

Энергетический комплекс для  
производства тепловой и  
электрической энергии из  
твердого биотоплива,  
полученного из биомассы  
(отходов производства и  
потребления)

## **Энергетический комплекс состоит из двух самостоятельных блоков:**

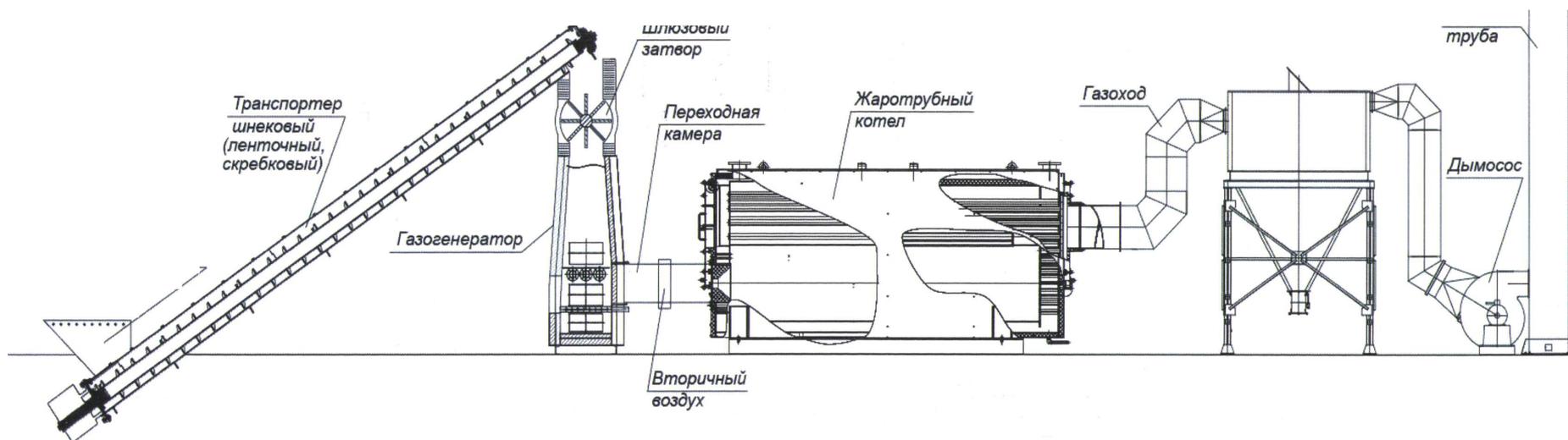
1. Газогенераторного отопительного котла, осуществляющего выработку тепловой энергии и производство энергетического газа. Газогенераторный отопительный котел используется для отопления потребителей (населения, промышленности и проч.) и получения энергетического газа, который используется в бытовых целях или газогенераторах для производства электроэнергии.

2. Технологической линии для производства твердого биотоплива из различных видов биомассы.

Основное назначение проекта – разработка современной высокоэффективной и экологически чистой технологии (включая изготовление типового образца), заключающейся в получении твердого биотоплива из отходов производства и потребления с дальнейшим его термическим разложением, для получения тепловой энергии и качественного энергетического газа.

**В настоящее время подобный энергетический комплекс не имеет аналогов в мире, как в комплексе, так и по отдельным блокам.** <sup>2</sup>

Технология газификации твердого топлива разработана с целью повышения эффективности получения тепловой энергии от этого вида топлива. В газификаторе ТТ газифицируется, а шлаковый остаток в мелкодисперсном составе подается на дожеговую колосниковую решетку, где происходит выжиг всех углеродных частиц в шлаке. Газы газификации поступают в переходную камеру, там добавляется вторичный воздух (фактически это газовая горелка) и газы сгорают в топочном объеме жаротрубного котла. Отдав тепло в котле, продукты сгорания поступают в мультициклон, где очищаются от взвешенных частиц, затем в дымосос и дымовую трубу. Надо отметить, что вынос твердых взвешенных частиц из газогенератора минимален, так как газы газификации проходят через слой топлива и шлака, который является естественным препятствием для выхода взвешенных частиц в переходную камеру. Газификатор является идеальным устройством для использования в теплоэнергетических установках. Газогенератор является устройством непрерывного (поточного) получения тепла, т.е. в данной конструкции предусмотрена постоянная подача ТТ, и соответственно он способен без каких-либо перерывов вырабатывать газ и обеспечивать потребителей теплом в течении всего отопительного периода.



