

Разработка методов энергосбережения элементов теплоснабжения

Рецензия эксперта на статью получена
24.07.2023 [The expert review of the article
was received on July 24, 2023]

Введение

В настоящее время экономия углеводородного топлива является насущной проблемой мирового уровня. Данная проблема теснейшим образом связана с разработкой эффективных методов работы систем освещения, теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха, а также с решением многочисленных экологических вопросов. Здесь следует ориентироваться в том числе на использование альтернативных, вторичных и возобновляемых источников энергии.

Актуальность вопроса

Так, в разделе документа [1] представлены «Требования к региональным и муниципальным программам в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности». Пунктом 20/6 этого же документа определены «целевые показатели, характеризующие уровень использования источников тепловой энергии, функционирующих в режиме комбинированной выработки тепловой и электрической энергии, и (или) возобновляемых источников энергии».

В «Энергетической стратегии» Российской Федерации [2] указано, что «Темп роста мирового потребления первичной энергии в ЭС-2035 ожидается на уровне 1,2 % в год», и далее там же говорится, что «Появление новых производителей, рост значимости нетрадиционных ресурсов углеводородов и ускоренное развитие возобновляемых источников энергии ведут к ужесточению конкуренции на ключевых мировых энергетических рынках. При

В «Энергетической стратегии» Российской Федерации указано, что «Появление новых производителей, рост значимости нетрадиционных ресурсов углеводородов и ускоренное развитие возобновляемых источников энергии ведут к ужесточению конкуренции на ключевых мировых энергетических рынках»

анализе перспектив внешнего спроса на российские энергоресурсы в ЭС-2035 учитываются также результаты анализа энергетических стратегий крупнейших потребителей и производителей энергоресурсов в направлении обеспечения энергетической самодостаточности». Здесь также отмечается, что актуальным и целесообразным является использование возобновляемых и вторичных энергоресурсов, что будет способствовать повышению энергетической безопасности объектов экономики нашей страны.

Кроме этого, в проекте государственной программы Российской Федерации «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности» предусмотрены мероприятия по этому направлению.

Инновационный проект

Из сказанного выше представляется целесообразным иметь энергетическую установку (ЭУ), которая использовала бы альтернативный, вторичный и возобновляемый источник энергии. Такая ЭУ условно называлась бы «всёядной».

УДК 621.161.4. Научная специальность: 2.1.3 (05.23.05).

Разработка методов энергосбережения элементов систем теплоснабжения

А. В. Разуваев, д.т.н., доцент, профессор кафедры «Атомная энергетика», Балаковский инженерно-технологический институт Национального исследовательского ядерного университета «Московский инженерно-физический институт» (БТИ НИЯУ МИФИ, г. Балаково Саратовской области), Почётный энергетик РФ; **И. Я. Редько**, д.т.н., профессор, заместитель директора Энергетического института имени Г. М. Кржижановского (АО «ЭНИИ», г. Москва), Почётный энергетик РФ; **В. А. Разуваев**, эксперт Управления календарно-сетевого планирования АО «Атомстройэкспорт» (г. Нижний Новгород)

Статья посвящена анализу повышения эффективности теплоснабжения объектов различного назначения, включая использование альтернативных, вторичных и возобновляемых источников энергии. За основу принято использование и работа многофункционального энерготехнологического комплекса на базе паровой поршневой машины. Энергетический комплекс предполагает использовать возобновляемое топливо в виде дров, а также возможно использование технологии газогенераторов с получением газогенераторного газа. Энергетический комплекс на базе паровой поршневой машины предназначен для привода различного оборудования. Обосновывается экономическая и экологическая целесообразность реализации данного проекта для электро- и теплоснабжения различных объектов. Сформулированы и представлены основные выводы и предложения по повышению энергоэффективности объекта.

Ключевые слова: универсальный многофункциональный энерготехнологический комплекс, паровая поршневая машина, паровая винтовая машина, ДВС, возобновляемое топливо, когенерационная установка.

UDC 621.161.4. The number of scientific specialty: 2.1.3 (05.23.05).

