

УДК 62-626.42

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЗАМЕЩЕНИЯ ПРИРОДНОГО  
ГАЗА СИНТЕЗ-ГАЗОМ, ПУТЕМ ВНЕДРЕНИЯ КОГЕНЕРАЦИОННОЙ  
ГАЗИФИКАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ В ПРОИЗВОДСТВЕ  
ДЕРЕВООБРАБОТКИ И МЕБЕЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ**  
**INVESTIGATION OF THE POSSIBILITY OF REPLACING NATURAL GAS  
WITH SYNTHESIS GAS, THROUGH THE INTRODUCTION OF A  
COGENERATION GASIFICATION PLANT IN THE PRODUCTION OF  
WOODWORKING AND FURNITURE PRODUCTS**

С.А. Варварский

Научный руководитель – С.И. Ракевич, старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

S. Varvarski

Supervisor – S. Rakevich, Senior Lecturer  
Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** В данной статье будет рассмотрен экономический эффект от внедрения когенерационной установки на генераторном газе для деревообрабатывающего предприятия, исследованы технические свойства древесной биомассы как вида топлива для получения синтез-газа.

**Abstract:** In this article, the economic effect of the introduction of a cogeneration plant on generator gas for a woodworking enterprise will be considered, the technical properties of wood biomass as a type of fuel for synthesis gas production will be investigated.

**Ключевые слова:** синтез-газ, древесная биомасса, когенерация, газификация биомассы.

**Key words:** synthesis gas, woody biomass, cogeneration, biomass gasification.

### **Введение**

Поиск новых источников для получения энергии стоит перед человечеством с каждым годом стоит всё острее, на данный момент наиболее перспективным способом замены природного газа является производство и использование синтез-газа, он может получаться не только путём газификации угля, однако и путём газификации различной биомассы, например древесной. Использование данной технологии позволит использовать непригодную для обработки, либо отходы от деревообработки для получения электроэнергии и тепловой энергии с уменьшением зависимости от внешних источников энергии.

### **Основная часть**

Синтез-газ представляет собой газообразное топливо, полученное при газификации биомассы, либо угля, синтез-газ газ включает в себя следующие компоненты входящие в его состав, однако содержание примесей может слегка варьироваться исходя из сырья для получения топлива:

- Диоксид углерода ( $CO_2$ ): 30-32 %. Концентрация зависит от типа используемого окислителя и процесса газификации;
- Метан ( $CH_4$ ): 9-11 %. Метан присутствует в синтез-газе, но его

- содержание обычно невелико;
- Водород ( $H_2$ ): 38-40 %. Водород является значительным компонентом синтез-газа и его концентрация может значительно варьироваться в зависимости от процесса;
  - Монооксид углерода ( $CO$ ): 15-18 %. Монооксид углерода является основным компонентом синтез-газа и его концентрация может быть достаточно высокой;
  - Азот ( $N_2$ ): 0-15 %. Азот присутствует в синтез-газе, если используется воздух в качестве окислителя. В случае использования чистого кислорода содержание азота будет минимальным;
  - Водяные пары ( $H_2O$ ): 5-15 %. Концентрация водяных пар может варьироваться в зависимости от температуры процесса газификации и уровня конденсации.

Также в составе полученного синтез-газа могут входить продукты неполного сгорания: Концентрация таких примесей, как смолы и твердые частицы, может зависеть от чистоты процесса и может составлять малые доли процентов, однако эти компоненты часто удаляются в процессе очистки [1].

Нами были проведены лабораторные опыты по определению, влажности, зольности и выхода горючих веществ из древесного сырья для получения синтез-газа (табл. 1).

