

**БИОЭНЕРГЕТИКА. БИОМАССА ЭНЕРГИЯСИ/ БИОЭНЕРГЕТИКА.
ЭНЕРГИЯ БИОМАССЫ/ BIOENERGY. BIOMASS ENERGY****СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ**

Маматкулова Сайёра Гулямовна

Каршинский инженерно-экономический институт.

Тел: (90) 050 08 80, urisheva80@mail.ru

***Аннотация.** Переход на альтернативные источники энергии обусловлен иссякаемостью ископаемых видов топлива и проблемами, связанными с изменением климата и потребностями теплоснабжения. Внедрение систем теплоснабжения на основе биоэнергии особенно актуально для сельской местности, где ключевую роль играют биологические факторы производства биоэнергии из различных видов биомассы. Научно-технический прогресс в освоении биоэнергетического потенциала движется в сторону получения биотоплива второго и третьего поколений. В данной статье представляется современное состояние и перспективы использования биоэнергетических установок в системах теплоснабжения.*

***Ключевые слова:** теплоснабжение, биоэнергия, биоэнергетические установки, тепло, биогаз, ферментация.*

***Annotation.** The transition to alternative energy sources is marked by the finiteness of fossil fuels and problems related to climate change and heat supply needs. The introduction of bioenergy-based heat supply systems is especially relevant for rural areas, where biological factors of bioenergy production from various types of biomass play a key role. Scientific and technological progress in the development of bioenergy potential is moving towards the production of biofuels of the second and third generations. This article presents the current state and prospects for the use of bioenergy installations in heat supply systems.*

***Keywords:** heat supply, bioenergy, bioenergy plants, heat, biogas, fermentation.*

Глобальное изменение климата является одной из самых серьезных проблем нашего времени, и было предпринято несколько попыток контролировать и сокращать глобальные выбросы парниковых газов (ПГ) [1,2]. Для достижения этой цели необходимо обеспечить устойчивое и углеродно-нейтральное энерго- и теплоснабжение. В этом направлении некоторые государства продвигают различные меры и правила по повышению энергоэффективности, сокращению энергопотребления и дальнейшему развитию возобновляемых источников энергии. Эти усилия также направлены на сокращение зависимости от ископаемых видов топлива и выбросов ПГ. В целях обеспечения ускоренного развития возобновляемых источников энергии с привлечением прямых иностранных инвестиций в электроэнергетическую отрасль, а также сокращения использования природного газа при производстве электрической энергии приняты ряд постановлений Президента Республики Узбекистан.

Биогаз из энергетических культур или других биогенных субстратов является особенно универсальным источником возобновляемой энергии. Это связано с тем, что он способен обеспечить базовую мощность нагрузки, но также может быть использован для покрытия пиковых нагрузок, с использованием хранения биогаза [3]. Кроме того, биогаз может быть использован для когенерации электрической и тепловой энергии в комбинированных теплоэлектростанциях (ТЭЦ), потенциально снижая расход топлива на 20-30% по сравнению с традиционной выработкой тепловой и электрической энергии на



отдельных установках [4,5]. Короче говоря, выбросы ПГ могут быть сокращены за счет сокращения общего спроса на первичную энергию.

Тепло является самой важной вторичной энергией в мире. Хотя комбинированное производство тепла и электроэнергии является высокоэффективным, необходимо иметь достаточный уровень спроса на тепло вблизи объекта установки. В отличие от электроэнергии, которую можно подавать в сеть, тепло следует использовать в непосредственной близости от генерирующей установки, чтобы уменьшить потери тепла при транспортировке и поддерживать эффективное теплоснабжение. Одной из возможностей является использование тепла в децентрализованных тепловых сетях, особенно в сельской местности. Биоэнергетические деревни предлагают передовые решения вопроса о том, как сочетать концепцию комбинированного производства тепла и электроэнергии с использованием возобновляемых источников энергии. Однако планирование сети и мощности для такой децентрализованной системы отопления на основе биомассы представляет собой серьезную проблему для ответственных лиц, принимающих решения.

Ресурсоэффективная биоэнергетическая деревня была реализована в немецкой деревне Юн-Де в 2004 году [3]. Биоэнергетические деревни используют биомассу местных фермерских хозяйств в качестве возобновляемого источника энергии. Жидкий навоз от животноводства, энергетические культуры и другое сырье выступают в качестве топлива для биогазовой установки, где метан производится в процессе анаэробного брожения. Остаток от этого процесса, известный как дигестат, может быть использован в качестве удобрения в соответствии с национальными требованиями немецкой директивы по удобрениям. Заправка биогазовой установки жидким навозом и использование дигестата в качестве удобрения для пахотных земель также способствует снижению выбросов парниковых газов, поскольку это может уменьшить выбросы метана, связанные с необработанным навозом [6], выбросы парниковых газов от производства удобрений [7] и утечку азота через более высокую точность удобрения [8].

