

УДК 621.431

Методика оценки технико-экономической эффективности когенерационных установок на базе ДВС с воздушным охлаждением*

П.А. ЩИННИКОВ¹, В.Г. ТОМИЛОВ², Д.С. СИНЕЛЬНИКОВ³

¹ 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, доктор технических наук, профессор. E-mail: tes.nstu@gmail.com

² 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, доктор технических наук, профессор. E-mail: tes.nstu@gmail.com

³ 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, студент. E-mail: sinelnikovden@hotmail.com

В статье рассмотрены возможности работы генераторов электрического тока на базе двигателей внутреннего сгорания с воздушным охлаждением в условиях когенерации, когда с отпуском электроэнергии обеспечивают отпуск теплоты. Такие установки, как правило, выполняются на основе карбюраторных двигателей внутреннего сгорания (то есть в качестве топлива используют бензин), могут применяться в быту профессиональными строителями, геологами, военными и спасателями в зоне чрезвычайных ситуаций, на территориях с отсутствием инфраструктуры. Предложены основные положения методики оценки технико-экономической эффективности когенерационных установок на базе ДВС с воздушным охлаждением. Сформулированы условия определения эффекта, которые заключаются в приведении сравниваемых вариантов к одинаковому энергетическому эффекту по отпуску продукции. В качестве вариантов сравнения необходимо рассматривать обеспечение электроэнергией от бензогенератора, а теплотой – от тепловой пушки, которая, в свою очередь, в качестве первичного энергоносителя может использовать газ, жидкое топливо или электроэнергию. Представлены принципиальные схемы реализации когенерации в условиях приведения к одинаковому энергетическому эффекту. Приведены результаты экспериментальных данных по когенерации на базе ДВС Hitachi, при этом установка способна отпускать 0,8 кВт теплоты с охлаждающим воздухом. Кроме этого, установка имеет неиспользованный потенциал, по меньшей мере в 4.1 кВт, в случае утилизации теплоты уходящих дымовых газов. Показано изменение эффективности теплоэнергетической установки в зависимости от отопительной нагрузки. Также показано, что абсолютный расход топлива на номинальной нагрузке при когенерации находится на уровне ~700 г/час. Представлены результаты расчетов, которые проведены по разработанной авторами методике. Эффект определен по переменной и капитальной составляющей затрат. Показаны условия, при которых микроТЭС на базе ДВС с воздушным охлаждением и когенерацией эффективнее по сравнению с бензогенератором и тепловой пушкой и может

* Статья получена 19 февраля 2015 г.

обновляться каждые четыре года. Результаты получены для действующих розничных цен на оборудование и все виды ресурсов.

Ключевые слова: микроТЭС, когенерация, двигатель внутреннего сгорания, воздушное охлаждение, тепловая пушка, методика, результаты, эффект, коэффициент полезного действия

DOI: 10.17212/1814-1196-2015-2-134-142

ВВЕДЕНИЕ

Повышение эффективности топливоиспользующих энергетических установок на базе ДВС – актуальная задача [1]. Вариантами повышения эффективности энергетических установок на базе ДВС являются: обеспечение когенерации [2–9], когда от ТЭУ (теплоэнергетической установки) отпускаются потребителю электроэнергия и теплота от контура охлаждения ДВС; тригенерации [10], когда в дополнение к указанному установка генерирует холод. В основе этих установок лежит работа ДВС с водяным контуром охлаждения [11]. Вместе с тем на рынке широко представлен ряд микроТЭС (или бензогенераторов) на основе ДВС с воздушным охлаждением. Такие установки применяются в быту, профессиональными строителями, геологами, военными и спасателями в зоне чрезвычайных ситуаций, на территориях с отсутствием инфраструктуры. Авторами показано, что применение когенерации для таких микроТЭС увеличивает коэффициент использования теплоты топлива в 1,5–2 раза [12]. При этом установка мощностью в 2 кВт за 30–35 минут способна повысить температуру воздуха в помещении объемом 150 м³ на ≈ 3 °С.

1. УСТАНОВКА

В статье предлагается методика технико-экономической оценки микроТЭС с когенерацией на базе ДВС с воздушным охлаждением (рис. 1).