Таблица 1 – Результаты расчёта технических характеристик топлива

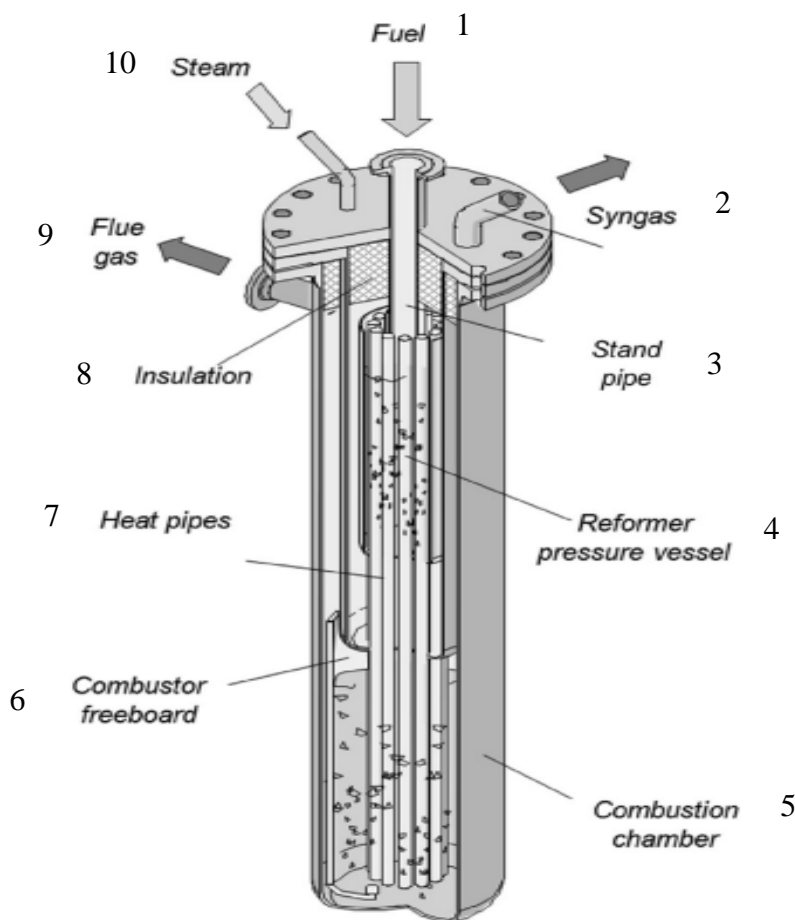
Вид топлива	Влага аналитической пробы испытываемого топлива, %				
	$W_{a1}$	$W_{a2}$	$W_{cp\ a}$		
Паллеты	10,2	10,68	10,44		
Древесная щепа	8,67	8,89	8,78		
Вид топлива	Зольность испытываемой пробы, %				
	$A_{a1}$	$A_{a2}$	$A_{a\ cp}$	$A_c$	$A_p$
Паллеты	1,5	1,7	1,6	1,8	1,81
Щепа	1	1	1	1,01	0,88
Вид топлива	Выход летучих веществ испытываемой аналитической пробы топлива, %				
	$V_{a1}$	$V_{a2}$	$V_{a\ cp}$	$V^I$	
Паллеты	78,16	75,23	76,695	87,2	
Древесная щепа	79	81,21	80,11	88,7	

По итогам проведённого эксперимента и расчётам можно понять, что древесина сама по себе является хорошим сырьём для получения синтез-газа путём газификации, так как древесина по итогам расчётов имеет низкую влажность и зольность, а также высокий уровень выхода летучих веществ.

На рисунке 1 показана технологическая схема реформера Heatpipe: в отличие от других процессов газификации в двойном кипящем слое, газификация происходит в камере реформера под давлением 2-10 бар и 800 °С. Так как синтез-газ под давлением, это позволяет использовать его для сжигания в двигателях или газовых турбинах. Тепло для процесса подается из камеры сгорания, расположенной под реформером. Тепловые трубы соединяют оба процесса и транспортируют тепло от печи к газификатору. Для обеспечения высокого коэффициента теплопередачи к тепловым трубам и газификации,

сжигание происходит в псевдооживенных слоях. Для снижения тепловых потерь и температурных напряжений на верхнем фланце реформер изолирован в верхней части. Пар и топливо подаются сверху; топливо поступает в псевдооживенный слой по трубе-подставке. В таблице 2 приведены типичные составы синтез-газа. Система газификации может перерабатывать как биомассу, так и уголь в качестве сырья [2].

В Республике Беларусь в данный момент нет технологий газификации. В Российской Федерации в связи с дешевой нефтью данная технология не развивается в коммерческих целях в отличие от стран Европы.



- 1 – сырьё; 2 – синтез-газ; 3 – стоячая труба; 4 – сосуд под давлением реформера;  
 5 – камера сгорания; 6 – Надводный борт горения; 7 – тепловые трубки;  
 8 – изоляция; 9 – дымовой газ; 10 – пар

Рисунок 1 – Схема системы газификации Heatpipe Reformer:

Технологию получения синтез-газа традиционно внедряют на предприятиях лесной, мебельной промышленности как резервный источник питания. Отдельные мини-ТЭС промышленного масштаба также имеют место быть. Состав топлива напрямую влияет на низшую теплоту сгорания топлива и выработку тепловой и электрической энергии. Состав и теплосодержание топлива при различных топливах приведен в таблице 2.