**Целевые сегменты потребителей** - Сельскохозяйственные предприятия, теплоснабжающие предприятия муниципальных образований, промышленные предприятия.

**Сравнение технико-экономических характеристик созданного продукта с зарубежными и отечественными аналогами** - Продукт является уникальным, зарубежные и отечественные аналоги отсутствуют.

Себестоимость 1 Гкал тепловой энергии от установки – 1200 руб./Гкал, себестоимость газа – минимальна, поскольку газ является побочным продуктом данной установки.

**Оценка и обоснование возможности выхода продукта на зарубежные рынки и/или перспектив импортозамещения** - На сегодняшний день проведены предварительные переговоры с рядом зарубежных (шведских) компаний – производителей энергетического оборудования (Orson AG, Hotab AG и проч.) на предмет приобретения энергетических комплексов производства ООО «БАЛТКОТЛОМАШ» для дальнейшей реализации на внутренних рынках стран ЕС.

**Стратегия продвижения продукта на внутренний рынок** - продажа российским потребителям (несколько теплоснабжающих организаций (ООО «Леноблтеплоснаб», ООО «Теплоэнерго», ООО «ЛОТЭК» и другие выразили готовность приобретения энергетических комплексов)

Производство продукта для последующей продажи начинается с 22-го месяца проекта.

Планируется выпускать 6 энергетических комплексов ежегодно.

# **Сырьевая база – решающая предпосылка успешного производства твердого биотоплива**

- Древесные отходы (опилки, стружка, щепа, кусковые отходы...)
- Неделовая древесина (баланс, тонкомер, тех. сырье)
- Отходы сельскохозяйственного производства (лузга, шелуха, солома, подстилка домашних животных и птиц, отходы животноводства и т.д.)
- Торф
- Твердые бытовые отходы
- Другие виды биомассы

Основными запасами биомассы являются ТБО и отходы полученные в лесном и агропромышленном комплексах.

Первоначально была поставлена задача разработать технологию дешевого прессования любых видов биомассы.

Как самый трудный вариант, рассматривалась технология прессования соломы.

При изучении различных технологий, и особенно практических результатов, было выявлено, что все заявленные производителями оборудования параметры не выдерживают никакой критики.

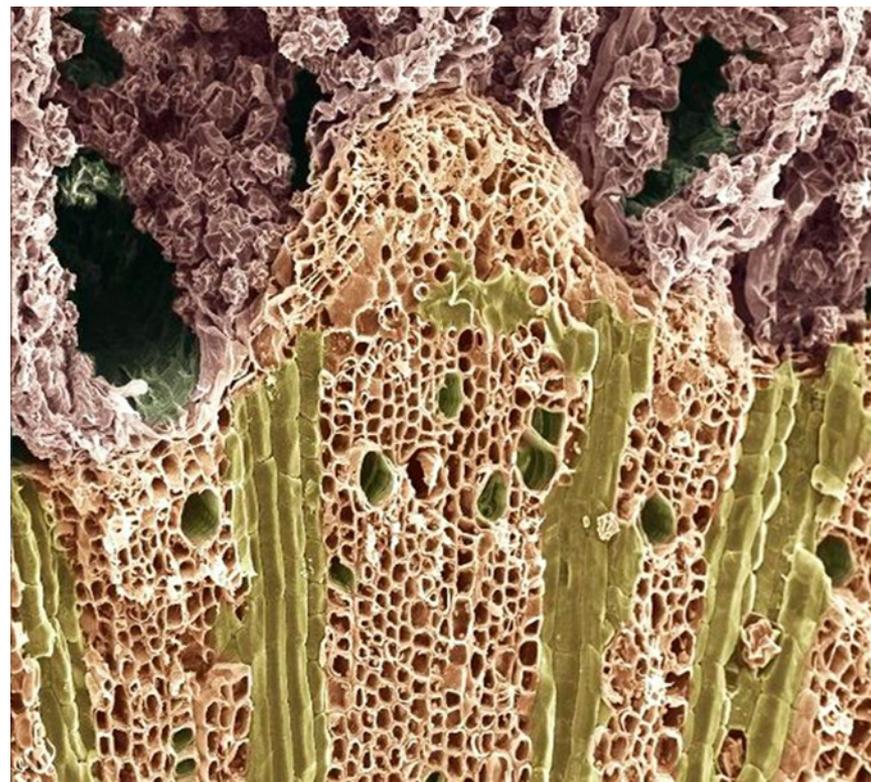
Анализ эффективности существующей технологии производства твердого биотоплива с точки зрения затрат, приводит к выводу о несовершенстве современных технологических подходов его производства.