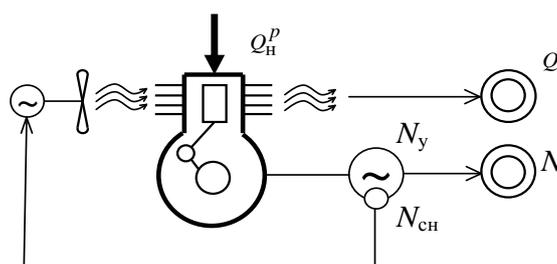


Рис. 1. Принципиальная схема микроТЭС с когенерацией на базе ДВС с воздушным охлаждением:

Q_n^p – теплота, подведенная с топливом; N , Q – электроэнергия и теплота, отпущенные потребителю; N_y – установленная мощность ТЭУ; $N_{сн}$ – мощность собственных нужд

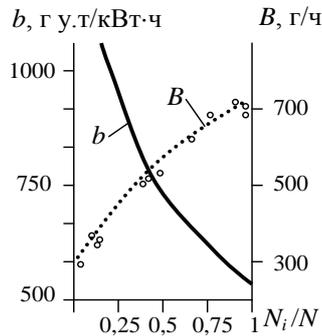


Рис. 2. Удельный (b) и массовый (B) расход топлива теплогенерационной установкой

Установка (рис. 1) работает следующим образом. МикроТЭС мощностью N_y за счет потребления теплоты топлива Q_H^P обеспечивает отпуск электроэнергии N потребителю. Охлаждение ДВС обеспечивает работа вентилятора за счет потребления собственных нужд $N_{сн}$, а охлаждающий ДВС воздух направляется потребителю и обеспечивает тепловую нагрузку Q .

Экспериментами, которые проводились на кафедре ТЭС НГТУ [13, 14], подтверждено, что удельный расход топлива для микроТЭС мощностью 2 кВт и выше находится на уровне ~ 500 г у.т./кВт·ч (при плотности бензина 750 кг/м^3), а характеристики работы микроТЭС мощностью 2,4 кВт на базе ДВС Hitachi в зависимости от режима работы показывают, что абсолютный расход топлива на номинальной нагрузке при когенерации находится на уровне ~ 700 г/ч (рис. 2) [12].

2. КОГЕНЕРАЦИЯ

Влияние отпуска теплоты при когенерации на эффективность η установки показано на рис. 3.

Можно видеть, что КПД-нетто по отпуску электроэнергии снижается с ростом отопительной нагрузки из-за увеличения собственных нужд на привод вентилятора, однако при этом коэффициент использования теплоты η^{II} растет до $\sim 33\%$.

Следует отметить, что микроТЭС на базе ДВС с когенерацией (рис. 1) вытесняет установку по отпуску теплоты в виде тепловой пушки. Тепловые пушки, в свою очередь, в качестве первичного ресурса могут потреблять органическое топливо для производства теплоты и электроэнергию на привод вентилятора, либо только электроэнергию для того и другого (рис. 4). В обоих случаях обеспечение теплотой потребует наличия бензогенератора.

Тогда экономический эффект следует определять в условиях приведения вариантов к сопоставимому виду по отпуску продукции. В этом случае уравнения энергобаланса будут иметь вид (для случаев рис. 4):

$$\text{а) } Q = BQ_H^P;$$

$$\text{б) } Q = N - N_{сн}.$$

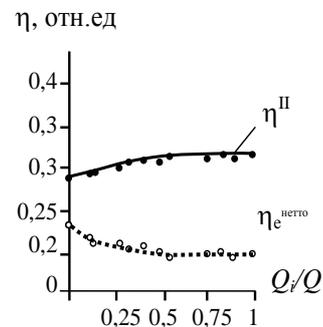


Рис. 3. Изменение эффективности ТЭУ в зависимости от отопительной нагрузки

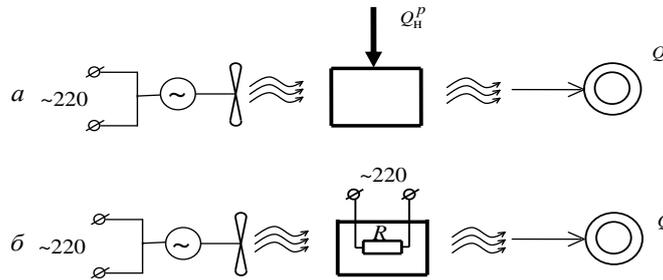


Рис. 4. Принципиальная схема тепловых пушек:

a – на органическом топливе; *б* – с электронагревателем (*R*)

