



Об инвестиционном пилотном проекте «Энергетический комплекс переработки углеродосодержащего сырья (биомасса, древесные отходы, торф, сланцы, бурый уголь, каменный уголь, угольные шламы, иловые отложения, промышленные и бытовые отходы...) методом Быстрого Пиролиза в электрическую и тепловую энергии (на примере древесных отходов) мощностью 20 тыс. т , исходного сырья, в год».



## Резюме Проекта

### Цели и задачи

Создание высокопроизводительного конкурентоспособного производственного энергетического комплекса, генерирующего электрическую и тепловую энергии, посредством технологии быстрого пиролиза древесных отходов.

### Продукция

Электрическая энергия - кВт\*ч (МВт\*ч)  
Тепловая энергия - ккал\*ч (Гкал\*ч или МВт\*ч)

### Участники

ООО «Торфяная Энергетическая Компания» (ООО «ТЭК»)

### Статус проекта

- Проведен НИОКР;
- Создан опытный образец УБП;
- Получены патенты РФ на технологию и конструкции;
- Одобрен Экспертным Советом ГК «Ростехнологии».

## Резюме Проекта

### Основные показатели проекта

Срок жизни проекта	лет	5
Годовая выработка электрической энергии	МВт*ч	52 000,00
Годовая выработка тепловой энергии	Гкал*ч	26 000,00
Годовая выручка от реализации продукции	тыс. руб.	170 000,00
Общий бюджет проекта	тыс. руб.	240 000,00
Себестоимость 1,0 кВт*ч электрич. энергии	руб.	0,06
Себестоимость 1,0 Гкал тепловой энергии	руб.	72,00
Срок окупаемости проекта	мес.	26,40
NPV проекта	тыс. руб.	180 000,00
IRR проекта	%	68,0
PI проекта		1,75
Бюджетная эффективность проекта	тыс. руб.	51 000,00

## Актуальность проекта



- Количество отходов деревообработки в РФ составляет более 70 млн. м<sup>3</sup> /год ;



- Низкое выполнение расчетной лесосеки, захламленность и деградация лесов;



- Большое количество низкокачественной древесины не имеющей спроса на рынке;



- Постепенное истощение мировых запасов традиционных углеводородов и рост цен на них , вынуждает искать новые возобновляемые источники энергии.



## Технология.

Наряду с прямым сжиганием и газификацией пиролиз является эффективным методом термохимической переработки органических масс (ОМ), и одновременно одной из наименее развитых технологий энергетического использования природных и искусственных органических соединений.

Пиролиз представляет собой процесс термического разложения органических соединений без доступа кислорода и происходит при относительно низких температурах (500-800 °С) по сравнению с процессами газификации (800-1300 °С) и горения (900-2000 °С).

Современные технологии пиролиза ОМ могут быть разделены по таким характерным признакам: скорость нагрева (быстрый - БП, медленный пиролиз - МП); среда, в которой происходит пиролиз (вакуумный, гидропиролиз, метанопиролиз).

В качестве сырья могут использоваться органика ТБО, древесные отходы, лигнин, целлюлоза, отходы сельского хозяйства, сырая нефть, тяжелые мазуты, битум, тяжелые продукты перегонки нефти, асфальт, отходы бумаги, осадки сточных вод, торф, бурые угли и т.д.

# Технология.

Характеристики	Быстрый пиролиз, низкие T	Быстрый пиролиз, высокие T	Медленный пиролиз	Карбонизация
Время процесса	до 6 с	до 6 с	1 мин. - часы	часы, дни
Размер сырья	до 3 мм	до 3 мм	5 мм и выше	большой
Влажность сырья	до 8 %	до 8 %	высокая	высокая
Температура, °C	500-650	700-900	500-700	400-600
Давление, кПа	100	10-100	100	100
Газ:				
выход, % массы сухого сырья	до 30	до 70	до 20	до 40
теплота сгорания, МДж/м <sup>3</sup>	10-20	20-30	5-10	2-4
Жидкость:				
выход, % массы сухого сырья	до 60	до 10	до 60	до 20
теплота сгорания, МДж/кг	20-30	20-30	20	10-20
Твердое вещество:				
выход, % массы сухого сырья	до 30	до 30	20-30	30-40
теплота сгорания, МДж/кг	30	30	30	30

## Технология.

### Продукты быстрого пиролиза



**1. Синтетическая нефть – углеводородная жидкая смесь (более 230 углеводородных химических соединений), предназначена либо для дальнейшей переработки на установках органического синтеза, с целью извлечения фракций моторных топлив и пищевых ароматических веществ или других ценных химических продуктов, либо для использования в системах ТЭЦ и котельных, взамен традиционных, полученных из сырой нефти. Более высокая ценность отдельных химических продуктов, по сравнению с топливом, могла бы сделать выгодным извлечение этих продуктов, даже при их небольших концентрациях.**



**2. Высокоуглеродистый материал (ВУМ) – твердое углистое вещество (с содержанием чистого углерода до 90%), предназначено для использования в металлургии (взамен кокса), химической, шинной и пищевой промышленности, медицине (аналог активированным углям), в системах ЖКХ и энергетики (как высококалорийное топливо более 7 000 ккал/кг).**



## Технология.

### Продукты быстрого пиролиза



**3. Пиролизный газ - газовая смесь ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_n\text{H}_n$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ...) с теплотой сгорания до 24 МДж/м<sup>3</sup> и предназначенная, для использования в энергетических системах и системах потребления газа, а также как исходное сырье для органического синтеза, с целью получения химических продуктов.**

### Преимущества БП над МП

- 1. Возможность построения непрерывного производственного технологического процесса;**
- 2. Двукратное снижение энергоемкости технологического процесса;**
- 3. Более высокая управляемость температурными режимами пиролиза;**
- 4. Более высокая энергетическая ценность продуктов пиролиза;**
- 5. Более низкие эксплуатационные затраты;**
- 6. Более низкая себестоимость выходных продуктов пиролиза;**
- 7. Увеличенный срок службы оборудования;**
- 8. Более высокое качество выходных продуктов пиролиза.**

# Технология.

Сравнительная таблица существующих технологий БП  
(по установкам БП, при производительности 10,0 т в сутки).

