

## Выбор мини-ТЭЦ на ТОТЭ для электроснабжения сельскохозяйственных предприятий

*Е.Н. Соснина, Е.В. Крюков, Л.Е. Веселов*

*Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева*

**Аннотация:** Статья посвящена применению мини-ТЭЦ на твердооксидных топливных элементах (ТОТЭ) для электроснабжения сельскохозяйственных предприятий (СХП), имеющих возможность выработки биогаза. Приведена технология производства электроэнергии из биогаза. Рассмотрена методика выбора мощности мини-ТЭЦ на ТОТЭ. На примере СХП молочного животноводства произведен расчет мощности мини-ТЭЦ на ТОТЭ.

**Ключевые слова:** электроснабжение, сельскохозяйственное предприятие, мини-ТЭЦ на ТОТЭ, биогазовая установка.

### Введение

Государственные программы перспективного развития энергетики России предусматривают внедрение и расширение использования нетрадиционных и возобновляемых источников энергии [1]. Актуальным направлением в этой сфере является использование биогаза как возобновляемого источника энергии, получаемого из различных видов биологических отходов растениеводства и животноводства [2].

Преобразование энергии биогаза в электрическую энергию позволяет существенно снизить экологическую нагрузку на окружающую среду и улучшить санитарно-эпидемиологическую обстановку благодаря отсутствию необходимости хранения и утилизации биологических отходов, снижению уровня загрязненности грунтовых вод [3]. Также использование биотоплива позволяет повысить экономическую и энергетическую эффективность производства сельскохозяйственного предприятия (СХП) [4,5].

Достоинства работающей на биогазе мини-ТЭЦ (мобильность; быстрая окупаемость; высокий КПД и др.) делают привлекательным ее применение для электроснабжения СХП [6]. Основу мини-ТЭЦ могут составлять как газотурбинные или газопоршневые энергоустановки (ЭУ), так и топливные элементы (ТЭ). Мини-ТЭЦ на ТЭ наиболее эффективны, что обусловлено

использованием прямого преобразования биогаза в электроэнергию, не требующего его сжигания. Установлено, что твердооксидные топливные элементы (ТОТЭ) отличаются от других типов ТЭ высоким КПД, экологичностью и возможностью использования отвода теплоты [7]. ТОТЭ относят к новым, перспективным источникам энергии. Однако, до сих пор они не имеют широкого применения в электроснабжении потребителей из-за низкой маневренности и ряда других особенностей [8]. Поэтому при разработке мини-ТЭЦ на ТОТЭ, работающих на биогазе, актуально решение, как схемотехнических задач, так и задач выбора электрооборудования.

В данной статье приведена методика выбора мощности мини-ТЭЦ на ТОТЭ для электроснабжения СХП, имеющих возможность выработки биогаза. Применение методики рассмотрено на примере сельскохозяйственного предприятия молочного животноводства.

### **Технология производства электроэнергии из биогаза**

На рис. 1 приведена структурная схема производства электроэнергии (ЭЭ) с использованием мини-ТЭЦ на ТОТЭ для электроснабжения СХП молочного животноводства. Биоотходы из коровников СХП (1) поступают в приемную емкость (2), где происходит подготовка первичного сырья к загрузке в устройства для анаэробного распада органической биомассы – метантенки. В биогазовой установке (3), состоящей из нескольких метантенков, происходит процесс брожения биомассы с выделением биогаза, поступающего в накопительную емкость – газгольдер (4). В углекислотной разделительной камере (5) происходит разделение биометана и углекислого газа, поступающих соответственно в газгольдеры (6) и (7). Двуокись углерода из накопителя поступает в камеру (9), где перерабатывается в зависимости от нужд СХП. Биометан из газгольдера (6) поступает к топливным элементам мини-ТЭЦ (8). Часть тепловой и электрической

энергии, генерируемой мини-ТЭЦ, идет на собственные нужды системы, другая часть расходуется электроприемниками СХП.