Таблица 2 – Состав синтез-газа при различных видах топлива

Компоненты	Вид топлива					
	Отходы производства			шелуха риса	лигнит	Бурый уголь БРЗ
	древесины	шелуха подсолнечника	солома			
$H_2$	15-21	14-17	14-15	14-20	14-20	14-20
$N_2$	44-50	44-48	46-51	50-54	44-54	42-54
$CO$	16-20	15-20	15-19	15-17	15-16	11-19
$CH_4$	1-3,5	4-6	1,5-3	2-4	1,5-3,5	2-3,5
$CO_2$	10-12	9-12	11-15	10-12	10-14	12-14
$C_2H_4$	0-0,3	0,6-0,9	0,2-0,8	0,3-0,5	0-0,1	0-0,7
низшая теплота сгорания, ккал/м <sup>3</sup>	1140-1360	1500-1550	990-1300	1040-1180	1090-1120	1160-1280

Требуемая влажность топлива для загрузки в газогенератор 8-13 %. Сырье, его качество и влажность влияют на его расход. В среднем 0,6-1,2 кг на получение 1 кВт электроэнергии.

В исследовании определим перспективность использования технологии ООО «ЦНИДИ» в промышленности лесозаготовки/мебельной промышленности.

Зададимся условием, что площадка по производству обрабатывает в год 55 тыс. м<sup>3</sup> в год древесины. Продукты переработки древесины имеют нулевую стоимость, отходы деревообработки не продаются и не закупаются.

По данным ООО «ЦНИДИ» расход топлива на кВт установленной мощности 0,8-1,2 м<sup>3</sup>. Зная количество отходов в сутки, определим установленную электрическую мощность установки. Для нашей установки примем газификационную когенерационную установку типа SPANNER НКА 45х3 кВт. Внешний вид когенерационной установки приведен на рисунке 2.

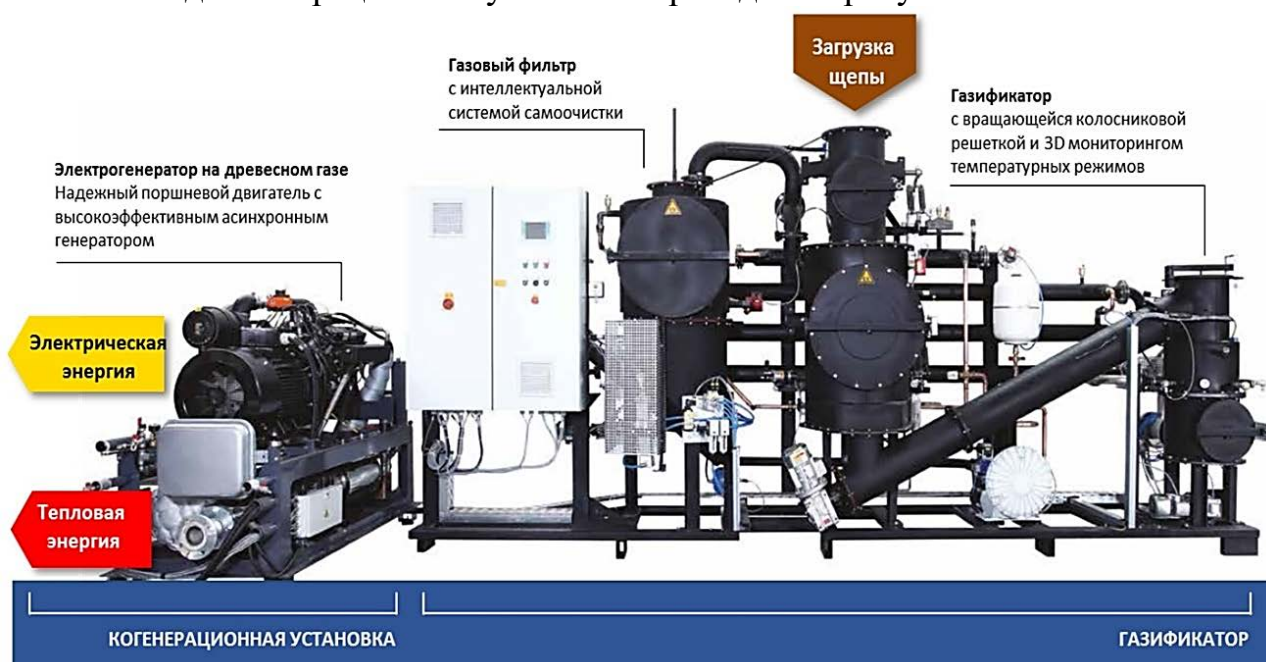


Рисунок 2 – Внешний вид когенерационной установки SPANNER

Среднестатистическая стоимость кВт установленной мощности для мини-ТЭЦ, когенерационных установок, установок синтез-газа 1000\$. Экономический эффект

достигается путем снижения потребления электрической энергии и тепловой энергии от ТЭЦ. Экономия зависит от стоимости кВт·ч электрической энергии и Гкал тепловой энергии.