Development of energy saving methods elements of heat supply systems

A. V. Razuvaev, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Atomic Energy, Balakovo Institute of Engineering and Technology of the National Research Nuclear University (Moscow Engineering Physics Institute) (Balakovo city, Saratov region), Honorary Power Engineer of the Russia Federation; **I. Ya. Redko**, Doctor of Technical Sciences, Professor, deputy director of the Krzhizhanovsky Power Engineering Institute (Moscow), Honorary Power Engineer of the Russia Federation; **V. A. Razuvaev**, expert of the Department of Calendar and Network Planning of "Atomstroyexport", JSC (Nizhny Novgorod)

The article is devoted to the analysis of improving the efficiency of heat supply for various purposes, including the use of alternative, secondary and renewable energy sources. It is based on the use and operation of a multifunctional energy technological complex based on a steam piston machine. The energy complex assumes the use of renewable fuel in the form of firewood, and it is also possible to use gas generator technology to produce gas generator gas. An energy complex based on a steam piston machine is designed to drive various equipment. The economic and environmental feasibility of implementing this project for electricity and heat supply of various facilities is substantiated. The main conclusions and proposals for improving the energy efficiency of the facility are formulated and presented.

Key words: universal multifunctional energy-technological complex, steam piston machine, steam screw machine, internal combustion engine, renewable fuel, cogeneration plant.

К альтернативным источникам энергии могут относиться биогазы на основе различных сгораемых веществ и материалов, к вторичным — утилизируемая теплота, отводимая от мощных энергоустановок типа котельных, газотурбинных установок и т.п. К возобновляемым источникам энергии можно отнести и дрова различных сортов. Таким образом, необходимо создать энергетический комплекс (ЭК), работающий не на углеводородном топливе, с учётом его ограниченности, а на топливе, способном восстанавливаться. Необходимой для этого энергоустановкой может быть паровая поршневая машина (ППМ), работающая на водяном паре, получаемом на дополнительном оборудовании при использовании дров и или их отходов. Данная ситуация требует анализа конструктивного исполнения и особенностей применения ППМ в составе многофункционального энерготехнологического комплекса (МФЭК).

Паровые поршневые машины нашли широкое применение на заре развития мировой промышленности как приводы ткацких станков, подъёмников в горнодобывающей промышленности и других устройств. Однако появление двигателей внутреннего сгорания и изобретение паровых турбин способствовало забвению ППМ. Связано это было с низкими эксплуатационными показателями данной энергетической установки.

В целом основной недостаток паровой поршневой машины — низкий КПД. Но современные методы проектирования и технологии могут увеличить этот показатель до величины порядка 25–30%. В настоящее время пока отсутствует серийное производство ППМ. Однако в работах [3, 4] имеется информация по конструктивному исполнению МФЭК на базе паровой поршневой машины и данные по созданию даже подвижных конструкций, например, это локомобиль П-25 на базе паровой поршневой машины.

Аналоги объекта

Имеются аналогичные энергетические установки в виде паровых винтовых машин, в которых также используется пар. В работе [5] приведены примеры использования паровинтовых машин (ПВМ) на объектах и описан опыт их эксплуатации. Применение паровой винтовой машины способствует энергосбережению, тем самым обосновывается актуальность применения ПВМ. Описание устройства паровой винтовой машины, сравнение её характеристик с паровыми турбинными установками (ПТУ) и параметры ПВМ приводятся в статье [6].



Тем не менее, представляется необходимым отдать предпочтение паровым поршневым машинам. Связано это с тем, что изготовление винта для ПВМ затратней, чем поршня для ППМ. Соответственно, МФЭК на базе ПВМ будет дороже в изготовлении, обслуживании и ремонте, что однозначно заставляет сделать выбор в пользу ППМ.