Наименование параметра.	BTG (Нидерланды).	RTP (Pasquali-ENEL, Италия)	РОТРАМ (Шах, Россия)	УБПТ (ТЭК, Россия)
Тип реактора	Абляционный (конус в конусе)	ЦКС (циркулирующий кипящий слой)	Реторда (винт.) + плазматрон	Абляционный (пластинчатый)
D <sub>вх</sub> частиц	< 2,0 mm	< 2,0 mm	< 1,0 mm	< 3,0 mm
Тепловой агент	Песок, азот	Песок, рецикул. газ	Металл, газопаровая смесь, плазма	Металл
Подвод внешн. тепловой энергии	Постоянный	Постоянный	Постоянный	Только при запуске
Коэффициент энергоемкости	1,0	1,3	1,8	0,5
Наработка на отказ в часах (по реактору)	18 000	18 000	3 000	86 000
Чистота продуктов БП	Средняя	Средняя	Низкая	Высокая
Удельные кап. Вложения на 1т исходного сырья в \$ US	250,0	300,0	100,0	50,0
Козфф. приведенной себестоимости единицы вых. продукции	3,0	3,2	2,0	1,0
Срок окупаемости	28 мес.	30 мес.	16 мес.	12 мес.



**Потребители  
продукции.**



**ТЭЦ**



**Лакокрасочные  
предприятия**



**Химические комбинаты**



**Муниципальные  
котельные**



**Автотранспорт и моб.  
комплексы**



**Шинные заводы**



**Металлургические  
предприятия**



**Стекольные заводы**



**Предприятия АПК**

## Субъекты, заинтересованные в участии и реализации проекта:

Администрации краев, областей, районов, муниципалитетов.

## Потенциальные области применения:

- Энергетика;
- ЖКХ;
- АПК;
- Утилизация промышленных и бытовых отходов;
- Деревообрабатывающая промышленность.

## Потенциальный круг потребителей.

Основными потребителями продуктов переработки углеродосодержащего сырья, способом быстрого пиролиза, являются:

### 1. "Синтетическая нефть":

- предприятия нефте-химической промышленности;
- предприятия органического синтеза;
- авиа и автотранспортные предприятия;
- ТЭЦ и котельные;
- предприятия использующие автономные комплексы и устройства, генерирующие электрическую и тепловую энергии.

### 2. "Высокоулеродистый материал":

- металлургические комбинаты;
- энергетические системы ЖКХ, АПК и т.п.;
- предприятия выпускающие шинную продукцию;
- предприятия фармацевтической промышленности;
- предприятия пищевой промышленности и т.д.

### 3. «Синтез-газ»:

- предприятия системы ЖКХ, АПК;
- бытовые потребители;
- промышленность;
- энергосистемы и т.д.

### 4. "Тепловая энергия":

- предприятия промышленности и систем ЖКХ, АПК;
- тепличные хозяйства;
- предприятия рыбного хозяйства и туристического комплекса и т.д.

# Исходное сырьё БП.



**Бурый уголь**



**Каменный уголь**



**Торф**



**Солома**



**Птичий помёт**



**Навоз КРС**



**Свиной навоз**



**Жом**



**Лигнин**

# Исходное сырьё БП.



**Шламы**



**Бумажные отходы**



**Иловые отложения**



**Санитарный лес**



**ТБО**



**Шелуха**



**Резинотехнические отходы**



**Биомасса**



**Отходы пластмасс**

# Выход продуктов УБПТ.

## Выход продуктов переработки исходного сланца, массой 1т.

Продукт переработки	Выход продуктов переработки, исходя из температурного режима работы реактора		
	570 °C	750 °C	870 °C
жидкая фракция (общая сумма), кг	100	200	70
ВУМ, кг	250	150	130
синтез-газ, кг	70	70	220
тепловая мощность, Гкал	1,5	1,1	0,6

## Выход продуктов переработки исходных древесных отходов, массой 1т.

Продукт переработки	Выход продуктов переработки исходя из температурного режима работы реактора		
	520 °C	700 °C	830 °C
жидкая фракция (общая сумма), кг	300	450	220
ВУМ, кг	300	115	80
синтез-газ, кг	115	200	415
тепловая мощность, Гкал	1,8	1,2	0,7



# Выход продуктов УБПТ.

## Выход продуктов переработки исходного бурого угля, массой 1т.

Продукт переработки	Выход продуктов переработки, исходя из температурного режима работы реактора		
	620 °С	780 °С	930 °С
жидкая фракция (общая сумма), кг	140	240	160
ВУМ, кг	280	160	120
синтез-газ, кг	80	100	220
тепловая мощность, Гкал	1,6	1,1	0,4

## Выход продуктов переработки исходного каменного угля, массой 1т.

Продукт переработки	Выход продуктов переработки, исходя из температурного режима работы реактора		
	690 °С	800 °С	950 °С
жидкая фракция (общая сумма), кг	340	440	240
ВУМ, кг	530	330	250
синтез-газ, кг	100	200	480
тепловая мощность, Гкал	1,4	1,0	0,4

