



DOI: 10.18721/JEST.25304  
УДК 620.92

*А.А. Калютик, Д.А. Трещев, Д.Л. Поздеева*

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
Санкт-Петербург, Россия

## **УТИЛИЗАЦИЯ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ НА ТЭЦ г. САНКТ-ПЕТЕРБУРГА**

Рассмотрена актуальная проблема обращения с твердыми бытовыми отходами. Показана возможность участия электростанций в получении тепловой и электрической энергии путем утилизации твердых бытовых отходов на действующих ТЭЦ г. Санкт-Петербурга. В качестве решения показано использование технологии газификации твердых бытовых отходов с получением в процессе газификации синтез-газа и его дальнейшим использованием в качестве топлива в паросиловом цикле. Для оценки технических показателей теплофикационных установок было выполнено моделирование и расчет тепловых схем в программе Boiler Designer. Показана возможность применения оборудования как с давлением свежего пара 100 кгс/см<sup>2</sup> (10 МПа), температурой 525 °С так и с давлением 140 кгс/см<sup>2</sup> (14 МПа), температура 540 °С. Показано, что при работе станции в теплофикационном режиме данные варианты могут считаться равноценными, более высокие параметры пара эффективно применять на горизонте в 15 лет при разнице в цене оборудования до 139,54 млн рублей. Представлены требования к площадке действующей ТЭЦ для размещения нового энергоисточника. Критериям удовлетворяют Северная и Южная ТЭЦ г. Санкт-Петербурга.

*Ключевые слова:* альтернативное топливо, ТЭЦ, выработка тепловой и электрической энергии, твердые бытовые отходы, газификация.

*Ссылка при цитировании:*

Калютик А.А., Трещев Д.А., Поздеева Д.Л. Утилизация твердых бытовых отходов на ТЭЦ г. Санкт-Петербурга // Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки. 2019. Т. 25, № 3. С. 59–70. DOI: 10.18721/JEST.25304

*A.A. Kalyutik, D.A. Treshchev, D.L. Pozdeeva*

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia

## **RECYCLING MUNICIPAL SOLID WASTE AT POWER-AND-HEATING PLANTS OF ST. PETERSBURG**

The article reviews the essential problem of municipal solid waste (MSW) management. We consider the possibility of involving combined heat and power plants in energy recovery from MSW using the example of an operational cogeneration plant in St. Petersburg. We suggest using the gasification technology on hard household waste, which results in production of synthesis gas that can be used as a fuel in the steam cycle. To assess technical performance of the heating units, we carried out a simulation of the cycle arrangement and subsequent heat-and-mass balance calculation by means of Boiler Designer software. The equipment can run either at the pressure of 10 MPa and the temperature of 525 °C or at the pressure of 14 MPa and the temperature of 540 °C. The results of analysis show that the options are equivalent when the plant is operating in the heat-extraction mode, but it is more efficient to use the steam of higher service conditions in the 15-year period, until the price difference of the equipment is lower or equals 139.54 million rubles. There is a list of requirements imposed on an industrial site of the operational power plant for installing new energy sources. The Severnaya and the Yujnaya cogeneration plants meet the acceptance criteria.

*Keywords:* alternate fuel, power-and-heating plant, production heat and electricity energy, municipal solid waste, gasification.

*Citation:*

A.A. Kalyutik, D.A. Treshchev, D.L. Pozdeeva, Recycling municipal solid waste at power-and-heating plants of St. Petersburg, St. Petersburg polytechnic university journal of engineering science and technology, 25 (03) (2019) 59–70. DOI: 10.18721/JEST.25304

**Введение.** Согласно Стратегии экологической безопасности РФ, на период до 2025 г., на территории нашей страны накоплено свыше 30 млрд т отходов. Кроме того, увеличивается количество отходов, которые не вовлекаются во вторичный хозяйственный оборот, а размещаются на полигонах и свалках, что ведет к выводу продуктивных сельскохозяйственных территорий из оборота. Около 15 тысяч санкционированных объектов размещения отходов расположены на территории общей площадью примерно 4 млн га. Эта территория каждый год увеличивается на 300–400 тыс. га. По данным Федеральной службы государственной статистики, в 2005 г. в Российской Федерации зафиксировано образование порядка 3 млрд т отходов, а в 2015 г. уже 5,06 млрд т (за 10 лет показатель вырос на 69 %)¹.

Средний объем утилизации отходов в Российской Федерации составляет лишь 35 %, что приводит не только к росту объемов накапливаемых и в дальнейшем захораниваемых отходов, но и к потере до 90 % полезной продукции, пользующейся спросом на рынке [1].

В настоящее время в результате деятельности населения, организаций и предприятий Санкт-Петербурга образуется 9,7 млн м³ твердых бытовых отходов (ТБО) в год или 1,7 млн т. Лишь малая часть ТБО, образуемых в Санкт-Петербурге, перерабатывается на двух специализированных мусороперерабатывающих за-

водах (МПЗ), а основная часть ТБО размещается на полигонах без переработки².

Стратегические цели, поставленные Президентом и Правительством РФ в части обращения с отходами, направлены на построение новой системы обращения с отходами, и главным образом, с ТБО³.

**Цель работы** – Показать возможность участия электростанций в формировании новой системы обращения с отходами, которая позволит вовлечь вторичные компоненты отходов в хозяйственный оборот, снижая воздействие полигонов ТБО на окружающую среду.

#### Производство альтернативного топлива

Одним из способов повышения экологической безопасности населения Санкт-Петербурга и снижение ущерба, причиняемого окружающей среде, может быть утилизация отходов путем производства вторичного топлива с целью получения тепловой и электрической энергии на действующих ТЭЦ города Санкт-Петербурга.