В этих выражениях B , Q_H^P , – расход и низшая теплота сгорания топлива тепловой пушки на органическом топливе; N – подведенная электроэнергия к электрической тепловой пушке; $N_{сн}$ – мощность вентилятора.

Технико-экономический эффект при сравнении вариантов возможно определить через затратный механизм (такой механизм успешно применяется в современных исследованиях во многих случаях [15–20]). В данном случае (рис. 5) учитывают затраты на топливо Z_1 и Z_4 при генерации двух видов продукции, затраты (капиталовложения) на бензогенератор Z_2 и в тепловую пушку Z_3 .

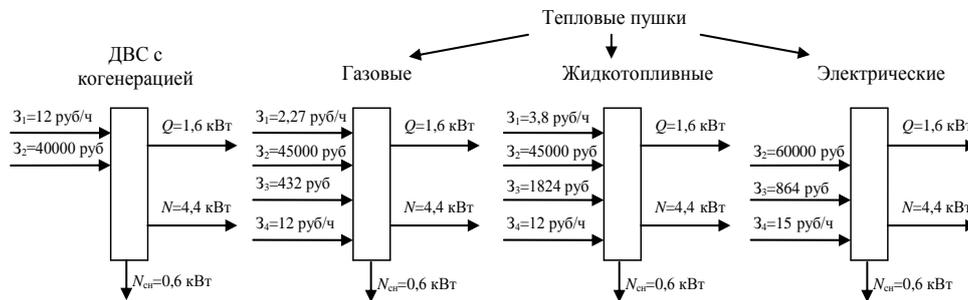


Рис. 5. К определению технико-экономического эффекта разных вариантов энергосбережения

В этом случае экономический эффект определяется как разность в сумме затрат между вариантами

$$\mathcal{E} = \Delta Z = \sum_i Z_i - \sum_j Z_j,$$

где i, j – слагаемые затрат сравниваемых вариантов.

В свою очередь, составляющие затрат определяют по следующим выражениям:

$$Z_1 = \Pi_T B_1;$$

$$Z_2 = k_y^N N_y;$$

$$З_3 = k_y^Q N_Q;$$

$$З_4 = Ц_T B_4.$$

В этих выражениях $Ц_T$ – цена топлива; B_1 – расход топлива основной установкой (микроТЭС или тепловой пушкой); B_4 – расход топлива замещающим бензогенератором; k_y^N, k_y^Q – удельные капиталовложения в микроТЭС и тепловую пушку соответственно; N_y, N_Q – установленные мощности микроТЭС и тепловой пушки соответственно.

Эффект от применения когенерации для условий (см. рис. 5) при стоимости бензина 30 руб/л, газа 18 руб/л, розничных цен на оборудование и при 500 ч работы в году (например, 1,5–2 месяца работы строительной бригады на объекте) представлен на рис. 6.

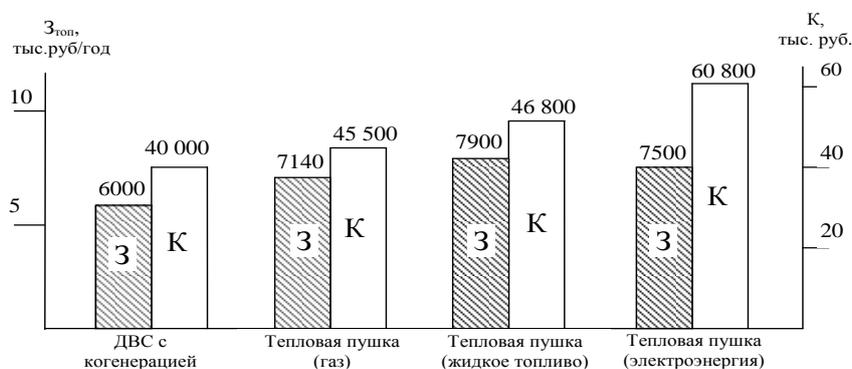


Рис. 6. Переменная и капитальная составляющие эффекта от применения ДВС с воздушным охлаждением и когенерацией по сравнению с тепловыми пушками:

З – затраты на топливо; К – капиталовложения

Несложные расчеты показывают, что при увеличении числа часов работы в два раза и повышении коэффициента использования топлива до $\approx 0,5$ либо при том же числе часов использования, но при увеличении коэффициента использования топлива до $\approx 0,9$ экономический эффект (Э) может составить около 40 тыс. руб. при сроке службы четыре года. Это означает, что при сложившейся конъюнктуре цен на топливо и розничных ценах на оборудование за счет экономии можно каждые четыре года полностью обновлять установку даже при ее работе 3–4 месяца в году.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В статье представлены основные положения методики оценки технико-экономической эффективности когенерационных установок на базе ДВС с воздушным охлаждением, в основе которой лежит затратный механизм и приведение вариантов к сопоставимому виду по энергетическому эффекту.

2. Показано, что микроТЭС с когенерацией эффективнее по сравнению с бензогенератором и тепловой пушкой и за счет экономии может обновляться каждые четыре года.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кожуховский И.С., Новоселова О.А.* Роль и перспективы деятельности технологической платформы «Малая распределенная энергетика» в развитии распределенной энергетики: презентация доклада // Круглый стол ТП «Малая распределенная энергетика», 23 октября 2013 г. / Российское энергетическое агентство; ТП «Малая распределенная энергетика». – М., 2013. – 23 с.
2. *Судавный А.С.* Развитие когенерации в контексте концепции интеллектуального распределения // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2014. – Вып. 8. – С. 117–120.
3. Интеграционные технологии при создании малых электротехнических систем и комплексов на основе методологии когенерации / Л.Н. Ахтулова, А.Л. Ахтулов, Е.Н. Леонов, Н.Н. Петухова, С.И. Смирнов // Омский научный вестник. – 2014. – № 2 (130). – С. 145–150.
4. *Денисов-Винский Н.Д.* Мини-ТЭЦ как надежное средство решения проблемы энергообеспечения // Энергобезопасность в документах и фактах. – 2007. – № 2 (14). – С. 10–18.
5. *Ерофеев В.Л., Пряхин А.С.* Термодинамические пределы энергоэффективности теплоэнергетических установок // Журнал университета водных коммуникаций. – 2013. – Вып. 2 (18). – С. 33–38.
6. Современное состояние когенерации в России: обзор публикаций, перспективные направления исследований / А.В. Казаков, А.С. Заворин, П.Ю. Новосельцев, Р.Б. Табакаев // Теплофизические основы энергетических технологий: сборник научных трудов IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, 10–12 октября 2013 г. – Томск: Изд-во ТПУ, 2013. – С. 104–106.
7. *Разуваев А.В., Костин Д.А.* Оптимизация эффективности газопоршневых энергетических установок в энергетическом комплексе // Проблемы теплоэнергетики: сборник научных трудов по материалам XII международной научно-технической конференции, г. Саратов, 28–31 октября 2014 г. – Саратов: Изд-во СГТУ, 2014. – Вып. 3. – С. 155–161.
8. *Баласанян Г.А., Дубровский В.А.* Эффективность аккумулирования тепла для интегрированных систем энергоснабжения на базе установок когенерации малой мощности // Труды Одесского политехнического университета. – 2008. – Вып. 1 (29). – С. 129–132.
9. *Филлипов С.П.* Малая энергетика в России // Теплоэнергетика. – 2009. – № 8. – С. 38–44.
10. *Тонкошкур А.Г., Муслимов Е.И.* Обоснование принципов тригенерации на основе комбинирования ГТУ с АБХМ // Проблемы теплоэнергетики: сборник научных трудов по материалам XII международной научно-технической конференции, Саратов, 28–31 октября 2014 г. – Саратов, 2014. – Вып. 3. – С. 203–206.
11. Тепловая электростанция на базе ДВС: методические указания № 3204 / составители: Г.В. Ноздренко, Ю.И. Шаров, И.В. Бородихин. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2008. – 39 с.
12. *Синельников Д.С., Щинников П.А.* Эффективность когенерационной теплоэнергетической установки на базе ДВС с воздушным охлаждением // Энергетика и теплотехника: сборник научных трудов. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2015. – Вып. 19. – С. 159–166.
13. Теплоэнергетика: методические указания № 3677 / составители: П.А. Щинников, А.С. Кутузова. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2009. – 47 с.
14. Основы теплопередачи: сборник лабораторных работ: методические указания № 4010 / составители: Ю.И. Шаров, П.А. Щинников. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2011. – 39 с.
15. Автоматизация технологических процессов на ТЭС и управление ими / П.А. Щинников, Г.В. Ноздренко, А.И. Михайленко, А.И. Дворцовой, А.В. Сафронов. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2014. – 291 с. – (Серия «Монографии НГТУ»).
16. Комплексные исследования ТЭС с новыми технологиями: монография / П.А. Щинников, Г.В. Ноздренко, В.Г. Томилов, Ю.В. Овчинников, А.А. Ловцов, П.Ю. Коваленко, Н.Г. Зыкова, О.А. Вихман, И.В. Бородихин. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2005. – 528 с. – (Серия «Монографии НГТУ»).
17. Эксергетический анализ новых котельных технологий в составе энергоблоков ТЭС / Г.В. Ноздренко, П.А. Щинников, Ф.А. Серант, В.Г. Томилов, Н.Г. Зыкова, П.Ю. Коваленко, Е.Е. Русских // Теплофизика и аэромеханика. – 2009. – Т. 16, № 2. – С. 331–340.
18. Повышение технико-экономической эффективности ТЭЦ путем перехода на новые режимы работы с внутриквартальными теплонасосными установками / В.Г. Томилов,