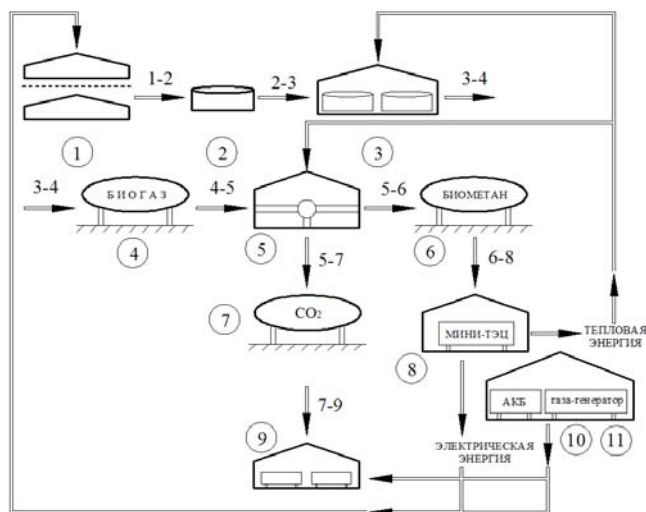


Рис. 1. – Структурная схема производства ЭЭ на СХП молочного животноводства

### Методика выбора мини-ТЭЦ на ТОТЭ

Алгоритм выбора мощности мини-ТЭЦ состоит из четырех этапов (рис. 2).

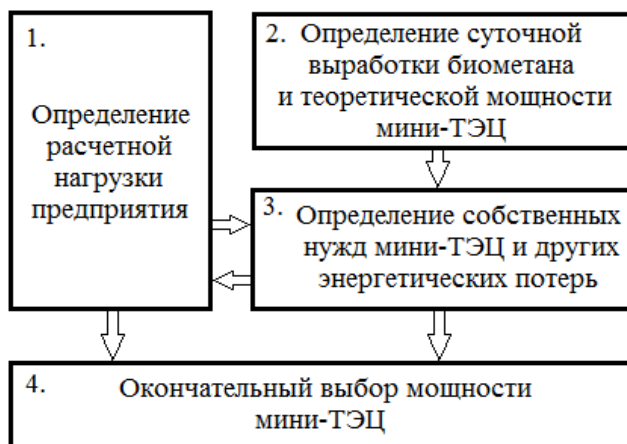


Рис. 2. – Алгоритм выбора мощности мини-ТЭЦ на ТОТЭ

На первом этапе определяется расчетная нагрузка СХП. Данная информация является базовой для выбора мощности мини-ТЭЦ. При проектировании системы электроснабжения (СЭС) расчетная нагрузка

определяется с помощью известных аналитических методов [9]. При реконструкции СЭС – с использованием суточных графиков нагрузки СХП.

На втором этапе определяется объем суточной выработки биометана ( $V_M$ ) и теоретически возможной мощности мини-ТЭЦ ( $P_{ТЭЦ.ТЕОР}$ ). Исходными данными для расчета являются численность крупнорогатого скота ( $N_{КРС}$ ) и масса суточных биоотходов от каждого животного ( $M_i$ ). Расчет проводится согласно выражению (1) в соответствии с [10]:

$$V_M = N_{КРС} \cdot M_i \cdot K_{П} \cdot K_{И.Б} \cdot N_B \left(1 - \frac{V}{100}\right) \cdot \left(\frac{R_C \cdot F \cdot G}{100}\right), \quad (1)$$

где  $K_{П}$  – коэффициент, учитывающий примеси в биомассе, о.е.;  $K_{И.Б}$  – коэффициент использования биомассы, о.е.;  $N_B$  – удельный выход биогаза на 1 кг сухого вещества, м<sup>3</sup>;  $V$  – влажность биомассы, %;  $R_C$  – содержание органических веществ в сухой биомассе, %;  $F$  – уровень сбраживания биомассы, %;  $G$  – содержание метана в биогазе, % [11].

На третьем этапе рассчитываются собственные нужды мини-ТЭЦ на ТОТЭ ( $P_{С.Н.}$ ).