Вторичное топливо, получаемое из ТБО, получило название Refuse Derived Fuel (RDF) иначе топлива, полученного из отходов. Для производства RDF используются следующие фракции ТБО с относительно высокой теплотой сгорания: бумага, текстиль, древесина, пластмасса [2].

<sup>2</sup> Программа «Региональная целевая программа по обращению с твердыми бытовыми и промышленными отходами в Санкт-Петербурге на период 2012–2020 годов», утв. Постан. Правительства Санкт-Петербурга № 524 от 29.05.2012 г.

<sup>3</sup> Указ Президента РФ «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» № 204 от 07.05.2018 г.

<sup>1</sup> Стратегия развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 года, утв. Распоряж. Правительства РФ № 84-р от 25.01.2018 г.

Процесс производства альтернативного топлива (АТ) на базе ТБО включает в себя несколько стадий. Сепарация (сортировка) является первым и одним из самых главных этапов производства АТ. Ее задача распознать и удалить такие компоненты как камни, стекло, песок, керамика, а также извлечь элементы, которые при сжигании своими продуктами горения негативно влияют на окружающую среду. К таким элементам относятся изделия на основе поливинилхлорида (ПВХ), металлы, хлорсодержащие вещества, автомобильные запчасти и комплектующие, лампы, и т. д.

Следующий этап – измельчение (дробление) до необходимого размера фракции. Предварительное измельчение также может производиться и до сепарации. Это способствует упрощению дальнейшего технологического процесса и уменьшению размеров крупногабаритных отходов. Например, практикуется применение устройств по разрыванию пакетов.

Далее происходит сушка сырья, характеризующаяся большими потерями ТБО влаги. Тем самым сушка позволяет повысить теплотворные и энергетические показатели топлива, а также качество и калорийность топлива. Данный процесс, соответственно, повышает и стоимость, и востребованность АТ на рынке. Начальное содержание влаги в сырье обычно составляет 20–30 %, однако для топлива высокого качества влажность не должна превышать 9–11 %.

После сушки топливо уже может использоваться, но чаще завершающим этапом является изготовление топливных брикетов. Процесс брикетирования представляет собой прессование АТ под высоким давлением на механических прессах.

Калорийность топлива в большей степени зависит от содержания в отходах горючих фракций. Средние значения теплоты сгорания топлива RDF лежат в пределах от 12 до 18 МДж/кг. В целях исследования принят нижний порог теплоты сгорания RDF топлива 12 МДж/кг.

Примерный морфологический состав ТБО, образующихся в Санкт-Петербурге, приведен в табл. 1 [3–7].

Таблица 1

**Морфологический состав твердых бытовых отходов в Санкт-Петербурге**

**Approximate morphological composition of solid municipal waste in St. Petersburg**

Тип отходов	Относительная доля в общем составе, %
Органические отходы	27,4
ПЭ пленки	7,4
<b>Бумага и картон</b>	21,5
<b>Другие пластики</b>	2,5
Цветные металлы	3,8
<b>Текстиль, кожа, резина</b>	4,3
Черные металлы	0,8
Стекло	8,9
<b>Дерево</b>	2,5
ПВХ	0,1
ПЭТ	3,4
Инертные материалы	12,8
<b>Пластик высокого давления</b>	1,0
Прочие материалы	2,8
Итого	100,0

Исходя из морфологического состава твердых бытовых отходов можно определить процент извлечения АТ из ТБО, поступающих на сортировку. Он представляет собой сумму процентов материалов, входящих в состав АТ. В данном случае для Санкт-Петербурга процент извлечения составляет примерно 30 %.

Непосредственное сжигание АТ приводит к необходимости установки дорогостоящего газоочистного оборудования. Кроме того, калорийность АТ непостоянна, так как она зависит от состава отсортированных ТБО.

В качестве решения возможно использование наиболее перспективного метода термической утилизации – газификации ТБО с получением в процессе газификации синтез-газа и его дальнейшим использованием в качестве топлива в паросиловом цикле. Использование данной технологии исключает прямое сжигание отходов, а калорийность синтез-газа при этом постоянна. При этом очистку синтез-газа производить значительно проще, чем при прямом сжигании ТБО [8–11].

Сжигание синтез-газа освоено также и отечественными производителями котельного оборудования для металлургических, химических и иных производств (Таганрогский котельный завод, Барнаульский котельный завод, Подольский котельный завод).

Согласно территориальной схеме обращения с отходами Санкт-Петербурга в системе обращения с ТБО ключевую роль играет транспортная логистика. Мощности по обработке, утилизации и размещению ТБО расположены на севере и юге Санкт-Петербурга. Таким образом, ТБО обрабатываются, обезвреживаются и утилизируются и/или размещаются на том же берегу Невы, где они и образовались. Соответственно, Санкт-Петербург разделен на две зоны деятельности региональных операторов – северную и южную. Согласно данной схеме в 2015 г. в зоне действия регионального оператора № 1 (южный) образовалось 845 898,78 т ТБО, а в зоне действия оператора № 2 (северный) – 857 454,37 т<sup>4</sup>.

Таким образом, в Санкт-Петербурге центры по переработки ТБО возможно разместить в северной и южной части города по половине объема от всех образующихся ТБО каждый. Приняв для расчетов объем образовавшихся ТБО за 2015 год, при доле в 30 % годовой вы-

ход АТ составит 253769,6 т/год в южной и 257236,3 т/год в северной части города при минимальной теплотворной способности 12 МДж/кг.

Данная технология газификации применяется в городе Лахти (Финляндия). Местная ТЭЦ является самой большой в мире станцией с газификацией отходов. Ее производительность составляет 50 МВт в электроэнергии и 90 МВт в тепле. На станции сжигается 250 тыс. т/год отсортированных ТБО. Благодаря внедрению данной технологии закрыты несколько местных свалок, выбросы углекислого газа сократились на 30 %, согласно данным компании Valmet – производителя оборудования для получения синтез-газа из ТБО.

