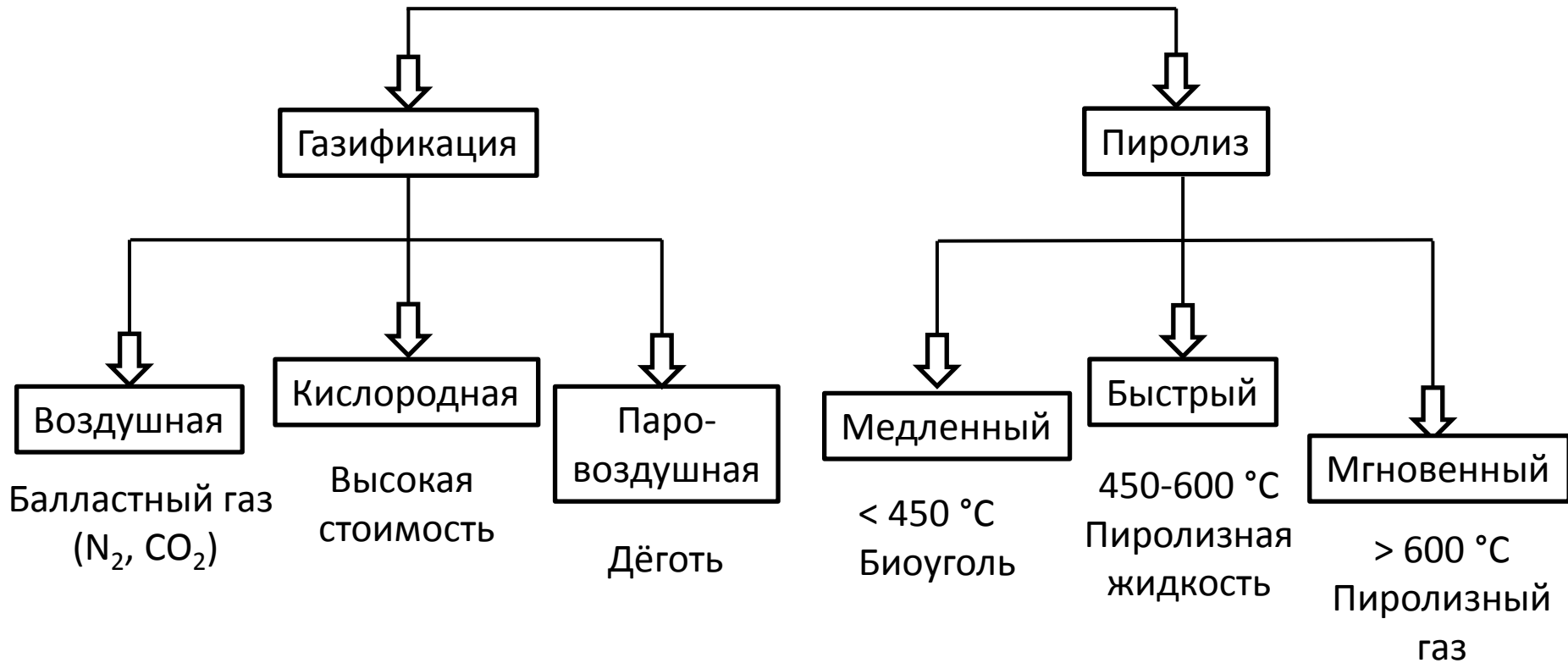
Использование растительной биомассы

CO₂-нейтральность