Это связано с отсутствием адекватного понимания физико-химических закономерностей, обуславливающих процессы, происходящие при гранулировании биомассы.

Учитывая, что в составе сухих веществ биомассы свыше 90 % приходится на долю биополимеров (целлюлоза, полисахариды, лигнин и др.), была выдвинута рабочая гипотеза, согласно которой в основе механизма гранулирования биомассы лежат физико-химические и химические превращения биополимеров.

Не менее важным фактором, влияющим на гранулирование биомассы, является ее макроструктура. С этой точки зрения биомасса является капиллярнопористым коллоидным веществом, также обладающим сложной многоуровневой структурой.

**Биомасса – смесь пористых органических полимеров растительного происхождения, содержащих влагу.**



Суммируя эти данные, можно констатировать, что биомасса, как объект для гранулирования, представляет собой многокомпонентную систему взаимосвязанных природных полимеров. Всё это дает основания для проведения аналогии между процессами, протекающими в синтезированных полимерных материалах при их технологической переработке, и превращениями биополимеров, происходящими при гранулировании биомассы.

Редко кто учитывает прочность межклеточных связей в растительных полимерах. Например у соломы прочность молекулярных связей сопоставима с низкосортными сортами стали. Получается, что мы должны перерабатывать упругие и прочные тонкие проволочки стали.

Основными недостатками, существующих технологий являются:

- невозможность работы с влажным сырьем,
- повышенный износ оборудования,
- повышенные энергозатраты из-за предварительной сушки сырья,
- работа на одном типе сырья,
- дороговизна оборудования.

Проанализировав недостатки существующих технологий и оборудования для получения твердого топлива, нами предложен новый подход, позволяющий получить высокое качество твердого топлива при малых энергозатратах. Основными отличиями предлагаемой технологии является: работа с сырьем практически любой влажности, микроизмельчение входного сырья до размеров 80-100 мкм. В результате получаем резкое снижение энергозатрат, возможность работы на любом сырье, получение твердого биотоплива с повышенными энергетическими показателями.

В качестве базового подхода к диспергированию биомассы нами был выбран процесс дезинтегрирования. Такой подход к диспергированию максимально эффективен при измельчении капиллярнопористых материалов. Для его реализации нами был разработан специализированный дезинтегратор, конструкция которого учитывает, в первую очередь, волокнистую структуру биополимеров, при их измельчении.

Механическая прочность твердого биотоплива зависит от твердофазной термохимической реакции полимеризации и низкотемпературной термодеструкции. При этом использование при прессовании ударного воздействия не эффективно, т.к. не обеспечивает условий для этих процессов. Мы прессуем сырье со свойствами бингамовского тела, поэтому эффективней применять шнековые пресс-экструдеры.