Принципиальная схема газификации ТБО на ТЭЦ в городе Лахти представлена на рис. 1.

Станция состоит из линии топливоподачи 1, отделения газификатора 2 и фильтров 3, отделения парового котла 4 и соответствующей газоочистки 5.

Топливо подается на площадку ТЭЦ по линии топливоподачи с узла подготовки топлива или с приемного устройства, куда подготовленное топливо доставляется автотранспортом.

Процесс получения синтез-газа из отсортированных ТБО происходит в газификаторе с циркулирующим кипящим слоем (ЦКС), куда поступает АТ. Газификатор включает в себя реактор, циклон, охладитель синтез-газа [12].

В псевдосжиженный слой, состоящий из топливной золы и известняка с песком подается воздух. Топливо частично окисляется воздухом, выделяя тепло, необходимое для газификации, без непосредственного горения. Процесс газификации происходит при температуре 800–850 °С.

Для разогрева реактора до 400 °С и поддержания процесса газификации, а также в случае ухудшения качества твердого топлива используется газовая горелка, которой оснащён газификатор.

<sup>4</sup> Постановление правительства Санкт-Петербурга от 16 декабря 2016 № 1147 о территориальной схеме обращения с отходами, в том числе с твердыми коммунальными.

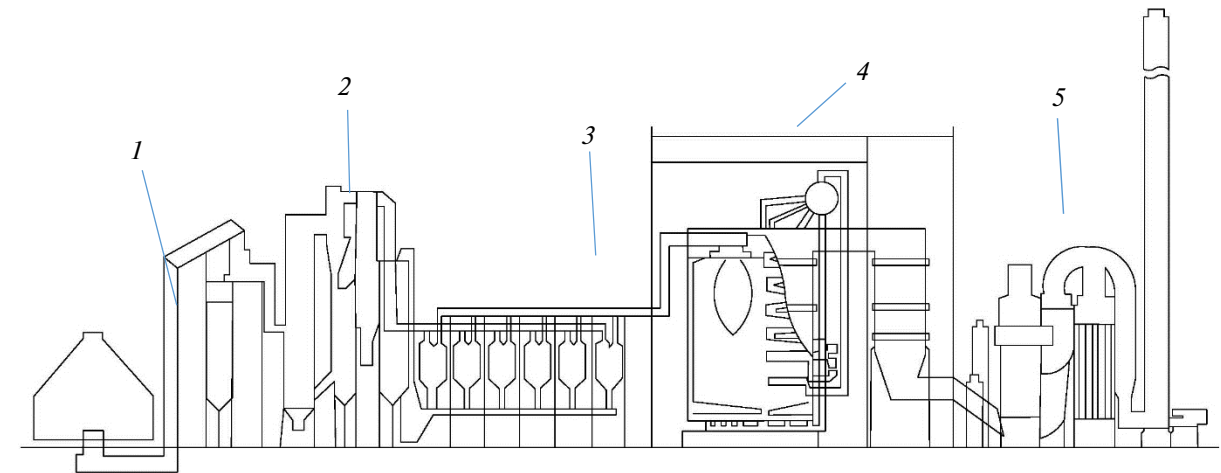


Рис. 1. Принципиальная схема газификации

1 – топливоподача; 2 – отделение газификатора; 3 – фильтры; 4 – паровой котел; 5 – газоочистка

Fig. 1. Basic scheme of gasification

Большая часть твёрдой фракции золошлаков низких классов опасности отделяется от газа в циклоне газификатора. Далее газ направляется из циклона в газоохладитель, а твердые частицы возвращаются на дно реактора.

Шлак в нижней части реактора удаляется зольными шнеками с водяным охлаждением и подаётся в съёмные емкости, которые могут транспортироваться к месту складирования золошлаков. При этом часть шлака из подовой части реактора просеивается и подается обратно в газификатор.

В газоохладителе синтез-газ охлаждается. Снижение температуры синтез-газа необходимо для технологических целей и для предотвращения крайне нежелательного образования диоксидов и оксидов  $\text{NO}_x$ . Во время этого процесса происходит отдача теплоты газа на подогрев питательной воды.

Из газоохладителя синтез-газ поступает в газовые фильтры, где происходит удаление твердых частиц (включая отвердевшие коррозионные компоненты и летучую золу газификатора).

Очищенный синтез-газ поступает в паровой энергетический котел, где сжигается в ка-

честве энергетического топлива. Отходящие газы от котла проходят многоступенчатую очистку и удаляются в дымовую трубу [13, 14].

Возможная тепловая схема приведена на рис. 2.

Данная схема отличается от традиционной паросиловой принципиальной тепловой схемы с теплофикационной турбиной 2 тем, что часть ПВД турбины заменена на водо-водяной теплообменник. Деаэрированная питательная вода из деаэратора 6 питательными насосами через водо-водяной охладитель синтез-газа 7 подаётся в паровой энергетический котел 1.

Прокачка воды высокого давления через газоохладитель и водо-водяной теплообменник подогрева питательной воды осуществляется высокотемпературными насосами контура охлаждения газа.

Свежий пар на турбину поступает от парового энергетического котла, функционирующего на синтез-газе. Исходя из годового объема RDF топлива, получаемого из мусора южной части города, можно рассчитать часовой расход топлива, поступающего в газификатор, и паропроизводительность котла.