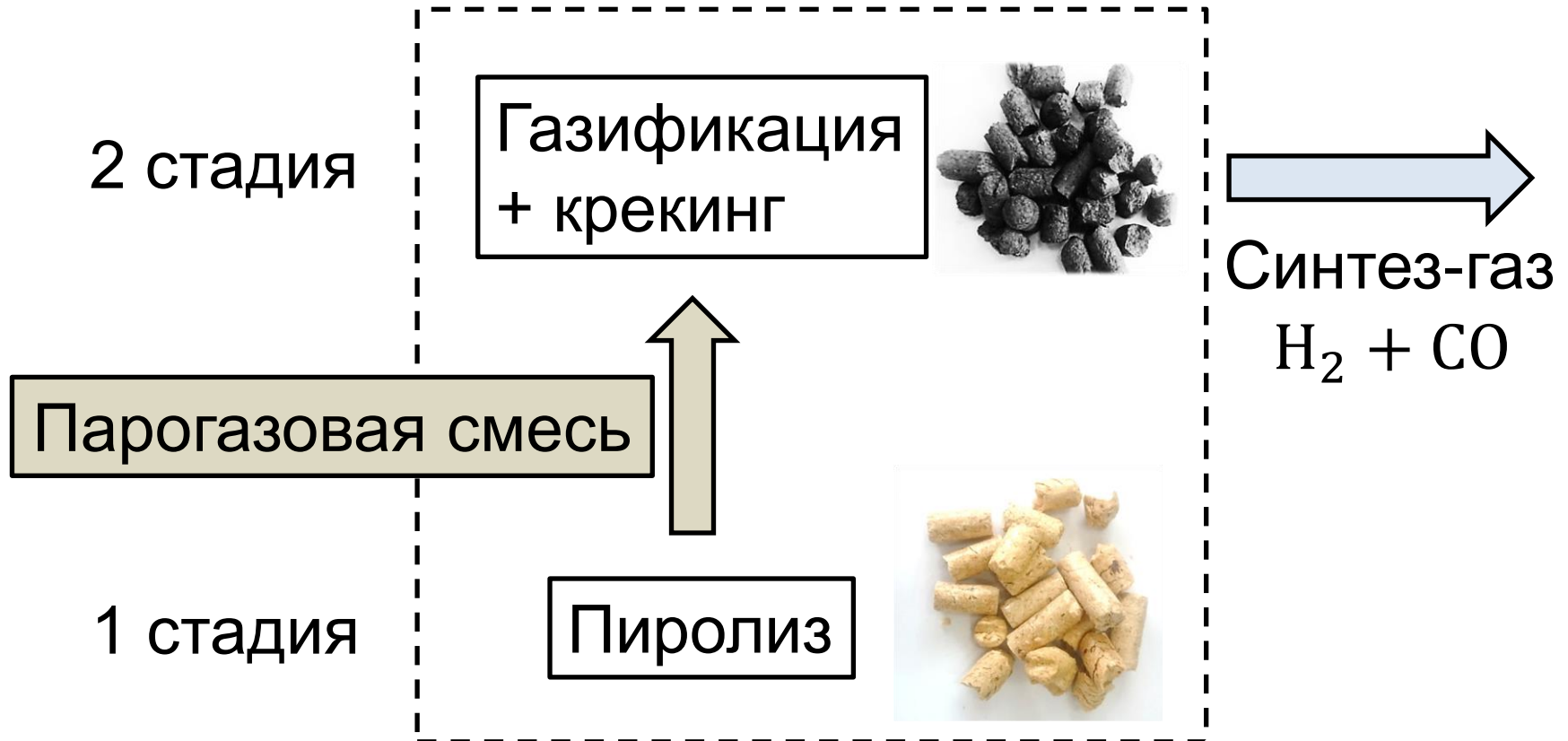
Широкая доступность
+
утилизация отходов