Эффективность применения объекта

Для определения стоимости изготовления паровой поршневой машины с генератором и сравнения её со стоимостью дизель-генератора (ДГ) аналогичной электрической мощности на базе двигателя внутреннего сгорания была проведена экспертная оценка. Двое экспертов машиностроительного предприятия (технолог и конструктор), хорошо знающих конструкцию и технологию изготовления обоих изделий, составили список основных узлов и деталей одного и другого энергоисточника. Список состоял из более чем 30 позиций. Каждая позиция оценивалась по 100-балльной шкале. Затем подсчитывался результат по обоим изделиям. Расчёт показал, что оценочная стоимость генератора с приводом от ППМ дешевле и составляет 42% от стоимости дизель-генератора на базе ДВС. Учитывая допустимую погрешность, примем оценочную стоимость энергоустановки (ЭУ) с ППМ и генератором примерно 50% от стоимости ДГ с ДВС, то есть в два раза меньше. Таким образом, сама ЭУ для привода генератора оказывается в два раза дешевле. Кроме этого, ЭУ с ППМ и генератором можно использовать в качестве когенерационной установки на конкретном объекте, причём полностью учитывая локальные условия эксплуатации, тем самым способствуя обеспечению объекта не только электроэнергией, но и более дешёвым необходимым теплом.

Достоинства объекта

Следует обратить внимание и на саму конструкцию ЭУ с ППМ и ДВС. По конструктивному исполнению ППМ оказывается значительно проще. Это означает упрощение обслуживания и дешевизну эксплуатации такой установки. Кроме того, для поддержания ППМ в рабочем состоянии не требуется высококвалифицированный обслуживающий персонал, а в районах эксплуатации МФЭК с ППМ не нужны специализированные мастерские для ремонта. Иными словами, упрощённая конструкция МФЭК с ППМ и генератором обеспечивает значительное снижение эксплуатационных затрат.

Весьма важен и экологический аспект применения паровой поршневой машины. Двигатель внутреннего сгорания при работе вырабатывает различные канцерогенные вещества, а использование ППМ характеризуется только выбросом продуктов сгорания топлива, что положительно влияет на экологию территории, в которой используется МФЭК на базе паровой поршневой машины.

Анализ эффективности паровой поршневой энергетической установки в качестве различного привода (генератора, насоса, лесопилки и др.) представлен в работе [7]. Со схемой применения ППМ в составе тепловой электростанции (ТЭС) можно ознакомиться в статье [8], где даны сравнительные параметры ППМ на базе нескольких ДВС.

Следует отметить, что опыт по созданию ППМ на базе серийного ДВС 6ЧН 21/21, а точнее конвертация серийного двигателя в паровую машину не увенчалась успехом. По мнению авторов, это было связано с отсутствием профессионального подхода при разработке. Дополнительная информация по этому вопросу имеется в работе [9]. В статье [8] также есть упоминание о ППМ на базе серийного ДВС 6ЧН21/21.

Аналоги объекта

Коллективом авторов из ряда организаций проведено сравнение и оценка характеристик паровых поршневых электростанций с паротурбинными и газопоршневыми ЭУ — с представлением параметров в источнике [10]. Специалист в области изучения и применения ППМ И. С. Трохин в своей работе [11] обосновывает, что современные паровые машины и энергосбережение в малой энергетике — это одно из комбинированных мероприятий по повышению энергоэффективности теплоснабжения объектов различного назначения. Высокая оценка эффективности применения ППМ на различных объектах дана в источнике [7].

Работы по созданию и производству энергетических установок на базе ППМ ведутся, например, немецкой компанией Spilling Technologies GmbH, основанной в 1890 году в городе Гамбурге, которая в настоящее время является мировым лидером по производству модульных агрегатов единичной мощностью от 100 до 5000 кВт для эффективного использования в децентрализованных системах энергоснабжения [12, 13].

Как уже отмечалось, энергоустановки на базе ППМ можно использовать в качестве привода различных механизмов. Один из примеров такого привода рассматривается в [14], где не только рассмотрены различные технологические варианты, но и дан анализ их экономической целесообразности. В качестве предварительного вывода в работе [14] утверждается, например, что «Применение двигателей с внешним подводом тепла для привода рубительных машин и электрогенераторов в условиях верхних складов и лесных терминалов является перспективным». И далее в работе [15]: «Внедрение глубокой переработки древесины в условиях верх-



них складов и лесных терминалов с применением двигателей с внешним подводом тепла в качестве источников механической и электрической энергии является целесообразным».

Развёрнутое описание энергоустановки на базе паровой поршневой машины, схема и подробное обоснование актуальности её применения приведено в работе [15]. Кроме того, обоснование актуальности применения МФЭК на базе ППМ выполнено в статье [16].