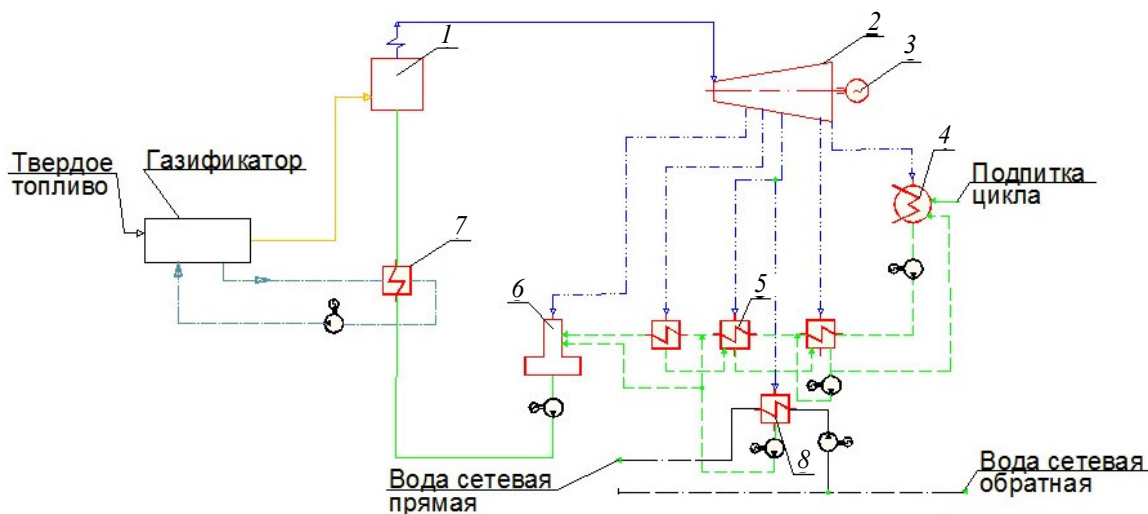


Рис. 2. Принципиальная тепловая схема ТЭЦ

1 – паровой котел; работающий на синтез-газе; 2 – теплофикационная турбина; 3 – электрогенератор; 4 – конденсатор; 5 – подогреватели низкого давления (ПНД); 6 – деаэрактор; 7 – водо-водяной охладитель синтез-газа; 8 – сетевой подогреватель

Fig. 2. Power-and-heating plant's basic scheme

### Расчетное исследование энергисточника, функционирующего на альтернативном топливе

Средняя продолжительность ремонта котлоагрегата согласно нормативам<sup>5</sup> составляет 22 дня. Тогда годовой фонд рабочего времени ТЭЦ с учетом остановов на ремонт составит 8232 ч/год. Таким образом, расход RDF топлива с теплотворной способностью  $Q_n^p = 12$  МДж/кг составит:  $G_{rdf} = 8,68$  кг/с.

КПД газификатора, согласно данным Valmet, составляет 87,5 % [12], а средний КПД современных паровых котлов, работающих на синтез-газе, согласно данным отечественных производителей, составляет 93 % [15]. Таким образом, тепловая мощность парового котла составит:

$$Q = \eta_c \cdot \eta_k \cdot Q_n^p \cdot G_{rdf} = 0,875 \cdot 0,93 \cdot 12 \cdot 8,68 = 84,76 \text{ МВт.}$$

Для выработки электрической и тепловой энергии в паровой турбине с целью унификации возможно применение стандартных со-

пряженных параметров пара на выходе с котла в Российской Федерации, а именно давление 100 кгс/см<sup>2</sup> (10 МПа), температура 525 °С и давление 140 кгс/см<sup>2</sup> (14 МПа), температура 540 °С. Применение пара 240 кгс/см<sup>2</sup> (24 МПа) нецелесообразно ввиду малой тепловой мощности котла и, как следствие, малых объемных расходов пара через паровую турбину.

Для оценки технических показателей теплофикационных установок с данными параметрами было выполнено моделирование и расчет тепловых схем в лицензированной программе Boiler Designer, разработанной фирмой OPTSIM-K. На рис. 3 и 4 представлены соответствующие расчетные модели, состоящие из газификатора, парового котла, турбины и вспомогательного оборудования.

Часть ПВД турбины представляет из себя водо-водяной теплообменник, греющей средой для которого является охлаждающая вода на выходе из газификатора. Температура питательной воды после ПВД на входе в котел принята 206,5 °С. Температуры прямой и обратной сетевой воды приняты соответственно 105 и 65 °С, при этом расход сетевой воды составил 1350 т/ч.

<sup>5</sup> СТО 70238424.27.100.017–2009 «Тепловые электростанции. Ремонт и техническое обслуживание оборудования, зданий и сооружений. Организация производственных процессов. Нормы и требования».