Принимается, что каждые 2000 часов, в нашем случае каждый год необходимо менять масло, что составляет 2 % от общей стоимости. Каждые 10000 часов работы (каждые 5 лет) необходимо проводить плановые ремонты, составляющие 10-15 % от общей стоимости. Спустя 30000 часов (15 лет) необходимо проводить капитальный ремонт, для капитальных ремонтов рассчитывается амортизация объекта, для упрощения расчета примем 5 % в год.

Простой срок окупаемости составил 3,8 лет, что является приемлемым, но существуют факторы, которые не оценены в расчете простого срока окупаемости: амортизация, затраты на техническое обслуживание и ремонты оборудования. Для этого рассчитаем чистый дисконтированный доход (ЧДД) и определим динамический срок окупаемости проекта ( $T_d$ ).

Оценка эффективности использования средств, направляемых на реализацию инвестиционного проекта, производится на основании ряда показателей, а именно:

- простой срок окупаемости ( $T_n$ ), не более 5 лет;
- динамический срок окупаемости ( $T_d$ ), не более 8 лет;
- чистый дисконтированный доход (ЧДД), не менее 0.

Таким образом, в результате расчета полученные значения ЧДД (рис. 3), внутренней нормы доходности (рис. 4) подтверждают эффективность использования средств, направляемых на выполнение данного энергосберегающего мероприятия.

В расчетах учтены амортизационные отчисления, плановые ремонты, текущий ремонт.

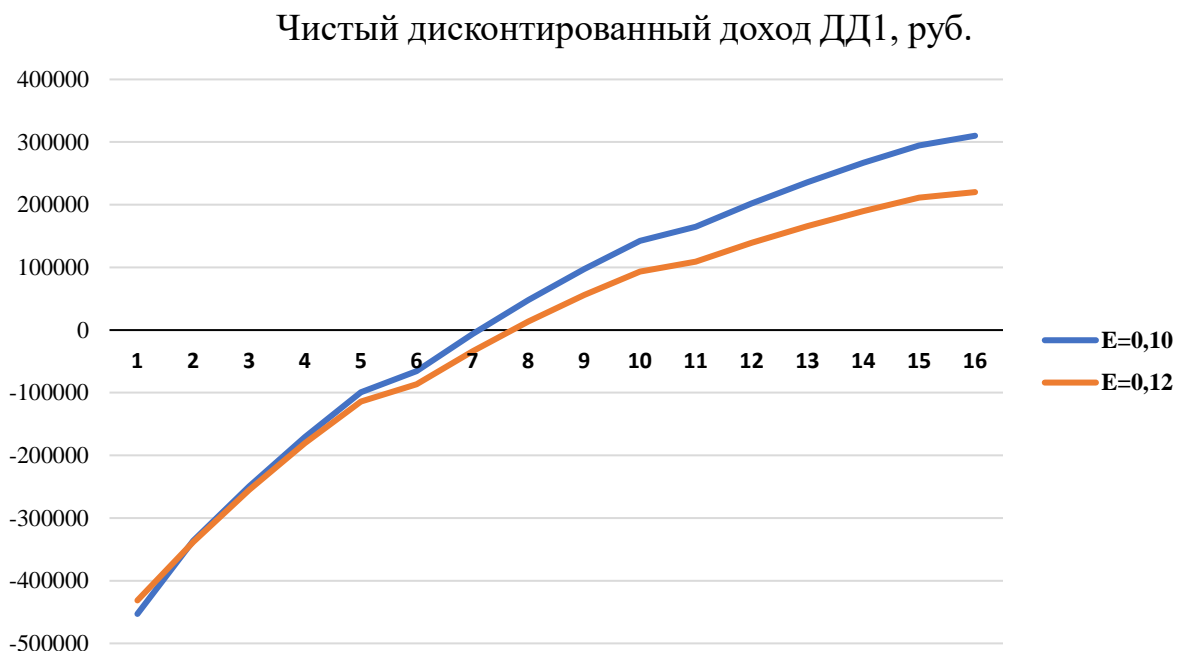


Рисунок 3 – Графический метод определения динамического срока окупаемости проектного решения при ставке 10 % и 12 %