В статье [17] представлена схема предлагаемой ППМ, приводятся параметры дров различных сортов, выполнен потреб-

В связи с актуальностью применения паровых поршневых машин в составе МФЭК необходимо подобрать материалы для проведения конструкторских и технологических работ по её созданию. Следует подобрать дополнительное оборудование для комплектования МФЭК на базе отечественных ППМ

бительский расчёт стоимости заготовки дров на заданный период эксплуатации ЭУ, а также дана оценка необходимых площадей для хранения данного вида топлива.

Выводы и предложения

На основании изложенного выше материала и его анализа можно сделать несколько основных выводов:

1. Обоснована актуальность применения энергоустановок на базе паровых поршневых машин.
2. В качестве источника энергии для энергоустановки возможно использовать возобновляемое и вторичное топливо, что позволяет экономить углеводородное.
3. Применение газогенераторов в качестве источника энергии позволяет применять твёрдые бытовые отходы, что отчасти решает экологические вопросы на месте эксплуатации энергоустановки на базе паровых поршневых машин.
4. В связи с актуальностью применения паровых поршневых машин в составе МФЭК необходимо подобрать материалы для проведения конструкторских и технологических работ по её созданию.
5. Следует подобрать дополнительное оборудование для комплектования многофункционального энерготехнологического комплекса на базе паровых поршневых машин, которые выпускаются отечественной промышленностью.
6. В работе [17] дан расчёт количества возобновляемого топлива (дров) и условий его хранения для устойчивой эксплуатации МФЭК на базе паровых поршневых машин.
7. Необходимо разработать проект технического задания для потенциального инвестора по реализации проекта — серийного производства паровых поршневых машин. ●

1. Об утверждении требований к региональным и муниципальным программам в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности и о признании утратившими силу некоторых актов Правительства Российской Федерации и отдельных положений некоторых актов Правительства Российской Федерации: Постановление Правительства РФ от 11.02.2021 №161-ПП.
2. Энергетическая стратегия России на период до 2035 года (в ред. от 07.02.2014) / Утв. распоряжением Правительства РФ от 09.06.2020 №1523-р.
3. Передерий С. Паровые установки для выработки электро- и тепловой энергии // ЛесПромИнформ, 2017. №6. С. 126–128.
4. Кропачев А. Паропоршневые технологии в малых когенерационных установках // Аква-Терм, 2017. №6. С. 20–22.
5. Григорьев В.Н., Богачёва А.И. Перевод котельной в режим мини-ТЭЦ на базе паровинтовой турбины // Новости теплоснабжения, 2016. №9. С. 54–59.
6. Березин С.Р., Богачёва А.И. Технология энергосбережения на базе паровой винтовой машины // Турбины и дизели, 2010. №4. С. 24–27.
7. Разуваев А.В. Анализ эффективности паропоршневой энергетической установки // Вестник КРСУ, 2016. №9. С. 56–59.
8. Жигалов В.А. Тепловая электростанция с поршневой паровой машиной // Новости теплоснабжения, 2017. №2. С. 33–37.
9. Разуваев А.В. Перспективы применения паровых поршневых машин в многофункциональных энерготехнологических комплексах / Современные энергетические системы и теплоэнергетических комплексах: Сб. мат. XIII Межд. науч.-практ. конф. (01–03.11.2016, г. Саратов), 2016.
10. Дубинин В. С., Глозов Н.В., Лаврухин К.М., Титов Д.П., Степанова Т.А., Алханов Д.В., Трохин И.С., Погорельский Е.И. Сравнение и оценка паропоршневых электростанций с паротурбинными и газопоршневыми / Малая энергетика — 2008: Труды Межд. науч.-практ. конф. (21.05.2008, г. Москва).
11. Трохин И.С. Современные паровые машины и энергосбережение в малой энергетике // Энергосбережение, 2013. №3. С. 72–76.
12. Компания Spilling Technologies GmbH [Электр. текст]. Режим доступа: spilling.de. Дата обращения: 10.11.2022.
13. Трохин И.С. Паровая поршневая мини-ТЭЦ за рубежом // Новости теплоснабжения, 2014. №6. С. 26–30.
14. Маганов И.А., Тихонов Е.А., Сюнев В.С., Куницкая О.А. Анализ энергетического баланса технологических цепочек предприятий лесной промышленности // Вестник АГАТУ, 2021. №4. С. 87–108.
15. Разуваев А.В., Редько И.Я. Актуальность создания многофункциональных энерготехнологических комплексов на базе паропоршневой машины // Журнал СОК, 2022. №2. С. 60–63.
16. Razuvayev A.V., Kobzev R.A., Redko I.Ya. Economic efficiency evaluation of applying the general-purpose heat and power plant based on the reciprocating steam engine. IOP Publishing Ltd. Journal of Physics: Conference Series. Vol. 1652. 15th International Scientific and Technical Conference (PESPC) 2020. October 6–9, 2020. Saratov, Russia.
17. Разуваев А.В., Редько И.Я., Краснолудский Н.В., Костин Д.А. Актуальность применения возобновляемых топлив в энергетических комплексах // Вестник РУДН. Серия: Инженерные исследования, 2022. №3. С. 191–197.