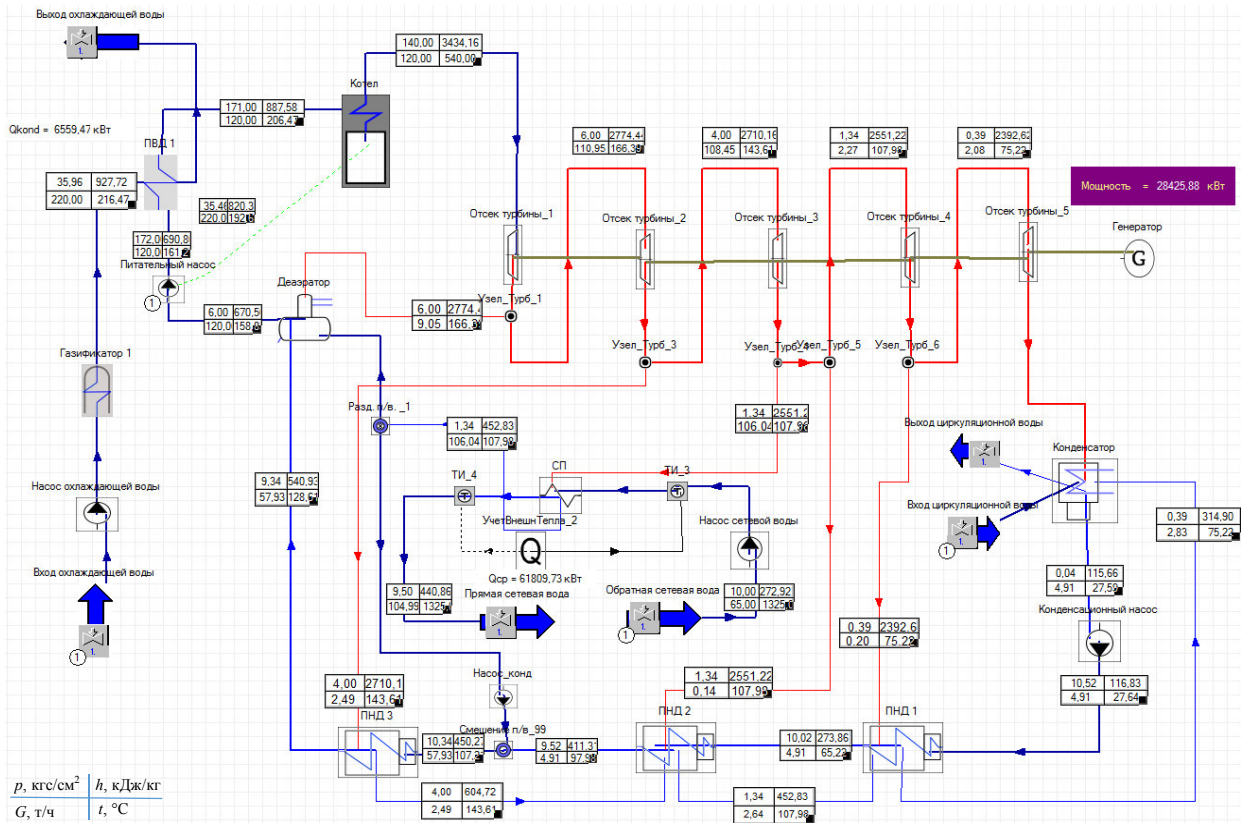


Рис. 3. Теплофикационная установка в программе Boiler Designer с давлением 140 кгс/см<sup>2</sup> (14 МПа) и температурой 540 °С пара на выходе с котла.

Fig. 3. Combined heat and power plant created in Boiler Designer at the pressure of 14 MPa and the temperature of 540 °C

На основании тепловой мощности котла для двух вариантов была рассчитана его паропроизводительность:

$$G_{p=140 \text{ кгс/см}^2} = \frac{Q}{(h_{п} - h_{пв})} = \frac{84,76 \cdot 10^3}{(3434,16 - 887,58)} = 33,28 \text{ кг/с};$$

$$G_{p=100 \text{ кгс/см}^2} = \frac{Q}{(h_n - h_{ne})} = \frac{84,76 \cdot 10^3}{(3439,04 - 885,93)} = 33,2 \text{ кг/с}.$$

Таким образом, для двух режимов паропроизводительность приблизительно составила 120 т/ч. Электрическая мощность, генерируемая в паротурбинной установке с начальным давлением 140 кг/см<sup>2</sup> (14 МПа) составила 28,43 МВт (см. рис. 3), в установке с начальным давлением 100 кг/см<sup>2</sup> (10 МПа) – 27,29 МВт (см. рис. 4). Тепловая мощность сетевой установки одинакова.

Основные технические показатели, полученные на основании расчетных моделей, сведены в табл. 2. Суммарные затраты электроэнергии на собственные нужды были приняты равными 25,5 % от общей годовой выработки электрической энергии. Расход тепла на собственные нужды в расчетах не учитывался. Удельный расход топлива на отпуск тепла принят постоянным и равным 155 кг/Гкал.

При работе станции в теплофикационном режиме оба варианта имеют схожие показатели энергетической эффективности и могут считаться равноценными ввиду незначительной разницы между ними. Таким образом, каждый из них является приемлемыми и окончательный выбор основного, и вспомогательного оборудования (котел, турбина, паропроводу, насосы и др.) должен производиться исходя из стоимости этого оборудования.