## Выход продуктов УБПТ.

### Выход продуктов переработки исходного угольного шлама, массой 1т.

Продукт переработки	Выход продуктов переработки, исходя из температурного режима работы реактора		
	650 °С	800 °С	950 °С
жидкая фракция (общая сумма), кг	100	140	90
ВУМ, кг	180	130	90
синтез-газ, кг	40	50	140
тепловая мощность, Гкал	1,4	1,0	0,4

### Выход продуктов переработки исходного низинного торфа, массой 1т.

Продукт переработки	Выход продуктов переработки, исходя из температурного режима работы реактора		
	500 °С	680 °С	870 °С
жидкая фракция (общая сумма), кг	170	300	120
ВУМ, кг	300	140	100
синтез-газ, кг	30	60	280
тепловая мощность, Гкал	1,2	1,8	0,6

# Состав продуктов УБПТ.

## Органические компоненты синтетической нефти, из низинного торфа.

Соединение	Представители	Концентрация, % масс
Алканы – предельные углеводороды (составляют основу различных видов традиционных моторных топлив).	Пентан (C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> ) и т.д. до C <sub>16</sub> H <sub>34</sub> , а также циклопентан, циклогексан, 1,2-диметилциклогексан	56,6
Алкадиены – непредельные углеводороды.	2-метилбутадиен-1,3 (изопрен) и т.п.	10,8
Ароматические углеводороды.	Бензол (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> ), от 1,2-диметил-бензол (орто-ксилол) до 1,4-диметил-бензол, Тoluол, Ванилин и т.п.	14,3
Гидроксильные.	Спирты (метанол, диолы, триолы и т.п.). Фенолы (гидроксибензол, 3-метилфенол и т.п.). Эфиры (бензойной кислоты и т.д.)	14,6
Карбонильные.	Альдегиды (3,4,5-триметоксибензальдегид, диметоксисалициловый альдегид, 5-метил-2-фуранкарбоксальдегид). Кетоны (диметилкетон – ацетон и т.п.).	2,2
Карбоновые кислоты.	Ароматические кислоты. Пентановая кислота и т.п.	0,3
Сложные эфиры.	Этилацетат, метилбензоат и т.д.	0,1
Азотосодержащие.	Нитрометан, нитробензол. Амины. Карбамид. Аминокислоты.	1,1

## Состав продуктов УБПТ.



## Синтез – газ.

Компонент	Значение, % масс.
H <sub>2</sub>	10,0 – 35,0
O <sub>2</sub>	4,0 – 10,0
N <sub>2</sub>	3,0 – 6,0
CH <sub>4</sub>	30,0 – 55,0
CO	15,0 - 25,0
Теплотворная способность	24 – 32 МДж/м <sup>3</sup>



## Высокоуглеродистый материал (ВУМ).

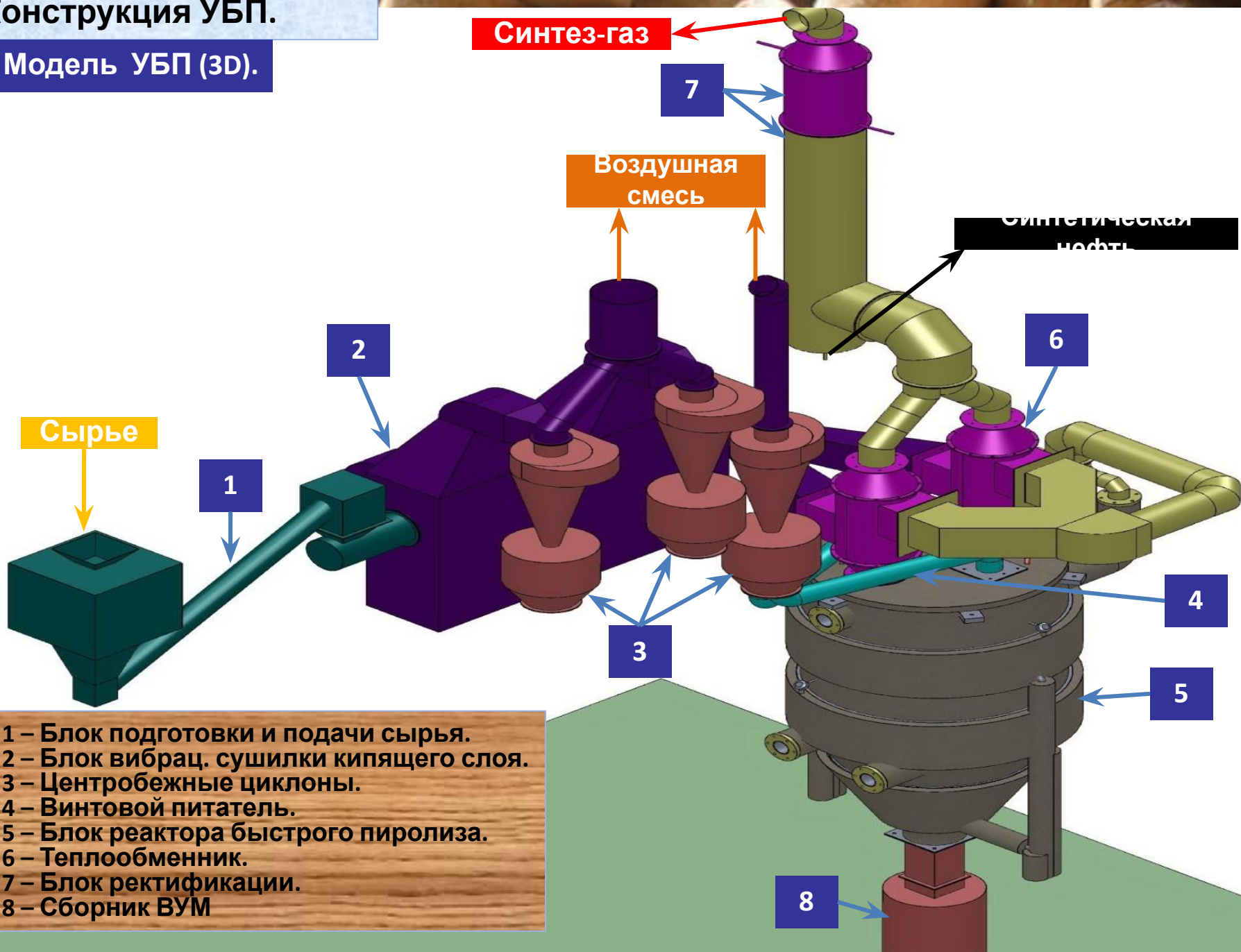
№	Характеристика	Значение
1.	Размер частиц.	0,5 – 1,5 мм
2.	Массовая доля углерода	до 95,5 %
3.	Массовая доля водорода	до 0,8 %
4.	Массовая доля кислорода	до 0,7 %
		1,1 %
		-31 МДж/кг