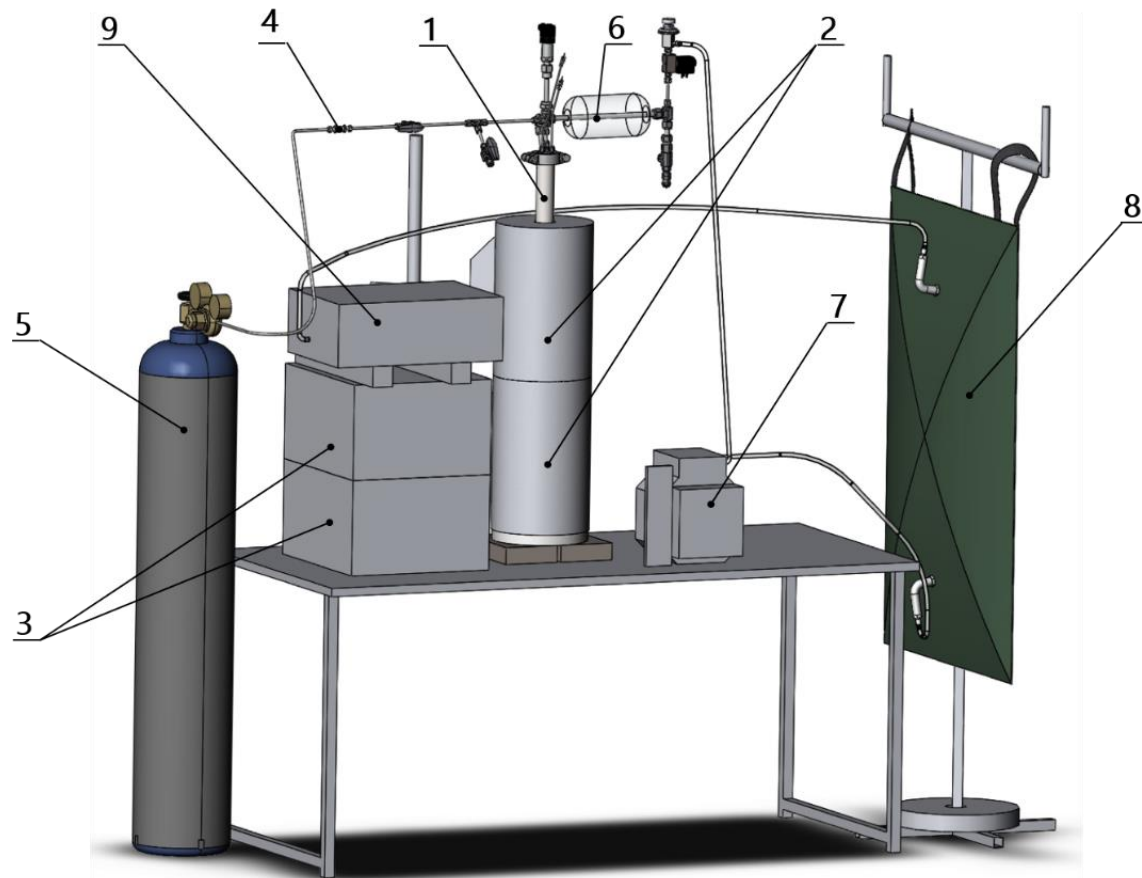
Термохимическая конверсия биомассы



Двухстадийный пиролиз

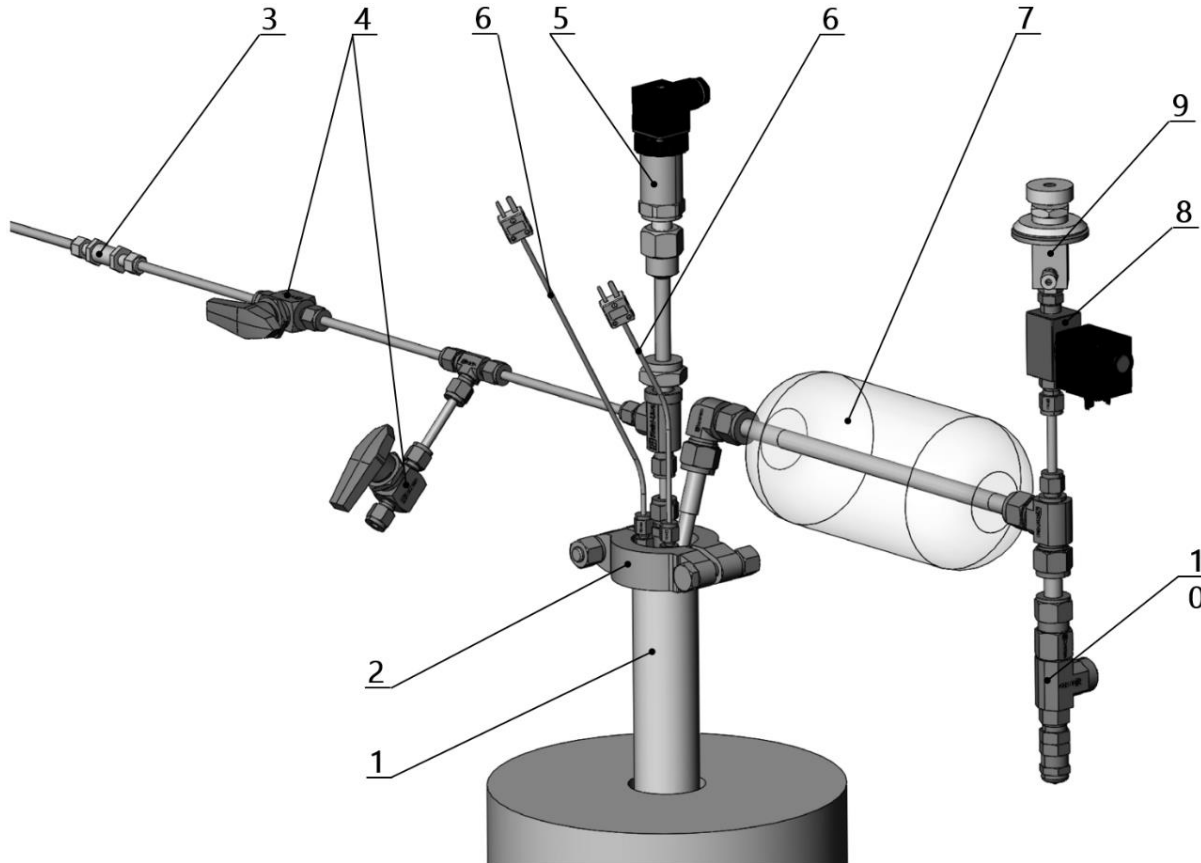


Общий вид лабораторного стенда



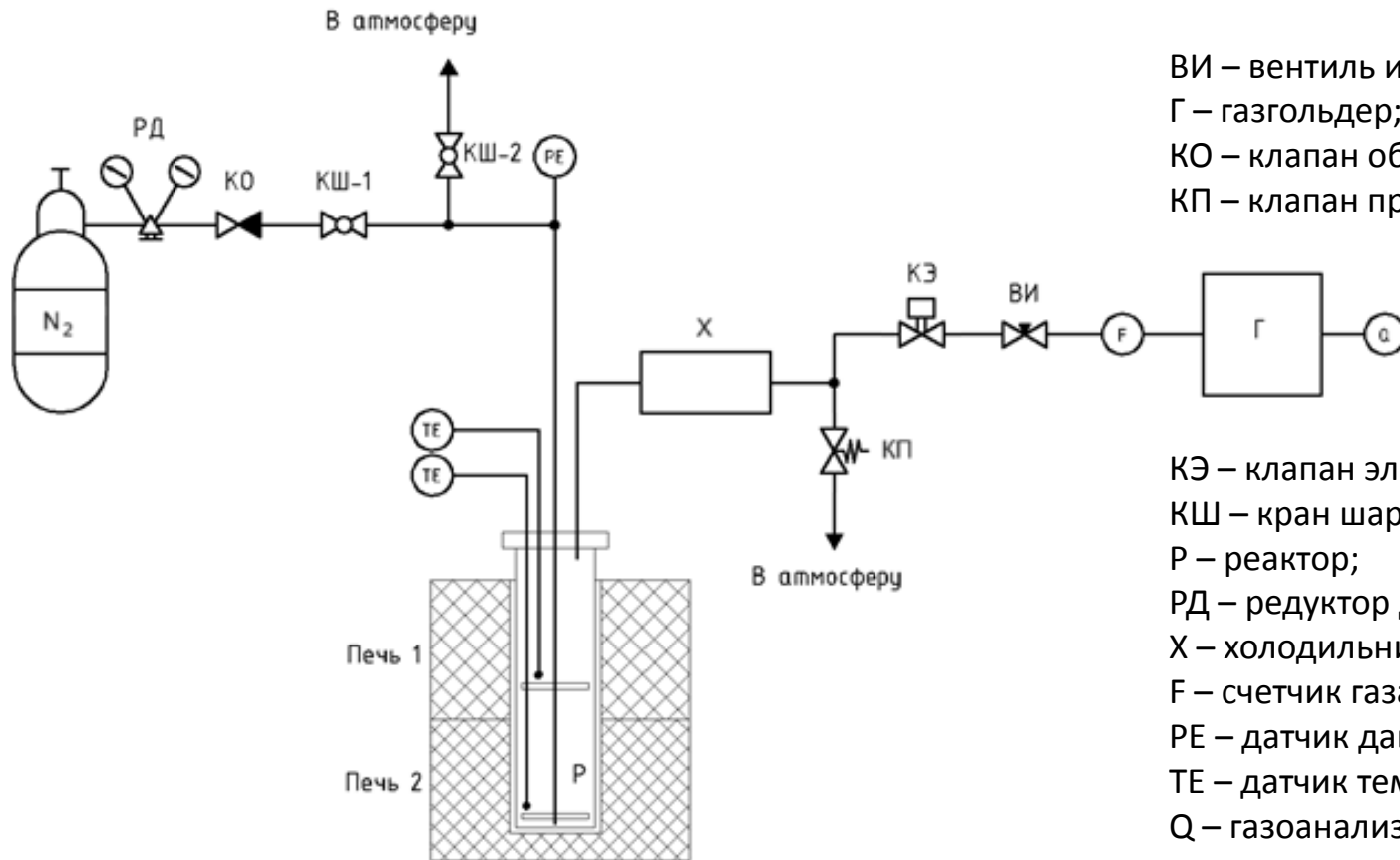
- 1 – реактор;
- 2 – электрические печи;
- 3 – контроллеры электропечей;
- 4 – линия подвода газа;
- 5 – баллон со сжатым газом;
- 6 – линия отвода и
охлаждения газа;
- 7 – счетчик газа;
- 8 – газгольдер;
- 9 – газоанализатор проточный