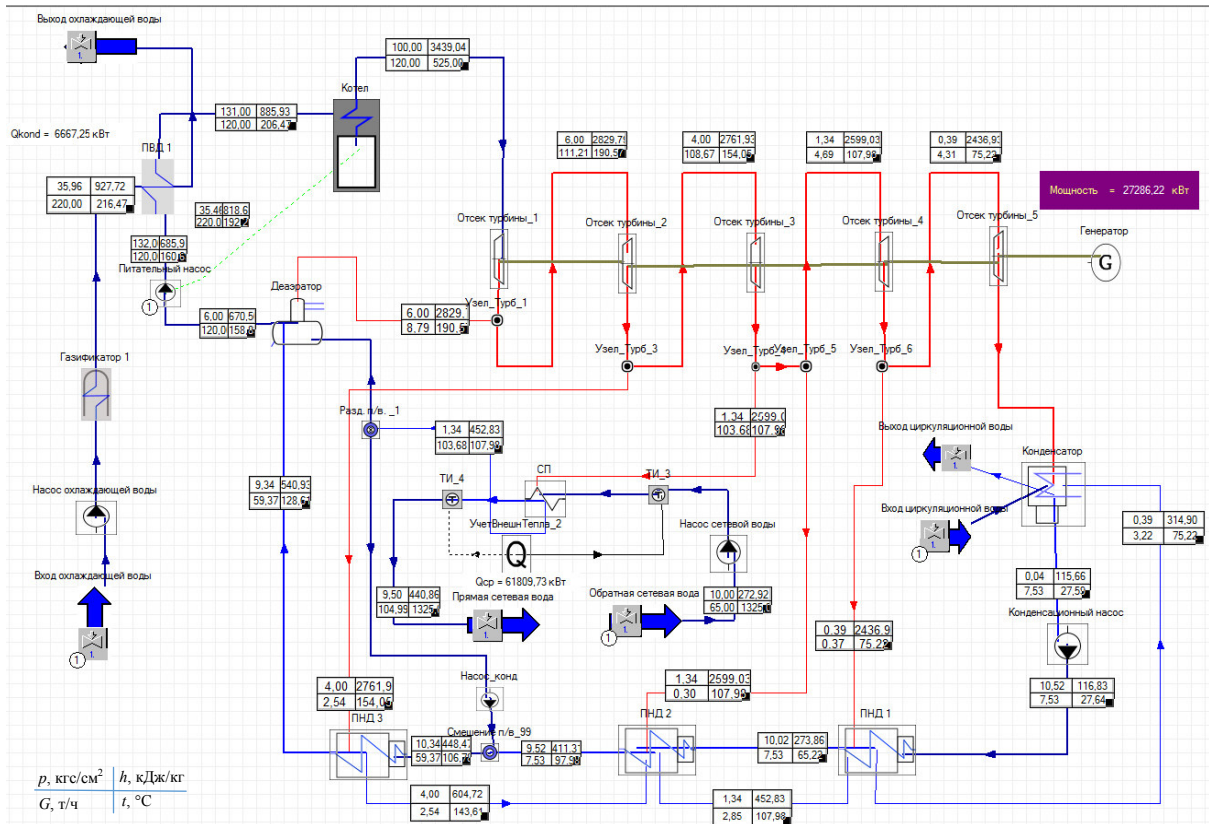


Рис. 4. Теплофикационная установка в программе Boiler Designer с давлением 100 кгс/см<sup>2</sup> (10 МПа) и температурой 525 °С пара на выходе с котла.

Fig. 4. Combined heat and power plant created in Boiler Designer at the pressure of 10 MPa and the temperature of 525 °C)

Таблица 2

Основные технические показатели расчетных моделей

Basic parameters of designed models

Показатель, ед. измерения	Обозначение	$p = 140 \text{ кгс/см}^2$	$p = 100 \text{ кгс/см}^2$
		$t = 540 \text{ }^\circ\text{C}$	$t = 525 \text{ }^\circ\text{C}$
Выработка электроэнергии, МВт·ч	$N_{э\_выр}$	238045,92	228664,80
Отпуск тепла потребителям, Гкал	$Q_{тэл}$	445087,53	445087,53
Суммарные затраты электроэнергии на собственные нужды, МВт·ч	$N_{э\_сн}$	49660,20	47703,15
Отпуск электроэнергии, МВт·ч	$N_{э\_отп}$	188385,72	180961,65
Суммарные затраты условного топлива, т.у.т.	$V_{топ}$	107091,71	107091,71
Расход условного топлива на отпуск электроэнергии, т.у.т.	$V_э$	38103,1	38103,1
Расход условного топлива на отпуск тепла, т.у.т.	$V_{тэ}$	68988,6	68988,6
Удельный расход топлива на отпуск э/энергии, г/кВт·ч	$b_{э\_н}$	202,3	210,6
Удельный расход топлива на отпуск тепла, кг/Гкал:	$b_{тэ\_н}$	155,0	155,0
КИТТ брутто	$\eta_{КИТТ}$	0,81	0,80



Разница в отпускаемой электрической энергии за год в двух вариантах при равных суммарных затратах условного топлива составляет  $\Delta N_{\text{отп}} = 7424$  МВт·ч. Установленная мощность в варианте с давлением пара 140 кгс/см<sup>2</sup> (14 МПа) больше на  $\Delta N_{\text{уст}} = 1,14$  МВт, чем в варианте с давлением пара 100 кгс/см<sup>2</sup> (10 МПа).

При рыночной стоимости одного кВт·ч составляющей 1,234 руб. и цене КОМ за один МВт установленной мощности в 124 048 руб./мес. [16], более высокие параметры пара эффективно применять на горизонте в 15 лет при разнице в цене оборудования  $\leq 139,54$  млн руб. или примерно 75 долл./кВт установленной мощности (без учета нормы дисконтирования).

#### **Требования к площадке действующей ТЭЦ для размещения нового энергоисточника**

Площадка действующей ТЭЦ, на территории которой планируется расположение нового энергоисточника, должна быть расположена в районе с удовлетворительной транспортной и логистической доступностью. ТЭЦ должна располагаться на существенном отдалении от зон жилой застройки, от существующих, а также перспективных селитебных территорий.

Площадка ТЭЦ должна удовлетворять законодательным требованиям по соблюдению нормативной санитарно-защитной зоны (СЗЗ) для мусороперерабатывающих и мусоросжигающих предприятий с производительностью выше 40 тыс. т ТБО в год – 1000 м<sup>6</sup>.

ТЭЦ должна располагать свободными площадками требуемых размеров для размещения как нового источника генерации, так и зоны сортировки ТБО требуемой площади, ориентировочно составляющей 4 га.

Помимо перечисленных обстоятельств, площадка ТЭЦ должна быть обеспечена необходимыми водными ресурсами, иметь заезд авто- ж/д транспорта, быть приближена к линиям электропередач, иметь развитую инфраструктуру (в том числе социальную, транспортную, коммунальную).

<sup>6</sup> СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200–03 «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов».

В районе ТЭЦ должны иметься значительные присоединённые тепловые нагрузки. Это позволило бы новому энергоисточнику вписаться в тепловой баланс существующей станции, максимально задействовав при этом свои тепловые мощности. Во внимание должны быть приняты существующие и перспективные договорные присоединённые тепловые нагрузки ТЭЦ, в том числе среднечасовая ГВС. При интеграции новой ТЭЦ в схему ТФУ действующей станции, новая ТЭЦ должна получить приоритет в отпуске тепловой энергии внешним потребителям как в отопительный, так и в межотопительный сезон, учитывая фактор повышения температуры исходной воды до +15 °С и фактор снижения водопотребления в летний сезон. Минимальная нагрузка ГВС потребителей ТЭЦ должна позволить полностью обеспечить новую ТЭЦ круглогодичной тепловой нагрузкой в размере 100 % от её расчётной тепловой мощности.