Усредненная себестоимость продуктов БП торфа составила для:

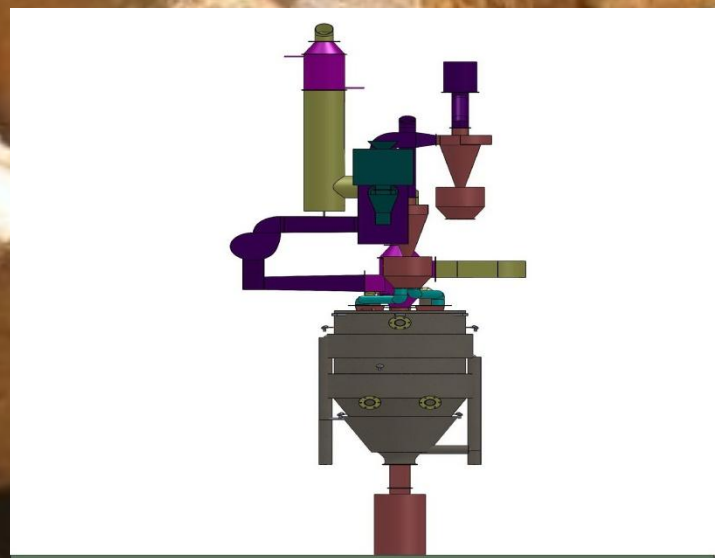
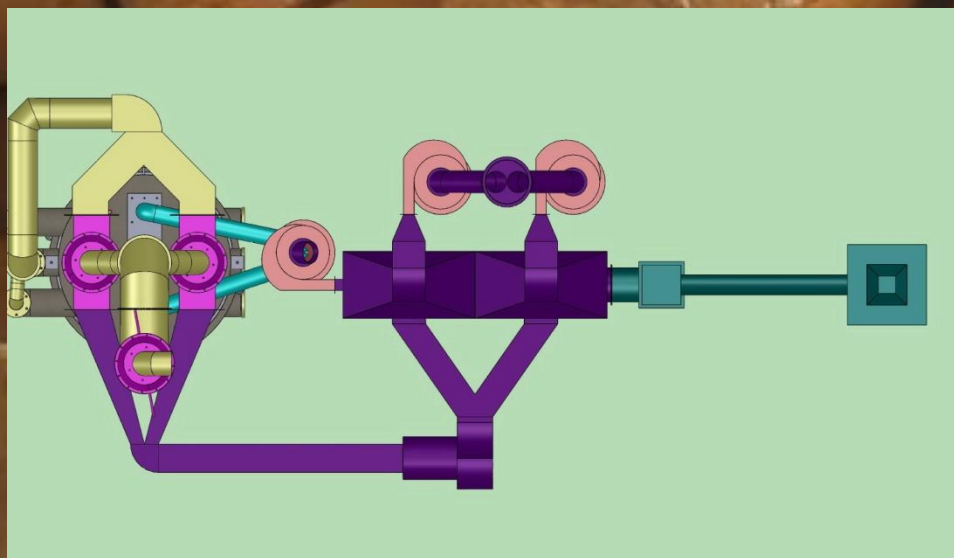
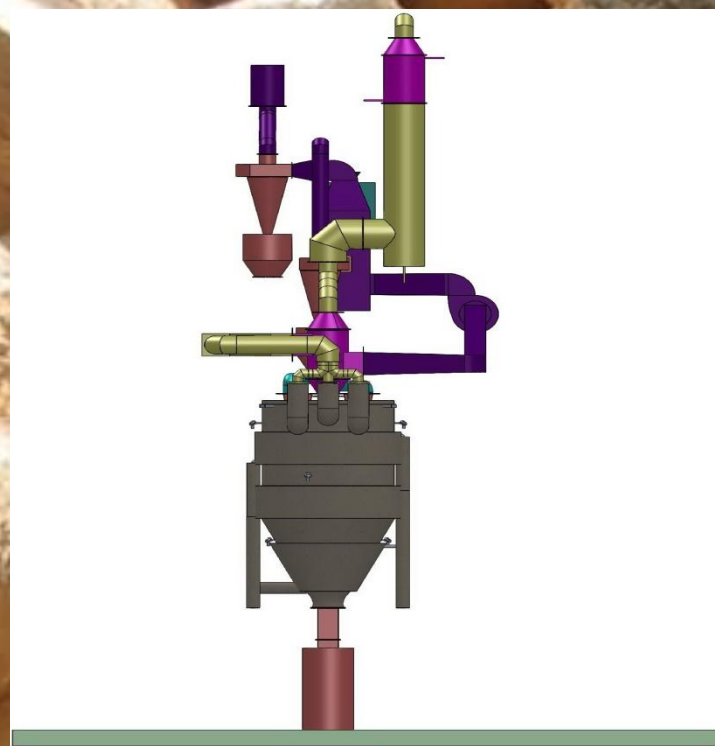
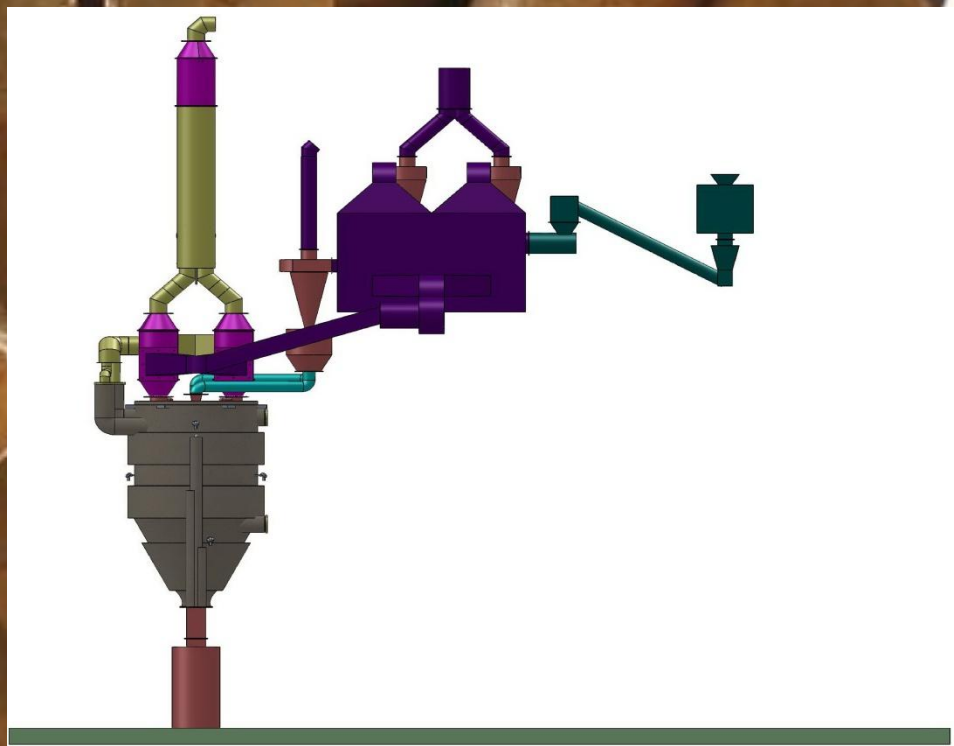
- синтетической нефти – до 18,0 \$ США за 1 т;
- синтез-газа – до 15,0 \$ США за 1 000 куб. м;
- высокоуглеродистого материала (ВУМ) – до 20,0 \$ США за 1 т;
- эквивалентной тепловой энергии – до 3,0 \$ США за 1 Гкал.