References — see page 78.

Development of energy saving methods elements of heat supply. Pp. 32–34.

Alexander V. Razuvaev, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Atomic Energy, Balakovo Institute of Engineering and Technology of the National Research Nuclear University (Moscow Engineering Physics Institute) [Balakovo city, Saratov region], Honorary Power Engineer of the Russia Federation; **Ivan Ya. Redko**, Doctor of Technical Sciences, Professor, deputy director of the Krzhizhanovsky Power Engineering Institute (Moscow), Honorary Power Engineer of the Russia Federation; **Valentin A. Razuvaev**, expert of the Department of Calendar and Network Planning of "Atomstroyexport", JSC (Nizhny Novgorod)

1. *Ob utverzhdenii trebovaniy k regional'nym i munitsipal'nym programmam v oblasti jenergosberezheniya i povysheniya jenergeticheskoy jeffektivnosti i o priznanii utrativshimi silu nekotorykh aktov Pravitel'stva Rossijskoj Federatsii i ot del'nykh polozhenij nekotorykh aktov Pravitel'stva Rossijskoj Federatsii* [On the approval of the requirements for regional and municipal programs in the field of energy saving and energy efficiency and on the invalidation of certain acts of the Government of the Russian Federation and certain provisions of certain acts of the Government of the Russian Federation]. *Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 11.02.2021 №161-PP* [Decree of the Government of the Russian Federation No. 161 of February 11, 2021]. [In Russian]
2. *Jenergeticheskaja strategija Rossii na period do 2035 goda (v red. ot 07.02.2014)* [Energy strategy of Russia for the period up to 2035 (as amended on February 7, 2014)]. *Utv. rasporyazheniem Pravitel'stva RF ot 09.06.2020 №1523-r* [Approved by the order of the Government of the Russian Federation No. 1523-r of July 9, 2020]. [In Russian]
3. S. Perederij. *Parovye ustanovki dlja vyrabotki jelektr- i teplovoj jenerгии* [Steam installations for the generation of electrical and thermal energy]. *LesPromInform* ["LesPromInform" Magazine]. 2017. No. 6. Pp. 126–128. [In Russian]
4. A. Kropachev. *Paroporshevyje tekhnologii v malykh kogeneratsionnykh ustanovkakh* [Steam piston technologies in small cogeneration plants]. *Akva-Term* ["Aqua-Therm" Magazine]. 2017. No. 6. Pp. 20–22. [In Russian]
5. V.N. Grigor'ev, A.I. Bogachjova. *Perevod kotel'noj v rezhim mini-TJeTs na baze parovintovoj turbiny* [Transfer of the boiler house to the mode of a mini-combined heat and power plant based on a steam screw turbine]. *Novosti teplosnabzhenija* ["Heat supply news" Magazine]. 2016. No. 9. Pp. 54–59. [In Russian]
6. S.R. Berezin, A.I. Bogachjova. *Tekhnologija jenergosberezhenija na baze parovoj vintovoj mashiny* [Energy-saving technology based on a steam screw engine]. *Turbiny i dizeli* ["Turbines and diesels" Magazine]. 2010. No. 4. Pp. 24–27. [In Russian]
7. A.V. Razuvaev. *Analiz jeffektivnosti paroporshevoj jenergeticheskoy ustanovki* [Analysis of the efficiency of a steam-piston power plant]. *Vestnik KRSU* [Bulletin of the Yeltsin Kurguz Russian Slavic University]. 2016. No. 9. Pp. 56–59. [In Russian]