Должна быть предусмотрена возможность отпуски тепловой энергии новой ТЭЦ через существующую схему выдачи тепловой мощности ТЭЦ, на территории которой планируется расположить новый энергоисточник, а также присоединения к подающему и обратному общестанционному коллектору сетевой воды действующей станции.

Включение нового энергоблока в работу не должно создавать трудностей для функционирования действующей ТЭЦ в части выдачи электрической энергии в энергосистему. Мощность, вырабатываемая в результате работы паросилового цикла, может выдаваться в сеть, а также расходоваться на собственные нужды. Кроме того, станция должна иметь удовлетворительный коэффициент использования установленной мощности (средний уровень по энергосистеме).

Данным критериям по г. Санкт-Петербургу удовлетворяют Северная, Южная и Северо-Западная ТЭЦ. Однако, согласно данным<sup>7</sup> на

<sup>7</sup> Утвержденная Приказом Минэнерго России № 622 от 31.07.2018 г. Схема теплоснабжения Санкт-Петербурга на период до 2033 года.

2019 год среднечасовая нагрузка ГВС Северо-Западной ТЭЦ составляет лишь 0,5 Гкал/ч, что не позволит обеспечить новую ТЭЦ круглогодичной тепловой нагрузкой.

### Выводы

В работе можно сделать следующие основные выводы:

1. Существует принципиальная возможность использования ТБО в качестве топлива с целью получения тепловой и электрической энергии путем их утилизации на действующей ТЭЦ Санкт-Петербурга;

2. С учетом изложенных требований к действующей площадке ТЭЦ и планируемым размещением центров по переработки ТБО в

Санкт-Петербурге в северной и южной части города по половине объема от всех образующихся ТБО каждый предлагается к использованию Северная ТЭЦ-21 и Южная ТЭЦ-22 соответственно;

3. В современных экономических условиях г. Санкт-Петербурга, для выработки электрической и тепловой энергии на предложенной установке более эффективно применение цикла со стандартным начальным давлением пара 140 кгс/см<sup>2</sup> (14 МПа) и температурой 540 °С (по сравнению со стандартным давлением 100 кгс/см<sup>2</sup> (10 МПа) и температурой 525 °С) при условии удорожания объекта не более чем на 75 долл./кВт установленной мощности.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Кустова М.П. Утилизация твердых бытовых отходов как экологическая проблема // *Gaudeamus igitur*. 2015. № 2. С. 54–57.
- [2] Бернадинер И.М., Александрова Е.Ю. Использование отходов как альтернативного топлива в цементной печи // *Твердые бытовые отходы*. 2017. № 11. С. 22–25.
- [3] Ложечко В.П., Крицын М.С. О методах получения альтернативного топлива из твердых бытовых отходов // *Современное машиностроение. Наука и образование*. 2013. № 3. С. 982–991.
- [4] Бушихин В.В., Кайгородов О.Н., Полозов Г.М., Федосеев О.Е. Альтернативные топлива из твердых отходов. Применение и легализация // *Экологический вестник России*. 2013. № 5. С. 42–45.
- [5] Ламзина И.В., Голдов А.В., Князев Я.И., Полозова И.А., Желтобрюхов В.Ф. Получение и использование альтернативного топлива из твердых бытовых отходов для цементной промышленности // *Инженерный вестник Дона*. 2014. № 2. С. 18.
- [6] Степанчикова И.Г., Деревянко А.В., Зайцев В.А. Вторичное топливо из отдельных компонентов бытовых отходов // *Энергия: экономика, техника, экология*. 2014. № 2. С. 40–45.
- [7] Бушихин В.В., Колтон Г.П., Ломтев А.Ю. RDF из ТКО // *Твердые бытовые отходы*. 2017. № 11. С. 22–25.
- [8] Шабуров Е.Л., Федохин А.В., Исполитов В.А. Расчет режимных параметров установки газификации ТБО // *Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки*. 2018. № 3. С. 38–44. DOI: 10.18721/JEST.240303
- [9] Загруднинов Р.Ш., Негуторов В.Н., Малыхин Д.Г., Сеначин П.К., Никишанин М.С., Филиппченко С.А. Подготовка и газификация твердых бытовых отходов в двухзонных газогенераторах прямого процесса, работающих в составе мини-ТЭЦ и комплексов по производству синтетических жидких топлив // *Ползуновский вестник*. 2013. № 4/3. С. 47–62.
- [10] Бернадинер И.М., Бернадинер М.Н. Высокотемпературная переработка отходов. Плазменные источники энергии // *Твердые бытовые отходы*. 2011. № 4. С. 16–19.
- [11] Владимиров Я.А., Зысин Л.В. Методические вопросы энергетического использования твердых коммунальных бытовых отходов и продуктов их газификации // *Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки*. 2018. Т. 24, № 1. С. 5–16. DOI: 10.18721/JEST.240101
- [12] Valmet: офиц. сайт. URL: <https://www.valmet.com/>
- [13] Lennart Ljungblom. Biomass to energy XL // *Bioenergy International*. 2013. No. 63.
- [14] Бернадинер И.М., Ковальчук А.А. Утилизация твердых бытовых отходов методом паровоз-



душной газификации // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. 2014. № 2. С. 81–97.