# Конструкция УБП.

## Модель УБП (3D).



- 1 – Блок подготовки и подачи сырья.
- 2 – Блок вибрац. сушилки кипящего слоя.
- 3 – Центробежные циклоны.
- 4 – Винтовой питатель.
- 5 – Блок реактора быстрого пиролиза.
- 6 – Теплообменник.
- 7 – Блок ректификации.
- 8 – Сборник ВУМ



# Конструкция УБПТ.



Вид УБПТ – 001.



Вид реактора УБПТ – 001.

# Конструкция УБПТ.



Вид сушилки УБПТ – 001.



Вид реактора УБПТ – 001.



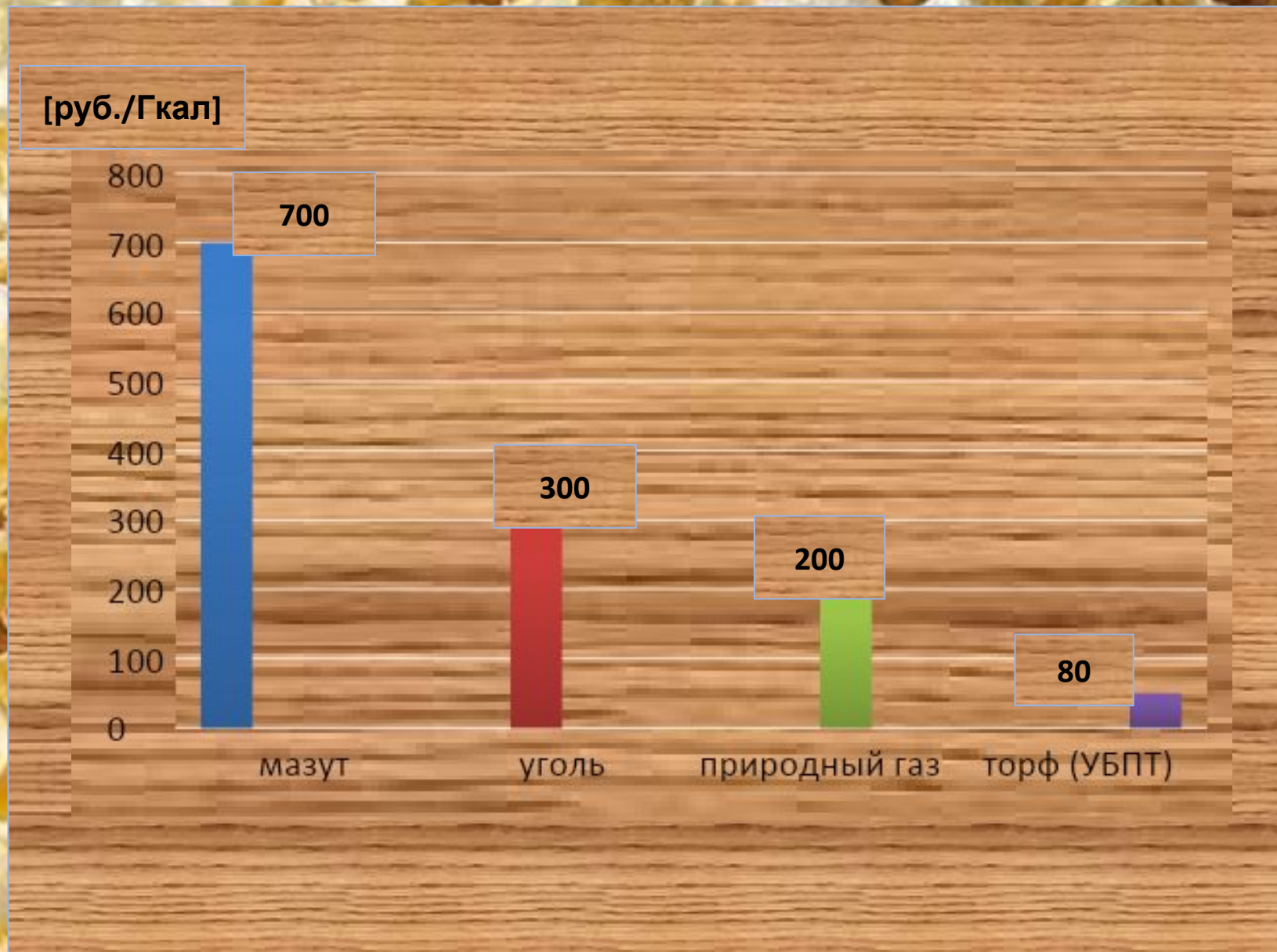


## Конструкция УБП.

### Основные технические характеристики УБПДО – 020.

Производительность	2,3 т/ч по исходному сырью
Сырье	Древесные отходы (ДО)
Установленная мощность	20 000 т в год
Относительная влажность сырья	не более 40 %
Зольность сырья	не более 2,0 %
Количество часов работы в год	не менее 8 736 ч
Компоновка	по желанию Заказчика
Состав установки	по желанию Заказчика