Основной узел лабораторного стенда



- 1 – реактор;
- 2 – хомут фланцевого соединения;
- обратный клапан;
- 4 – шаровые краны;
- 5 – датчик давления;
- 6 – термопары;
- 7 – холодильник;
- 8 – электромагнитный клапан;
- 9 – игольчатый кран;
- 10 – предохранительный клапан

Схема экспериментального стенда



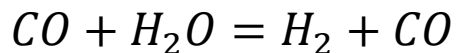
ВИ – вентиль игольчатый;
Г – газгольдер;
КО – клапан обратный;
КП – клапан предохранительный;

КЭ – клапан электромагнитный;
КШ – кран шаровой;
Р – реактор;
РД – редуктор давления;
Х – холодильник;
F – счетчик газа;
РЕ – датчик давления;
ТЕ – датчик температуры;
Q – газоанализатор проточный

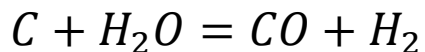
Характеристика синтез-газа

Параметр	Ед. изм.	Величина избыточного давления, бар	
		0	40
Компонентный состав синтез-газа:			
Водород (H ₂)	% об.	47.79	42.54
Монооксид углерода (CO)	% об.	46.30	44.84
Углеводороды (C _n H _m)	% об.	1.93	7.60
Диоксид углерода (CO ₂)	% об.	3.14	4.10
Азот (N ₂)	% об.	--	--
Кислород (O ₂)	% об.	--	--
Сумма горючих компонентов	% об.	96.25	95.26
Отношение H₂/CO	-	1.032	0.949 
Низшая теплота сгорания синтез-газа	МДж/м ³	11.2	12.2
Удельное содержание смол и сажи	г/м ³	0.78	--
Удельное содержание влаги	г/м ³	1.96	51.8 
Удельный объёмный выход синтез-газа	м ³ /кг	1.282	1.111 
Удельный выход твёрдого остатка зоны пиролиза	% мас.	25.15	32.54

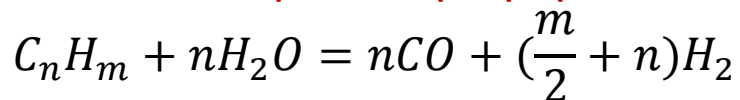
Реакция конверсии водяного газа:



Реакция паровой газификации:



Реакция парового риформинга:



Согласно принципу

Ле Шателье

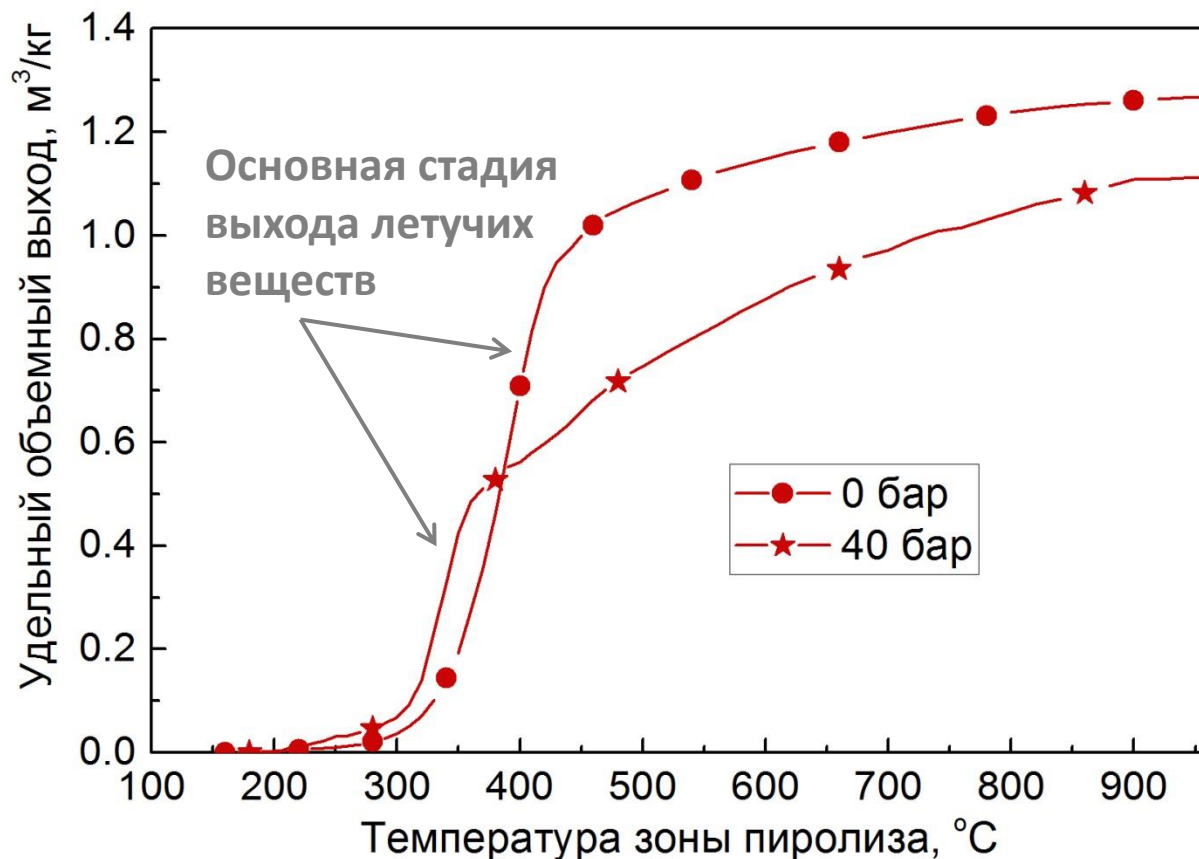
увеличение давления

смещает химическое
равновесие реакции в
сторону образования
продуктов с меньшим
числом газообразных
молекул

Соотношение массовых долей углеводородных компонентов синтез-газа

Массовая доля углеводородного компонента, %	Величина избыточного давления, бар	
	0	40
Метан	56.784	95.690
Этан	0.031	0.185
Этилен	0.206	0.020
Пропан	0.071	0.347
Пропен	0.370	0.017
Изобутан	0.020	0.166
Бутан	0.061	0.518
t-бутен-2	4.988	0.039
1-бутен	6.425	0.499
Изобутилен	3.122	0.079
с-бутен-2	--	0.917
Изопентан	19.421	1.449
Пентан	8.502	0.073

Удельный объёмный выход синтез-газа



В работе [1] было установлено, что с увеличением давления выход летучих веществ при пиролизе угля ускоряется и смещается в сторону низких температур.

[1] Zhu, Y., Wang, Q., Yan, J., Cen, J., Fang, M., & Ye, C. (2022). Influence and action mechanism of pressure on pyrolysis process of a low rank Naomaohu coal at different temperatures. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 167, 105682.

Выводы

Проведенные исследования позволили получить экспериментальные данные о количественных характеристиках процесса двухстадийного пиролиза биомассы под давлением: удельный выход синтез-газа и твёрдого остатка, компонентный состав и теплоту сгорания синтез-газа, содержание влаги и смол в синтез-газе.

Осуществление переработки под давлением позволит увеличить эффективность процесса за счёт снижения или полного исключения энергозатрат на компримирование синтез-газа перед подачей в блок синтеза жидких продуктов. Полученные результаты подтверждают перспективность широкого применения метода и его потенциально высокую эффективность.

Спасибо за внимание!

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Государственное задание № 075-00269-25-00).