П.А. Щинников, Г.В. Ноздренко, Ю.Л. Пугач // Теплофизика и аэромеханика. – 2000. – Т. 7, № 4. – С. 581–589.

19. *Леонтьев В.В.* Избранные статьи: монография / науч. ред. Н.П. Литвинова. – СПб.: Невское время, 1994. – 366 с. – ISBN 5-88260-008-1.

20. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов / руководители разработки: В.В. Коссов, В.Н. Лившиц, А.Г. Шахназаров. – М.: Экономика, 2000. – 422 с. – ISBN 5-212-01987-6.

21. *Щинников П.А.* Перспективные ТЭС. Особенности и результаты исследования: монография. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2007. – 284 с. – (Серия «Монографии НГТУ»)

Щинников Павел Александрович, доктор технических наук, профессор Новосибирского государственного технического университета. Основные направления научных исследований: новые технологии в теплоэнергетике и рациональные сферы их применения, исследование перспектив развития электроэнергетики Сибири и Дальнего Востока. Имеет более 200 публикаций. E-mail: tes.nstu@gmail.com

Томилов Виталий Георгиевич, доктор технических наук, профессор Новосибирского государственного технического университета. Основные направления научных исследований: теплоэнергетика, новые технологии. Имеет более 70 публикаций. E-mail: tes.nstu@gmail.com

Синельников Денис Сергеевич, студент кафедры тепловых электрических станций Новосибирского государственного технического университета. Основные направления научных исследований: теплоэнергетика, новые технологии. Имеет 5 публикаций. E-mail: sinelnikovden@hotmail.com

Methods of assessing technical and economic efficiency of cogeneration plants based on air-cooled internal combustion engines*

P.A. SHSHINNIKOV¹, V.G. TOMILOV², D.S. SINELNIKOV³

¹*Novosibirsk State Technical University, 20, K. Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, D.Sc.(Eng.), professor. E-mail: tes.nstu@gmail.com*

²*Novosibirsk State Technical University, 20 K. Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, D.Sc. (Eng.), professor. E-mail: tes.nstu@gmail.com*