8. V.A. Zhigalov. *Teplovaja jelektrostantsija s porshnevoj parovoj mashinoy* [Thermal power plant with reciprocating steam engine]. *Novosti teplosnabzhenija* ["Heat supply news" Magazine]. 2017. No. 2. Pp. 33–37. [In Russian]
9. A.V. Razuvaev. *Perspektivy primeneniya parovykh porshnevnykh mashin v mnogofunktsional'nykh jenergotekhnologicheskikh kompleksakh* [Prospects for the use of steam reciprocating machines in multifunctional energy technology complexes]. *Sovremennye jenergeticheskie sistemy i teplojenergeticheskikh kompleksakh. Sb. mat. XIII Mezhd. nauch.-prakt. konf.* [Modern energy systems and thermal power complexes. Proc. of the XIII International scientific-practical conference]. November 1–3, 2016. Saratov, Russia. 2016. [In Russian]
10. B.C. Dubinin, N.V. Glotov, K.M. Lavrukhin, D.P. Titov, T.A. Stepanova, D.V. Alhanov, I.S. Trokhin, E.I. Pogorel'skij. *Sravnenie i otsenka paroporshevykh jelektrostantsij s paroturbinnymi i gazoporshevyimi* [Comparison and evaluation of steam-piston power plants with steam-turbine and gas-piston ones]. *Malaja jenergetika — 2008. Trudy Mezhd. nauch.-prakt. konf.* [Small Power Engineering — 2008. Proc. of the International Scientific and Practical Conference]. May 21, 2008. Moscow, Russia. [In Russian]
11. I.S. Trokhin. *Sovremennye parovye mashiny i jenergosberezhenie v maloj jenergetike* [Modern steam engines and energy saving in small-scale power engineering]. *Jenergosberezhenie* ["Energy saving" Magazine]. 2013. No. 3. Pp. 72–76. [In Russian]
12. Spilling Technologies GmbH. Web-source: spilling.de. Access date: November 10, 2022.
13. I.S. Trokhin. *Parovaja porshnevaja mini-TJeTs za rubezhom* [Steam reciprocating mini combined heat and power plant abroad]. *Novosti teplosnabzhenija* ["Heat supply news" Magazine]. 2014. No. 6. Pp. 26–30. [In Russian]
14. I.A. Maganov, E.A. Tikhonov, V.S. Sjunjov, O.A. Kunitskaja. *Analiz jenergeticheskogo balansa tekhnologicheskikh tsepoček predpriyatij lesnoj promyshlennosti* [Analysis of the energy balance of technological chains of forest industry enterprises]. *Vestnik AGATU* [Bulletin of the Arctic State Agrotechnological University]. 2021. No. 4. Pp. 87–108. [In Russian]
15. A.V. Razuvaev, I.Ja. Red'ko. Aktual'nost' sozdaniya mnogofunktsional'nykh jenergotekhnologicheskikh kompleksov na baze paroporshevoj mashiny [The relevance of creating multifunctional energy technology complexes based on a steam engine]. *Zhurnal Santechnika, otoplenie, konditsionirovanie (SOK)* [Journal of Plumbing. Heating. Ventilation]. 2022. No. 2. Pp. 60–63. [In Russian]
16. A.V. Razuvaev, R.A. Kobzev, I.Ya. Redko. Economic efficiency evaluation of applying the general-purpose heat and power plant based on the reciprocating steam engine. IOP Publishing Ltd. Journal of Physics: Conference Series. Vol. 1652. 15th International Scientific and Technical Conference (PESPC) 2020. October 6–9, 2020. Saratov, Russia.
17. A.V. Razuvaev, I.Ja. Red'ko, N.V. Krasnoludskij, D.A. Kostin. *Aktual'nost' primeneniya vozobnovljajemykh topliv v jenergeticheskikh kompleksakh* [The relevance of the use of renewable fuels in energy complexes]. *Vestnik RUDN. Serija: Inzhenernye issledovaniya* [Bulletin of Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University). Series: Engineering research]. 2022. No. 3. Pp. 191–197. [In Russian]