На четвертом этапе производится окончательный выбор мощности мини-ТЭЦ с учетом электрических потерь в элементах СЭС ( $\Delta P$ ).

Установленная электрическая мощность мини-ТЭЦ определяется по выражению (2):

$$P_{ТЭЦ.Э} \geq P_{P.СУМ} = P_P + P_{С.Н.} + \Delta P, \quad (2)$$

где  $P_{P.СУМ}$  – суммарная расчетная мощность СХП, кВт;  $P_P$  – расчетная мощность СХП, кВт.

При этом должно выполняться условие (3):

$$P_{ТЭЦ.Э} \leq P_{ТЭЦ.ТЕОР} = \frac{V_M}{F_{У.С}}, \quad (3)$$

где  $P_{ТЭЦ.ТЕОР}$  – теоретически возможная электрическая мощность мини-ТЭЦ, зависящая от объема суточной выработки биометана на предприятии и удельного расхода топлива ЭУ на ТОТЭ на выработку 1 кВт энергии ( $F_{y.c}$ ).

Установленная тепловая мощность мини-ТЭЦ определяется на основе выбранной  $P_{тэц.э}$  по данным производителя ЭУ на ТОТЭ.

Разработанная методика применима для небольших СХП установленной мощностью до 1МВт с номинальным напряжением 380 В.

### Выбор мини-ТЭЦ на ТОТЭ для электроснабжения СХП молочного животноводства

В соответствии с рассмотренной методикой осуществлен выбор мини-ТЭЦ на ТОТЭ на примере реконструкции СЭС действующего СХП молочного животноводства суммарной установленной мощностью 106кВт и расчетной мощностью 94,6 кВт, с численностью КРС 550 голов.

При расчете рассматривался наихудший вариант, т.е. принимались коэффициенты, соответствующие минимальному выходу биометана, при мезофильном режиме сбраживания (при  $T_б$  от 25 до 45°C), с размещением матантенков в помещении биогазовой установки, имеющем постоянную температура. Результаты расчета приведены в таблице № 1.

Таблица № 1

Результаты выбора параметров мини-ТЭЦ на ТОТЭ

| Параметр   | Обозначение    | Величина | Ед. изм.            |
|--|----------------|----------|---------------------|
| Теоретический суточный выход биометана                 | $V_M$          | 906,9    | м <sup>3</sup>      |
| Электрическая мощность на собственные нужды мини-ТЭЦ   | $P_{с.н}$      | 43,5     | кВт                 |
| Средний удельный расход биометана ЭУ на ТОТЭ в сутки   | $F_{y.c}$      | 5,76     | м <sup>3</sup> /кВт |
| Теоретически возможная электрическая мощность мини-ТЭЦ | $P_{тэц.теор}$ | 157,4    | кВт                 |
| Установленная электрическая мощность мини-ТЭЦ на ТОТЭ  | $P_{тэц.э}$    | 140      | кВт                 |

## Выводы

Применение мини-ТЭЦ на ТОТЭ актуально для электроснабжения СХП малой мощности (до 1 МВт), имеющих возможность выработки биогаза и его дальнейшей переработки для получения тепло- и электроэнергии. При проектировании или реконструкции системы электроснабжения такого СХП требуется решение ряда задач, одной из которых является выбор мощности источника энергии.

Мини-ТЭЦ на ТОТЭ относится к перспективным нетрадиционным источникам энергии, и пока нет утвержденных методик по выбору таких ЭУ. Разработанная методика, учитывающая технологию производства электроэнергии из биогаза, позволяет решить данную проблему.