Биогаз, полученный в результате ферментации, примерно на 50% состоит из метана и служит топливом для когенерационного двигателя внутреннего сгорания, который производит как электричество, так и тепло [9]. Выработанная электроэнергия затем подается в сеть, а тепло от выработки электроэнергии может использоваться как для регулирования температуры процесса ферментации, так и для обогрева местных домохозяйств, которые подключены через тепловую сеть [10]. В качестве резервной системы также может быть установлена установка центрального отопления для покрытия пиковых нагрузок в зимний период. Эта концепция сочетает высокую энергоэффективность с использованием возобновляемых источников энергии и, таким образом, биоэнергетические деревни оказывают положительное влияние как на выбросы парниковых газов, так и на энергетический баланс, которые считаются двумя наиболее важными критериями при оценке концепций устойчивого развития биоэнергетики [10].

Исследователи [11] проанализировали различные децентрализованные биоэнергетические системы, которые способствуют смягчению последствий изменения климата, поддерживают местное развитие и могут создавать местные рабочие места. Они пришли к выводу, что маломасштабные биоэнергетические проекты позволяют обеспечить экологически, экономически и социально устойчивое энерго-, теплоснабжение, если они реализуются прибыльным способом. Поэтому при планировании биоэнергетической деревни важно учитывать как экономические, так и экологические аспекты.

Проектирование прибыльного биоэнергетического теплоснабжения с использованием биомассы в качестве основного источника энергии требует эффективного распределения тепла от комбинированной теплоэлектростанции (ТЭЦ) и долгосрочного планирования общей установки системы и мощности [12]. При рассмотрении общей системы производства энергии важнейшими вопросами являются количество установленных электростанций, их мощность и расположение этих объектов. Необходимо также учитывать конкретные параметры проблемы, такие как наличие или распределение биомассы. При планировании





распределительной системы возникают такие вопросы, как выбор потребителей тепла, подключенных к сети, и как спроектировать ход отопительной сети, учитывая при этом, наряду с другими факторами, потери тепла, рентабельность и требования закона о возобновляемых источниках энергии [12]. Одновременное рассмотрение и оптимизация этих аспектов необходимы для проектирования эффективного и децентрализованного теплоснабжения.

Хранение биогаза и установка избыточной мощности позволит обеспечить производство электроэнергии на основе спроса, что приведёт к увеличению прибыли. Исследователи [13] проанализировали рентабельность этой избыточной мощности и рассчитали оптимальные объемы хранения биогаза и мощности для данной установки в зависимости от цен. Для анализа экономических эффектов подключения комбинированной теплоэлектростанции к существующей биогазовой системе используется модель линейного программирования с минимизацией затрат. В этом контексте они исследовали связь комбинированного производства тепловой и электрической энергии, а также торговли сертификатами на электроэнергию и ценами, чтобы оценить экономические последствия будущих изменений в данной системе.

Авторы работы [14] применили MILP к реальной ситуации в центре города для оптимизации операционной стратегии системы отопления. Эта распределенная городская когенерационная система включала в себя как комплект микротурбин, так и централизованный двигатель внутреннего сгорания. Модель определяет оптимальную стратегию эксплуатации и настройки системы, минимизируя ежегодные затраты на владение, обслуживание и эксплуатацию системы. Кроме того, поставка субстратов для биоэнергетических систем также может быть смоделирована с использованием MILP.

В работе исследователей [15] оптимизированы поставки биомассы для различных типов перерабатывающих предприятий с максимизацией целевой функции общей прибыли. Их MILP учитывали как количество, расположение и мощность заводов, так и логистику транспортировки биомассы, промежуточных и конечных продуктов между различными местоположениями. Управление логистикой и эффективная настройка цепи поставок играют важную роль, когда рассматриваются условия для прибыльного и устойчивого производства биоэнергии.

Исследователями [16] представлен обзор различных проблем и задач в области разработки и эксплуатации цепочек поставок биомассы, которые могут обеспечить стабильное и конкурентоспособное распределение биомассы для биоэнергетических установок.