Площадь участка под размещение УБПДО-020	не более 25 м <sup>2</sup>
Габариты Д-В-Ш (м)	7,0 X 6,0 X 3,0
Вес комплекса	не более 4,0 т
Инфраструктура	15 кВт; водопровод (0,5 м <sup>3</sup> /ч)
Требуемое количество обслуживающего персонала	2 чел./смена
Срок эксплуатации до капитального ремонта	не менее 10 лет
Срок изготовления оборудования	10 месяцев
Система управления (степень автоматизации)	АСУТП
Экология (выбросы)	Отсутствуют

# Сравнительная себестоимость 1,0 Гкал экв. тепловой энергии.



# Преимущества УБПТ перед существующими аналогами.

## Влияние относительной влажности на характеристики процесса.

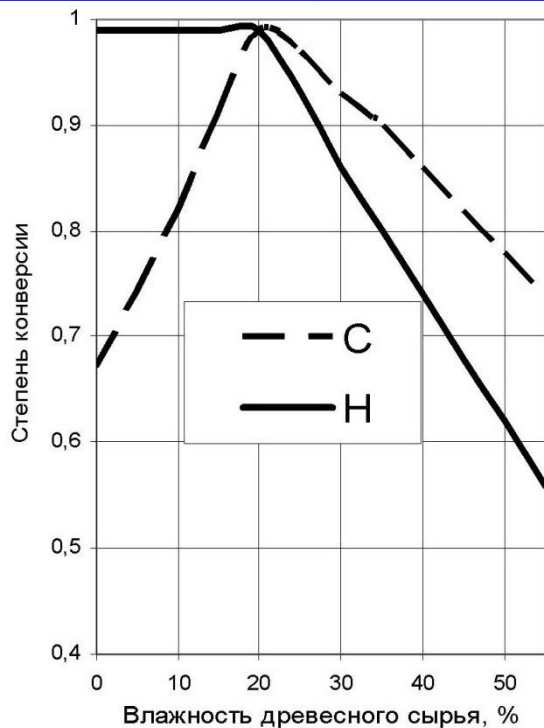


Рис. 1

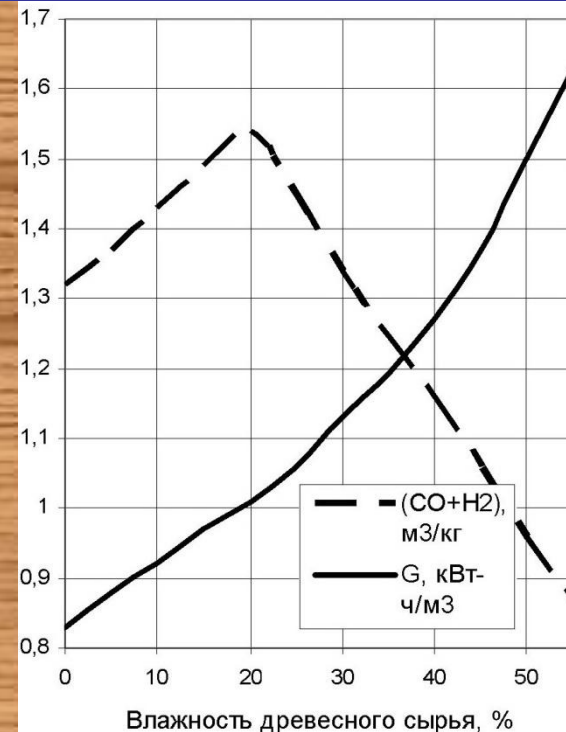


Рис. 2

На рис. 1 изображены зависимости степени конверсии углерода и водорода от относительной влажности древесины, без доступа кислорода.