Исходя из научных работ профессора СПб ГТУРП Акима Эдуарда Львовича о поведении целлюлозы и лигнина и влияния на эти процессы воды, мы пришли к выводу, что прессование необходимо производить при обязательном присутствии воды, т. к. вода выступает в роли катализатора и модификатора химических процессов, преобразований целлюлоз и лигнина. Для качественного процесса стеклования наиболее подходит шнековый пресс-гранулятор, который обеспечивает медленные нагрузки, при которых деформации материала имеют выраженный вязко-текучий характер. Путем модификации режимов экструдирования по длине канала шнекового пресс-экструдера по расходу, давлению и температуре перерабатываемой массы в зависимости от ее физико-механических характеристик можно получать качественные брикеты из сырья любой начальной степени влажности. За счет этого исключается необходимость предварительной сушки сырья до величины 10-12%, исключается необходимость в использовании электронагрева сырья, снижаются требования к особой прочности используемых деталей корпуса и, следовательно, снижается его материалоемкость. Одновременно обеспечивается возможность универсального применения модифицированных шнековых пресс-экструдеров для переработки расширенной сырьевой базы дисперсных отходов, пригодных для получения прочных брикетов.

В используемой технологии получения брикетов, включающем загрузку исходного сырья в бункер с дозатором, продвижение перерабатываемой массы сырья по длине канала пресса вращающимся подающим шнеком, последовательно формируют сначала зону удаления излишней влаги, а затем зону предварительного прессования и разогрева перерабатываемой массы за счет сил внутреннего трения, в которых одновременно происходит дополнительный отжим влаги и вывод ее из полости канала через проницаемые для жидкости и пара стенки, а требуемые потребительские параметры брикетов из каждого вида сырья подбирают комбинацией величины скорости вращения шнека, количеством подаваемого сырья дозатором, величины зазоров между внутренней конической поверхностью канала экструдирования и наружными коническими поверхностями шнека предварительного прессования и разогрева перерабатываемой массы, а также наружными поверхностями витков конического прессующего шнека.

Формирование требуемого влажностного режима осуществляется следующим образом:

- часть избыточной влаги теряется на этапе микроизмельчения сырья,
- при прессовании большая часть влаги отжимается, причем в большей степени «капельным» путем (т.е. при отсутствии фазового перехода жидкости в пар), а часть химически связывается в гранулированном материале, что, ко всему прочему, обуславливает подъем теплотворной способности гранулы по сравнению с исходным сырьем на 10-20 %;
- на этапе термостабилизации готовой гранулы испаряется избыточная влага из гранулы, при этом часть энергии возвращается (рекуперируется) в технологический процесс.

# ПРЕИМУЩЕСТВО МЕТОДА УВЛАЖНЕННОГО ПРЕССОВАНИЯ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА

(на примере прессования шелухи подсолнечника)

Метод прессования	Сухой	Увлажненный
Сырье	Монокультура	Универсальность
Влажность материала перед гранулированием	Не более 14%	Не более 30-35%
Энергопотребление	135 кВт	74кВт
Затраты энергии (на производство 500кг)	486000 кДж	133200 кДж
Теплотворная способность топлива	До 18000 кДж/кг	До 21000 кДж/кг
Соотношение полученной в виде топлива энергии к затраченной энергии	18,52	78,83
Износостойкость шнеков и матриц	200-230 часов	1000-10000 часов
Возможность производства гранул различной формы	Нет	Есть
Необходимость сушки	1-Сушка входящего сырья 2-Остужение и стабилизация на выходе	Охлаждение - досушка на выходе
Стоимость сушки входящего сырья	Свыше 50% от стоимости оборудования	Не выше 10% от стоимости оборудования
Пожаробезопасность	Высокая	Низкая

# ПРЕИМУЩЕСТВО МЕТОДА УВЛАЖНЕННОГО ПРЕССОВАНИЯ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА

(на примере прессования шелухи подсолнечника)