Авторы исследования [17], представляют MILP, который предлагает возможность для углубленного анализа концепций биоэнергетических деревень. Он оптимизирует NPV для заданного набора внешних параметров и, следовательно, позволяет проводить экономическую оценку различных сценариев. Эти сценарии могут отражать различные параметры, включая готовность домашних хозяйств участвовать в проекте, наличие субстратов и спрос на тепло. Такая возможная адаптация весьма важна для применения данной модели, поскольку все деревни будут совершенно разными и поэтому требуют реализации своей специфической плановой ситуации. Гибкость модели также позволяет учитывать и другие аспекты. Различные географические условия, субстратные и строительные затраты или транспортные расстояния могут быть реализованы путем адаптации соответствующих NPV, в то время как другие социальные или политические вопросы могут быть рассмотрены путем включения дополнительных ограничений. Результаты оптимизации могут быть дополнительно использованы для расчета безубыточных цен на тепло или оценки зависимости от государственных субсидий или пособий. Эти решения также представляют собой экономические "контрольные показатели" и первые показатели осуществимости для поддержки переговоров и принятия решений на этапе планирования такого сложного проекта. Также можно оценить "эволюцию" сети, относительно дополнительных потребителей тепла, которые хотят присоединиться к



теплосети в будущем. Невозможно оптимизировать теплосеть в условиях такой неопределенности, т. е. не зная дополнительных, будущих потребителей тепла. Однако модель может оценить потенциальное расширение сети, используя существующую сеть в качестве входного параметра. Такая адаптивность сети может быть оценена уже на этапе планирования биоэнергетической деревни. Оптимальное решение (на основе всех известных параметров) может быть использовано в качестве входного параметра для сценарного анализа, включающего различных дополнительных (будущих) тепловых потребителей, и поэтому может исследовать устойчивость оптимального решения.

Исследователи [18] отмечают что сжигание отходов и централизованное теплоснабжение имеют синергетический эффект и утверждают, что эффективность конверсии как существующих, так и будущих установок для сжигания отходов была бы значительно выше, если бы тепловая мощность установок могла быть использована.

В работе исследователей [19] используется модель BioHEAT - технико-экономическая имитационная модель, которая объединяет биоэнергетику и тепло, включая взаимозависимости между секторами конечного потребления тепла, электроэнергии и транспорта. Используя BioHeat, этот документ исследует интерактивное и совокупное воздействие отдельных инструментов политики, направленных на увеличение производства возобновляемой энергии через цепочки поставок биоэнергии. В сценариях изучается влияние преобразования существующих энергоблоков с ископаемого топлива на топливо из биомассы, обязательное использование передового биотоплива на транспорте и продление поддержки возобновляемого тепла до 2030 года.

В исследовательской работе [20] сектор теплоснабжения разделен на несколько подсекторов с различными свойствами с точки зрения профилей спроса и инфраструктуры. Для каждого подсектора определены репрезентативные концепции биоэнергетики, ископаемых и других возобновляемых (гибридных) технологий теплотехники, а технологическая конкуренция была оптимизирована в системе в рамках немецкого плана защиты климата в двух сценариях. Создан согласованный сценарий, и определены подробные данные о сырье для биомассы, что привело к набору пяти типов биомассы, которые могут быть переработаны в 20 продуктов биомассы. Дополнительно к трем ископаемым продуктам их можно применять для 47 различных технологических концепций. В рамках модели эти технологические концепции конкурировали в 19 различных подсекторах для определения оптимального распределения биомассы в секторе теплоснабжения. Для подхода математической оптимизации выбран для моделирования сектора теплоснабжения. Подход модели основан на BENOPT (модель BioENergyOPTimisation), которая была применена в секторе транспорта и энергетики. Пространственная граница - это Германия в целом. Целевой функцией является минимизация общих системных затрат по всем технологиям i , всем подсекторам s и полному временному интервалу $t = 2015 \dots 2050$. Общие системные затраты представляют собой сумму предельных издержек, характерных для технологии mc , умноженных на количество произведенного тепла π , и инвестиционных затрат ic , дисконтированных с помощью метода аннуитета (ставка дисконтирования q), умноженное на количество установленных систем отопления n_{cap} . В модели каждая (гибридная) концепция теплотехники разделена на разные модули j , которым назначены разные времена жизни \hat{t} и индивидуальные инвестиционные затраты. Были найдены наиболее экономически эффективные варианты на следующие десятилетия до 2040 года в секторе частных домохозяйств в форме гибридной установки для сжигания гранул на ТЭЦ (торрефицированные) в сочетании с тепловым насосом и фотоэлектрической системой [21].