На рис. 2 приведены зависимости выхода синтез-газа и энергозатрат, на его получение, с ростом влажности древесного сырья.

## Преимущества УБПТ перед существующими аналогами.

**Действующая опытно-промышленная установка УБПТ-001 имеет существенные преимущества перед зарубежными аналогами:**

1. Зарубежные аналоги используют передачу тепловой энергии посредством вносимого в реактор твердого тела - кварцевого песка, который предварительно необходимо нагреть до требуемой температуры, что требует дополнительных затрат тепловой энергии (примерно 30% от полученной в технологическом процессе). Кроме того, такой теплообмен требует необходимого количества тепловой энергии с целью поддержания температурного режима в самом реакторе, что в конечном итоге приводит к тому, что выделившаяся полезная тепловая энергия экзотермического процесса пиролиза нивелируется, а также встает задача разделения продуктов пиролиза и самого теплоносителя – кварцевого песка, для его очистки и вторичного использования, что в свою очередь, требует дополнительного дорогостоящего оборудования, а следовательно и финансовых затрат – как первоначальных капитальных, так и эксплуатационных (увеличение себестоимость конечной продукции).

**УБПТ-001 использует в реакторе абляцию, посредством неподвижной пластины, и, соответственно, нет необходимости ни в дополнительном оборудовании, ни в подводе дополнительной тепловой энергии из вне;**

2. Зарубежные аналоги, по технологическим причинам, используют в реакторах режимы кипящего или циркулирующего кипящего слоя, что требует носитель (инертный газ или воздух), причем подогретый до рабочей температуры реактора, а это приводит к смазыванию чистоты синтеза выходных углеводородов, а также требует не только дополнительной тепловой энергии, но и оборудования, что увеличивает начальные капитальные вложения и эксплуатационные расходы.

## **Преимущества УБПТ перед существующими аналогами.**

УБПТ-001 использует в реакторе режим «своего газа» и соответственно не требует дополнительно ни тепловой энергии, ни инертного носителя, а следовательно, и дополнительного оборудования;

3. Зарубежные аналоги не используют предварительную сушку исходного материала, что приводит к потерям тепловой энергии (в реакторе) на выпаривание воды, а также приводит к значительному присутствию водяных растворов в продуктах быстрого пиролиза.

УБПТ-001, по своему технологическому процессу, использует предварительную сушку исходного материала, для чего задействует часть тепловой энергии выходного пиролизного газа, т.е. «бесплатно». Конечно, это требует дополнительного оборудования, но это дает значительный выигрыш в чистоте выходных продуктов БП, а также приводит к снижению энергозатрат внутри реактора БП, что, в конечном итоге, значительно снижает себестоимость продукции;

3. Зарубежные аналоги, внутри реактора, применяют подвижные устройства и механизмы, что, в условиях повышенных температур, существенно снижает надежность непрерывной работы и уменьшает наработку на отказ.

В УБПТ-001, внутри реактора БП, нет подвижных устройств и механизмов, следовательно существенно выше надежность работы всей установки БП;

4. Зарубежные аналоги, вследствие применения своей технологии быстрого пиролиза, совершенно не замечают такой фактор быстрого пиролиза – экзотермический характер взрывного фазового перехода, что приводит к потере такой товарной продукции, как дополнительная тепловая энергия.

Данный фактор учитывается в УБПТ-001, что позволяет проводить процесс БП без подвода внешней тепловой энергии и даже отводить ее излишек, посредством внешних водяных контуров управления, из реактора в виде перегретого пара;

5. Начальные капитальные вложения и эксплуатационные расходы зарубежных аналогов, более чем в 2 раза, превосходят УБПТ-001.

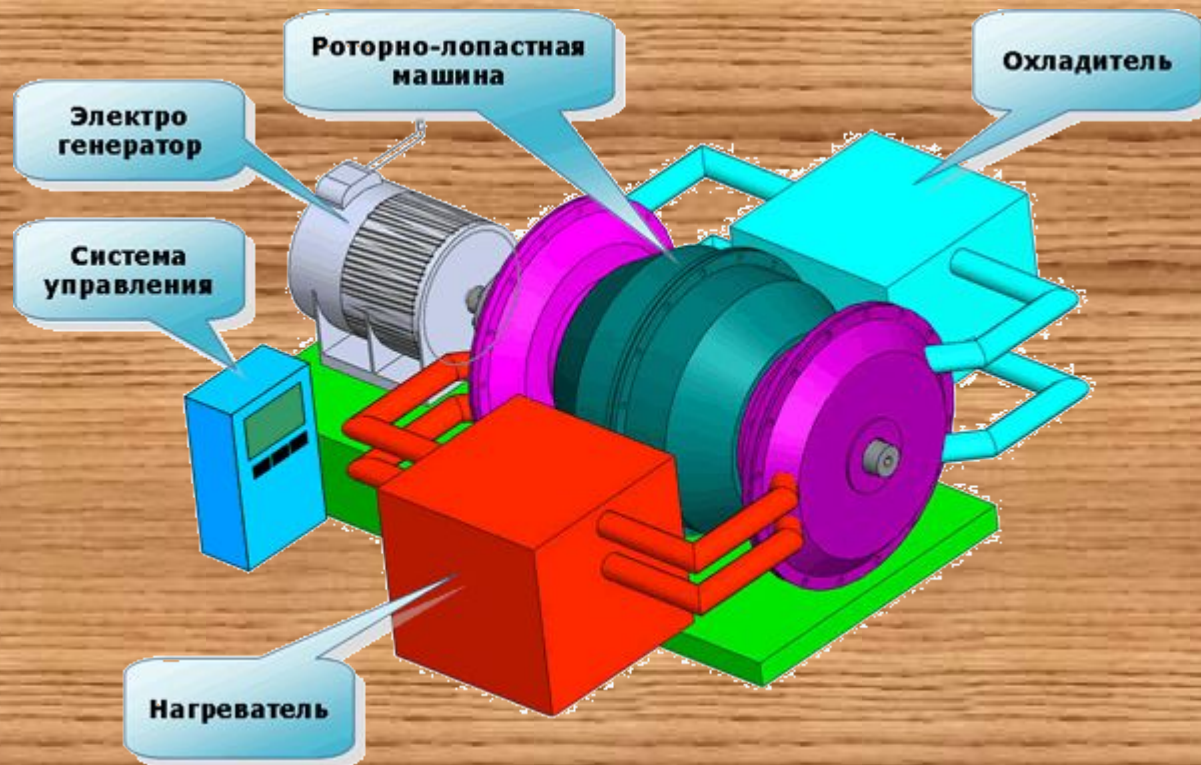
Так стоимость комплекса УБП, годовой перерабатываемой мощностью 20 тыс. т, составляет:

-ВТГ – 5 000,0 тыс. \$ US;

--УБПТ – 1 000,0 тыс. \$ US.

**Таким образом, экономическая эффективность УБПТ-001 выше зарубежных аналогов.**

## Автономная энергетическая установка на базе РЛДВПТ.



Предлагается когенерацию осуществлять на базе роторно-лопастного двигателя с внешним подводом тепловой энергии. Источниками внешней тепловой энергии являются продукты быстрого пиролиза УБПДО-020 (синтетическая нефть, синтез-газ, ВУМ, перегретый пар и воздушно-газовая смесь от вибрационной сушилки кипящего слоя).

## Преимущество генерации на РЛДВПТ.

Термический КПД составляет до 60%

Различные виды ископаемого топлива

Альтернативные источники тепловой энергии

Высокий моторесурс

Легкий запуск при низкой температуре

Герметичность

Регулирование изменением давления и температуры

## Преимущество генерации на РЛДВПТ.

Автономные энергоустановки	Стоимость за 1 кВт в рублях, установленной электрической мощности	Срок окупаемости, лет	Уровень шума, дБА	Ресурс до капремонта, часов
Газопоршневые (500 – 4000 кВт)	52 000 – 68 000	4 - 5	90 - 110	40 000
Газотурбинные (500 – 4000 кВт)	42 000 – 58 000	6 - 7	80 - 110	30 000
РЛДВПТ (500 – 4000 кВт)	20 000 – 30 000	1,5 – 2,0	30 - 45	60 000
Тип приводного двигателя	Токсичность, г/кВт*ч			
	NOx	CO	CxHy	
Двигатель с внешним подводом теплоты	0,5 – 1,0	0,25 – 1,0	0,01 – 0,05	
Газовая турбина	3,5 – 10,0	10,0 – 20,0	0,06 – 0,35	
Дизельный двигатель	2,0 – 10,0	1,0 – 25,0	3,0 - 60	
Бензиновый двигатель	3,0 – 10,0	100 - 200	70 - 600	



## **Перспективные направления развития проекта.**

Ориентация проекта на выпуск продукции, популярность которой в мире постоянно растет, а полезные свойства, в сочетании с невысокой стоимостью, позволяют решать потребителям остро стоящие перед ними проблемы, в том числе по снижению себестоимости своей продукции, все это позволяет сделать вывод о перспективе расширения развития данного проекта. Предлагаемый проект перспективен с точки зрения количественного роста и качественного совершенствования.

### **Количественный рост предполагает:**

- Нарращивание годовой мощности переработки исходного сырья и когенерации;
- Масштабирование, тиражирование и реализацию проекта в различных регионах РФ и мира;
- Расширение географии сбыта выпускаемой в рамках проекта продукции;
- Расширение базы исходного сырья (торф, сланцы, бурые и каменные угли, биомасса, промышленные и бытовые отходы, отходы КРС и птичий помет и т. д.);
- Продажа лицензий на технологии и конструкции УБП.

### **Качественное развитие проекта предполагает:**

- Освоение технологий более углубленной переработки продуктов БП, с получением моторных топлив и ароматических веществ;
- Создание автономных мобильных комплексов по переработке различных исходных веществ методом БП и генерации энергий;
- Создание бытовых автономных комплексов, для использования в жилищном секторе.

## Исполнители проекта.

### Основные исполнители.

ООО «ТЭК» - Генеральный разработчик и Ген. подрядчик проекта, патентодержатель на основе Договоров исключительного права.

[www.tek.su](http://www.tek.su), [tec@mail.ru](mailto:tec@mail.ru), +7 (909) 9013442, Москва, ул. Правды, 21.

Генеральный директор ООО «ТЭК» - Д.т.н. Владимир А. Котельников.

### Соисполнители исполнители:

- РИЦ «Курчатовский Институт» РАН (расчеты теплообменных процессов и аппаратов);
- Вычислительный центр РАН (математическое моделирование процессов);
- РХТУ им. Д.И. Менделеева (проведение физико-химических анализов веществ);
- Псковский государственный политехнический университет (генерация и когенерация энергий);
- инженерный центр МАИ (конструирование аппаратов, разработка АСУ и АСУТП);
- ОАО «Ивантеевский завод Мельмаш» (изготовление подающих и дозирующих устройств);
- ЗАО «Кислородмонтаж» (изготовление оригинального оборудования и монтаж установок) и др.

A photograph of a forest with a large fallen tree trunk in the foreground and many standing trees in the background. The text "Спасибо за внимание!" is overlaid in the center.

**Спасибо за  
внимание!**