Метод прессования	Сухой	Увлажненный
Сырье	Монокультура	Универсальность
Влажность материала перед гранулированием	Не более 14%	Не более 30-35%
Энергопотребление	135 кВт	74кВт
Затраты энергии (на производство 500кг)	486000 кДж	133200 кДж
Теплотворная способность топлива	До 18000 кДж/кг	До 21000 кДж/кг
Соотношение полученной в виде топлива энергии к затраченной энергии	18,52	78,83
Износостойкость шнеков и матриц	200-230 часов	1000-10000 часов
Возможность производства гранул различной формы	Нет	Есть
Необходимость сушки	1-Сушка входящего сырья 2-Остужение и стабилизация на выходе	Охлаждение - досушка на выходе
Стоимость сушки входящего сырья	Свыше 50% от стоимости оборудования	Не выше 10% от стоимости оборудования
Пожаробезопасность	Высокая	Низкая

## Анализ методов прессования

№ п/п	Тип прессования	Ударный	Роликовый	Шнековый, увлажнённый
1	Механизм прессования	Продавливание материала через матричный канал за счет возвратно-поступательного движения поршня	Продавливание материала через матричный канал за счет вдавливания материала роликами	Продавливание материала через матричный канал за счет вращения шнека
2	Обороты в минуту	до 30	до 300	до 200
3	Давление	Пульсирующее	Пульсирующее	Постоянное
4	Физический процесс	Агломерация за счет давления	Агломерация за счет давления	Низкотемпературная термохимическая реакция полимеризации
5	Процесс	Спекание	Спекание	Плавление
6	Температура процесса, оС	240-290	240-290	70-110
7	Учет реологических свойств материала	нет	нет	есть
8	Влажность сырья,%	до 10	до 10	до 30-35
9	Механизм сдвига слоев	низкий	низкий	высокий

В используемой технологии получения брикетов, включающем загрузку исходного сырья в бункер с дозатором, продвижение перерабатываемой массы сырья по длине канала пресса вращающимся подающим шнеком, последовательно формируют сначала зону удаления излишней влаги, а затем зону предварительного прессования и разогрева перерабатываемой массы за счет сил внутреннего трения, в которых одновременно происходит дополнительный отжим влаги и вывод ее из полости канала через проницаемые для жидкости и пара стенки, а требуемые потребительские параметры брикетов из каждого вида сырья подбирают комбинацией величины скорости вращения шнека, количеством подаваемого сырья дозатором, величины зазоров между внутренней конической поверхностью канала экструдирования и наружными коническими поверхностями шнека предварительного прессования и разогрева перерабатываемой массы, а также наружными поверхностями витков конического прессующего шнека.

Формирование требуемого влажностного режима осуществляется следующим образом:

- часть избыточной влаги теряется на этапе микроизмельчения сырья,
- при прессовании большая часть влаги отжимается, причем в большей степени «капельным» путем (т.е. при отсутствии фазового перехода жидкости в пар), а часть химически связывается в гранулированном материале, что, ко всему прочему, обуславливает подъем теплотворной способности гранулы по сравнению с исходным сырьем на 10-20 %;
- на этапе термостабилизации готовой гранулы испаряется избыточная влага из гранулы, при этом часть энергии возвращается (рекуперируется) в технологический процесс.

Оценка качества полученных на лабораторном комплексе гранул, показала следующие результаты:

Насыпная плотность – 800-850 кг/м<sup>3</sup> (мнимая плотность – 1300-1350 кг/м<sup>3</sup>), содержание мелкой фракции - ≤0,2%, механическая стойкость – 99,3%. При этом, показатели качества, отражающие химический состав топливных гранул, оставался неизменным, относительно сырья. Это означает, что новый технологический подход к переработке биомассы, позволяет получать топливные гранулы с показателями качества, значительно превышающими требования стандарта ЕС, вне зависимости от типа биомассы, что подтверждает нашу гипотезу об инвариантности технологии к сырью.

В результате исследования теплоты сгорания сырья и полученного в результате переработки с использованием нового технологического подхода гранулированного биотоплива нами зафиксирован рост этой ключевой для энергетики характеристики продукта на 20-25%. Таким образом, с помощью нового технологического подхода можно получать твёрдое гранулированное биотопливо с теплотой сгорания ≥20 Мдж/кг.