В данное время повышенное внимание уделяется исследованиям в области теплоснабжения на основе биоэнергетики, так как в настоящее время тепло признается жизненно важным элементом энергетической системы и ее перехода. Биоэнергетические системы сопряжены с высокими удельными капитальными затратами и требуют привлечения внешних источников финансирования, для которых подобные проекты связаны





с высоким уровнем риска, влияющим на инвестиционную привлекательность. Целевая программа должна предусматривать и включать экономические инструменты снижения рисков при реализации биоэнергетических проектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. UNFCCC. Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change. (1997).
2. P.A. Ostergaard. Comparing electricity, heat and biogas storages' impacts on renewable energy integration. *Energy*, 37 (2012), pp. 255-262.
3. A.N. Andersen, H. Lund. New CHP partnerships offering balancing of fluctuating renewable electricity productions. *J. Clean. Prod.*, 15 (2007), pp. 288-293.
4. S.G.Mamatkulova, G.N. Uzakov, Assessment of the Gross Potential of Local Waste Based on Geoinformation Systems for Bioenergy Production. *The Journal of CIEES* 1 (1), 2021.
5. S.G.Mamatkulova, G.N. Uzakov, Modeling and calculation of the thermal balance of a pyrolysis plant for the production of alternative fuels from biomass. *2022 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 1070 012040.
6. A. Meyer-Aurich, A. Schattauer, H.J. Hellebrand, H. Klaus, M.Plöchl, W. Berg. Impact of uncertainties on greenhouse gas mitigation potential of biogas production from agricultural resources. *Renew. Energy*, 37 (2012), pp. 277-284.
7. P. Upham, B. Smith. Using the rapid impact assessment matrix to synthesize biofuel and bioenergy impact assessment results: the example of medium scale bioenergy heat options. *J. Clean. Prod.*, 65 (2013), pp. 261-269.
8. C.T. Lukehurst, P. Frost, T. Al Seadi. Utilisation of Digestate from Biogas Plants as Biofertiliser. *IEA Bioenergy* (2010).
9. FNR. Leitfaden Biogas: Von der Gewinnung zur Nutzung (engl.: Compendium Biogas). (fifth ed.), Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR), Gülzow-Prüzen (2010).
10. T. Buchholz, V.A. Luzadis, T.A. Volk. Sustainability criteria for bioenergy systems: results from an expert survey. *J. Clean. Prod.*, 17 (2009), pp. 86-98.
11. R.B. Mangoyana, T.F. Smith. Decentralised bioenergy systems: a review of opportunities and threats. *Energy Policy*, 39 (2011), pp. 1286-1295.
12. H. Uhlemair, I. Karschin, J. Geldermann. Optimizing the production and distribution system of bioenergy villages. *Int. J. Prod. Econ.*, 147 (2014), pp. 62-72.
13. S. Amiri, D. Henning, B.G. Karlsson. Simulation and introduction of a CHP plant in a Swedish biogas system. *Renew. Energy*, 49 (2013), pp. 242-249.
14. M. Casisi, P. Pinamonti, M. Reini. Optimal lay-out and operation of combined heat & power (CHP) distributed generation systems. *Energy*, 34 (2009), pp. 2175-2183.
15. J. Kim, M.J. Realff, J.H. Lee, C. Whittaker, L. Furtner. Design of biomass processing network for biofuel production using an MILP model. *Biomass Bioenergy*, 35 (2011), pp. 853-871.
16. S. Gold, S. Seuring. Supply chain and logistics issues of bio-energy production. *J. Clean. Prod.*, 19 (2011), pp. 32-42.
17. I. Karschin, J. Geldermann. *Journal of Cleaner Production* № 104, 1 October 2015, Pages 305-314.
18. U. Persson, M. Münster. Current and future prospects for heat recovery from waste in European district heating systems: a literature and data review. *Energy*, 110 (2016), pp. 116-128.
19. E. Durusut, F. Tahir, S. Foster, D. Dineen, M. Clancy. BioHEAT: a policy decision support tool in Ireland's bioenergy and heat sectors. *Appl. Energy*, 213 (2018), pp. 306-321.
20. M. Jordan, V. Lenz, M. Millinger. Future competitive bioenergy technologies in the German heat sector: Findings from an economic optimization approach. *Energy*, Volume 189, 15 December 2019, Article 116194.
21. С.Г. Маматкулова. Применение искусственного интеллекта в биоэнергетических системах. 2022/11/18, *International Journal of Contemporary Scientific and Technical Research*, 204-207.