## Литература

1. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года. Москва. 2009. URL: [ipng.ru/uf/EnergyStrategy2030.pdf](http://ipng.ru/uf/EnergyStrategy2030.pdf).
2. Василев Р.Г. Перспективы развития производства биотоплива в России. Сообщение 3: биогаз // Вестник биотехнологии и физико-химической биологии им. Ю.А. Овчинникова. – 2007. – Т. 3. – № 3. – С. 54–61.
3. Handbook on Bio Gas and its applications. – NIR, 2004. – 454 p.
4. Соснина, Е.Н. Применение энергоустановок на основе твердооксидных топливных элементов для повышения эффективности функционирования электротехнических комплексов сельскохозяйственных предприятий / Е.Н. Соснина, Д.А. Филатов, Н.Н. Вихорев // Инженерный вестник Дона, 2015, №4 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3310](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3310).
5. House D. The biogas handbook. 3rd ed. – House Press, 2006. – 263 p.
6. Соснина, Е.Н. Исследование эксплуатационно-технологических параметров энергоустановок на возобновляемых источниках энергии / Е.Н. Соснина, Д.А. Филатов // Инженерный вестник Дона, 2015, №2 ч. 2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2p2y2015/3025](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2p2y2015/3025).

7. Коровин Н.В. Топливные элементы и электрохимические энергоустановки. – М.: Изд-во МЭИ, 2005. – С. 92.
8. Milewski J., Budzianowski W. Recent key technical barriers in solid oxide fuel cell technology / Archives of Thermodynamics, – 2014. Vol. 35. No. 1. pp. 17-41.
9. Вагин Г.Я., Соснина Е.Н. Системы электроснабжения: комплекс учебно-методических материалов / Г.Я. Вагин, Е.Н. Соснина. – 2-е изд., перераб. и доп.; НГТУ им. Р.Е. Алексеева. Нижний Новгород, 2012. – 143 с.
10. Компания «Биокомплекс». Информационный портал. URL: [biogaz-russia.ru/proekt-biogazovojj-ustanovki](http://biogaz-russia.ru/proekt-biogazovojj-ustanovki).
11. Веденев А.Г., Веденева Т.А. ОФ «Флюид». Биогазовые технологии в Кыргызской Республике. – Б. Типография «Евро», 2006. – 90 с.

### References

1. Jenergeticheskaja strategija Rossii na period do 2030 goda [The energy strategy of Russia for the period up to 2030]. Moskva. 2009. URL: [www.ipng.ru/uf/EnergyStrategy2030.pdf](http://www.ipng.ru/uf/EnergyStrategy2030.pdf).
2. Vasilov R.G. Perspektivy razvitija proizvodstva biotopliva v Rossii. Soobshhenie 3: biogaz [Prospects the development of biofuel production in Russia. Message 3: biogas]. Vestnik biotehnologii i fiziko-himicheskoj biologii im. Ju.A. Ovchinnikova. 2007. T. 3. № 3. pp. 54-61.
3. Handbook on Bio Gas and its applications. NIIR, 2004. 454 p.
4. Filatov D.A., Sosnina E.N., Vihorev N.N. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2015, №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3310](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3310).
5. House D. The biogas handbook. 3rd ed. House Press, 2006. 263 p.
6. Filatov D.A., Sosnina E.N. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2015, №2 p. 2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2p2y2015/3025](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2p2y2015/3025).
7. Korovin N.V. Toplivnye jelementy i jelektrohimičeskie jenergoustanovki [Fuel cells and electrochemical power plants]. M.: Izd-vo MJeI, 2005. 92 p.



8. Milewski J., Budzianowski W. Recent key technical barriers in solid oxide fuel cell technology. Archives of Thermodynamics. 2014. Vol. 35. No. 1. pp. 17-41.
9. Vagin G.Y., Sosnina E.N. Sistemy jelektrosnabzhenija: kompleks uchebno-metodicheskikh materialov [Electrical supply system: the complex of training materials]. 2 izd., pererab. i dop. NGTU im. R.E. Alekseeva. Nizhnij Novgorod, 2012. 143 p.
10. Kompanija «Biokompleks». Informacionnyj portal. URL: [biogaz-russia.ru/proekt-biogazovojj-ustanovki](http://biogaz-russia.ru/proekt-biogazovojj-ustanovki).
11. Vedenev A.G., Vedeneva T.A. OF «Fljuid». Biogazovye tehnologii v Kyrgyzskoj Respublike [PF "Fluid". Biogas technology in the Kyrgyz Republic]. B. Tipografija «Evro», 2006. 90 p.