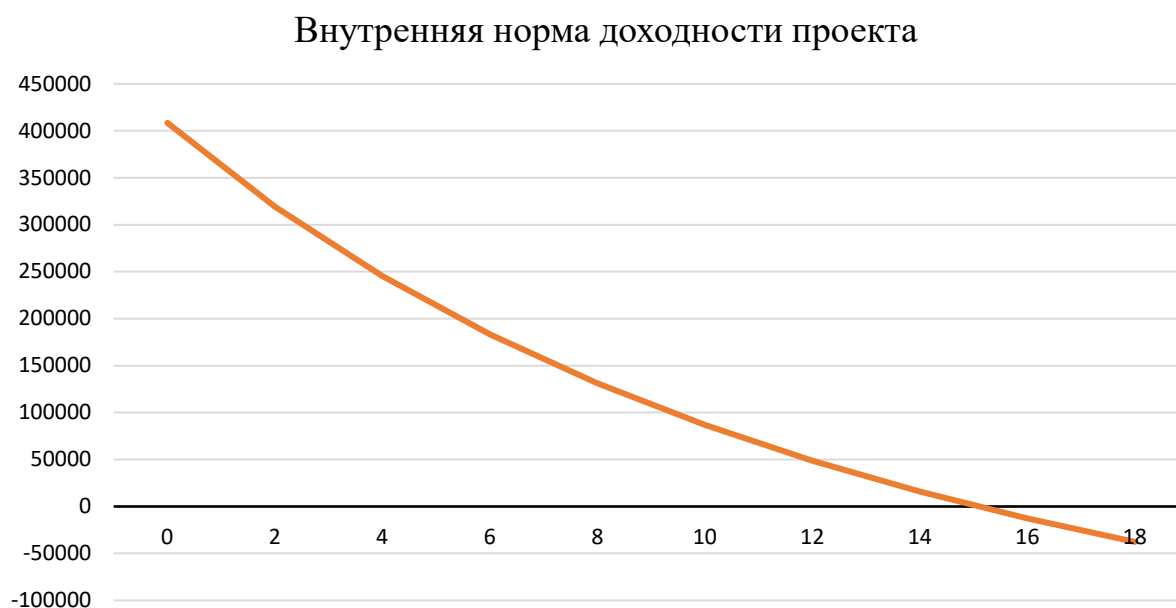


Рисунок 4 – Графический метод определения внутренней нормы доходности проекта

Анализируя полученные графики, можно сделать вывод, что проект имеет место быть при условии, что отходы древесины имеют нулевую стоимость. Для определения динамического срока окупаемости, с учетом закупки топлива необходимо проводить дополнительный расчет.

### **Заключение**

По итогам лабораторного эксперимента были получены результаты, которые показывают, что содержание влаги и золы в древесной щепе и древесных паллетах, также был рассчитан, выход летучих веществ из сырья для получения синтез-газа крайне высокое, что делает использование этого сырья пригодным для получения синтез-газа.

В практической работе также был рассмотрен вопрос внедрения данной технологии на мебельной фабрике, с обработкой древесины 55000 м<sup>3</sup>/год. Результаты показали, что установка, работающая на синтез-газе способна вырабатывать 253 МВт·ч/год и 566,47 Гкал/год. Выработки хватит, чтобы заместить часть энергоресурсов, получаемых от энергоснабжающих организаций.

В проекте был проведен расчет простого и динамических сроков окупаемости проекта. Результаты составили 3,4 и 6,6 лет соответственно. Была определена внутренняя норма доходности проекта – 15 %. В проекте не были учтены затраты на отходы производства, было принято, что они имеют нулевую ценность.

### **Литература**

1. Химическая энциклопедия [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-himicheskaya-enciklopediya-tom-4-pol-tri.pdf> /. – Дата доступа: 19.09.2024.
2. Производительность и эффективность системы газификации риформера с тепловыми трубками [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://www.researchgate.net/publication/317205418\\_Performance\\_and\\_Efficiency\\_of\\_the\\_Heatpipe\\_Reformer\\_Gasification\\_System](https://www.researchgate.net/publication/317205418_Performance_and_Efficiency_of_the_Heatpipe_Reformer_Gasification_System) /. – Дата доступа: 19.09.2024.