[15] ООО «Сибэнергомаш – БКЗ»: офиц. сайт. URL: <http://www.sibem-bkz.com/ru>

[16] Ассоциация «НП Совет рынка»: офиц. сайт. URL: <https://www.np-sr.ru/ru>

### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**КАЛЮТИК Александр Антонович** – кандидат технических наук директор высшей школы атомной и тепловой энергетики Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого

E-mail: [kalyutik@yandex.ru](mailto:kalyutik@yandex.ru)

**ТРЕЩЕВ Дмитрий Алексеевич** – старший преподаватель Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого

E-mail: [dtreshchev@szvpep.ru](mailto:dtreshchev@szvpep.ru)

**ПОЗДЕЕВА Дарья Львовна** – студент 2 курса магистратуры Санкт-Петербургского политехнического университета

E-mail: [daripozdeeva@ya.ru](mailto:daripozdeeva@ya.ru)

Статья поступила в редакцию: 16.09.2019

### REFERENCES

[1] **M.P. Kustova**, Utilizatsiya tverdykh bytovykh otkhodov kak ekologicheskaya problema [Ecological problem of utilization of hard domestic wastes], *Gaudeamus igitur*. 2015. №2. S. 54–57.

[2] **M. Bernadiner, Ye.Yu. Aleksandrova**, Ispolzovaniye otkhodov kak alternativnogo topliva v tsementnoy pechi [Use of waste as an alternate fuel of cement kiln], *Tverdye bytovyye otkhody*, 11 (2017) 22–25.

[3] **V.P. Lozhechko, M.S. Kritsyn**, O metodakh polucheniya alternativnogo topliva iz tverdykh bytovykh otkhodov [Methods of production of alternative fuel from solid waste], *Sovremennoye mashinostroyeniye. Nauka i obrazovaniye*, 3 (2013) 982–991.

[4] **V.V. Bushikhin, O.N. Kaygorodov, G.M. Polozov, O.Ye. Fedoseyev**, Alternativnyye topliva iz tverdykh otkhodov. Primeneniye i legalizatsiya [Alternative fuel from solid waste. The use and legalization], *Ekologicheskyy vestnik Rossii*, 5 (2013) 42–45.

[5] **I.V. Lamzina, A.V. Goldov, Ya.I. Knyazev, I.A. Polozova, V.F. Zheltobryukhov**. Polucheniye i ispolzovaniye alternativnogo topliva iz tverdykh bytovykh otkhodov dlya tsementnoy promyshlennosti [The receipt and use of alternative fuels from municipal solid waste for cement industry], *Inzhenernyy vestnik Dona*, 2 (2014) 18.

[6] **I.G. Stepanchikova, A.V. Derevyanko, V.A. Zaytsev**, Vtorichnoye toplivo iz otdelnykh komponentov bytovykh otkhodov [The secondary fuel from the

individual components of household waste], *Energiya: ekonomika, tekhnika, ekologiya*, 2 (2014) 40–45.

[7] **V.V. Bushikhin, G.P. Koltov, A.Yu. Lomtev**, RDF iz TKO [RFD from SMW], *Tverdye bytovyye otkhody*, 11 (2017) 22–25.

[8] **A.A. Sarkisov, S.V. Antipov, V.P. Bilashenko, M.N. Kobrinsky**, Strategic planning and its application in solving complex engineering and technical problems, *St. Petersburg polytechnic university journal of engineering science and technology*, 3 (2018) 38–44. DOI: 10.18721/JEST.240303

[9] **R.Sh. Zagrutdinov, V.N. Negutorov, D.G. Malykhin, P.K. Senachin, M.S. Nikishanin, S.A. Filipchenko**, Podgotovka i gazifikatsiya tverdykh bytovykh otkhodov v dvukhzonnykh gazogeneratorakh pryamogo protsessa, rabotayushchikh v sostave mini-TETs i kompleksov po proizvodstvu sinteticheskikh zhidkikh topliv [The preparation and gasification of solid waste in two-zone gas generators of the direct process, working with the CHP and complexes for the production of synthetic liquid fuels], *Polzunovskiy vestnik*, 4/3 (2013) 47–62.

[10] **M. Bernadiner, M.N. Bernadiner**, Vysokotemperaturnaya pererabotka otkhodov. Plazmennyye istochniki energii [High-temperature recycling. Plasma energy sources], *Tverdye bytovyye otkhody*, 4 (2011) 16–19.

[11] **Ya.A. Vladimirov, L.V. Zyssin**, Methodological aspects of energy utilization of municipal solid waste and

its gasification products, St. Petersburg polytechnic university journal of engineering science and technology, 24 (1) (2018) 5–16. DOI: 10.18721/JEST.240101

[12] Valmet: ofits. sayt. URL: <https://www.valmet.com/>

[13] Lennart Ljungblom. Biomass to energy XL, Bioenergy International, 63 (2013).

[14] **I.M. Bernadiner, A.A. Kovalchuk**, Utilizatsiya tverdykh bytovykh otkhodov metodom parovozdushnoy

gazifikatsii [Utilisation of solid municipal waste by air-vapor gasification method], Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta, Prikladnaya ekologiya. Urbanistika, 2 (2014) 81–97.

[15] Sibenergomash – BKZ: ofits. sayt. URL: <http://www.sibem-bkz.com/ru>

[16] NP Sovet rynka: ofits. URL: <https://www.np-sr.ru/ru>

#### THE AUTHORS

**KALYUTIK Alexandr A.** – *Peter the Great St. Petersburg polytechnic university*

E-mail: [kalyutik@yandex.ru](mailto:kalyutik@yandex.ru)

**TRESHCHEV Dmitriy A.** – *Peter the Great St. Petersburg polytechnic university*

E-mail: [dtreshchev@szvep.ru](mailto:dtreshchev@szvep.ru)

**POZDEEVA Daria L.** – *Peter the Great St. Petersburg polytechnic university*

E-mail: [daripozdeeva@ya.ru](mailto:daripozdeeva@ya.ru)

*Received 16.09.2019 г.*