³*Novosibirsk State Technical University, 20, K Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, student. E-mail: sinelnikovden@hotmail.com*

The article discusses the possibility of operation of electric current generators based on air-cooled internal combustion engines (ICE) in cogeneration when power generation is accompanied by heat generation. Such installations are usually run on carburetor internal combustion engines, with gasoline being a fuel, and can be used by professional builders, geologists, military and rescue workers in emergency situations and in areas with a lack of infrastructure. The methodology for assessing the technical and economic efficiency of cogeneration plants based on air-cooled ICEs is proposed. The conditions of determining the effect which imply bringing the compared alternatives to the same effect of energy generation are formulated. It is recommended to consider as alternatives for comparison supplying energy from a gasoline generator and heat from a heat gun which in turn can use gas, liquid fuel or electric power as a primary energy source. Schematic diagrams of implementing cogeneration to obtain the same effect are also given. Cogeneration experiment results obtained on the basis of the Hitachi internal combustion engine, which can produce 0.8 kW of heat with the cooling air, are presented. Besides, the plant has an unused capacity of at least 4.1 kW in the case of heat recovery of flue gases. The change in the heat-and-power plant efficiency depending on a heating load is

* Received 19 February 2015.

shown. It is also shown that the absolute fuel consumption at rated load cogeneration is of ~700 g/h. Calculation results carried out by the author's method are presented. The effect is defined based on the variable and capital components of costs. Conditions under which a micro-TPS based on an air-cooled internal combustion engine and cogeneration is more efficient than a gasoline generator and a heat gun are determined and it is shown that it can be updated every four years. The results are obtained for current retail prices of equipment and all kinds of resources.

Keywords: micro thermoelectric power station, cogeneration, internal combustion engine, air-cooled, heat gun, technique, results, effect, efficiency

DOI: 10.17212/1814-1196-2015-2-134-142

REFERENCES

1. Kozhukhovskiy J.S., Novoselova O.A. [The key role and prospects of the technology platform "small-scale distributed power" in distributed power development: presentation of the report]. *Kruglyi stol tekhnologicheskoi platformy «Malaya raspredelennaya energetika» (KS 2)* [Round table of the Russian technology platform. The "Small-scale distributed power" platform (RT 2)], Moscow, 23 October 2013. 23 p. (In Russian)
2. Sudavny A.S. Razvitiye kogeneratsii v kontekste kontseptsii intellektual'nogo raspredeleniya [Development in the context cogeneration concept of intellectual distribution]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki – News of the Tula state university. Technical sciences*, 2014, iss. 8, pp. 117–120.
3. Akhtulova L.N., Akhtulov A.L., Leonov E.N., Petukhova N.N., Smirnov S.I. Integratsionnyye tekhnologii pri sozdaniy malykh elektrotekhnicheskikh sistem i kompleksov na osnove metodologii kogeneratsii [Integration technologies at creation of small electrotechnical systems and complexes on the basis of methodology cogeneration]. *Omskii nauchnyi vestnik – Omsk scientific bulletin*, 2014, no. 2 (130), pp. 145–150.
4. Denisov-Vinskii N.D. Mini-TETs kak nadezhnoe sredstvo resheniya problemy energoobespecheniya [Mini-HEC as a well-tryed remedy of the decision of a problem of power supply]. *Energobezopasnost' v dokumentakh i faktakh – Energy-Safety in Documents and Facts*, 2007, no. 2 (14), pp. 10–18.
5. Erofeev V.L., Pryakhin A.S. Termodinamicheskie predely energoeffektivnosti teploenergeticheskikh ustanovok [Thermodynamic limits of heat engines efficiency]. *Zhurnal universiteta vodnykh kommunikatsii – The Journal of University of Water Communications*, 2013, iss. 2 (18), pp. 33–38.
6. Kazakov A.V., Zavorin A.S., Novosel'tsev P.Ju., Tabakaev R.B. [The current state of cogeneration in Russia: review of publications, promising areas of research]. *Sbornik nauchnykh trudov IV Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem "Teplofizicheskie osnovy energeticheskikh tekhnologii"* [Proceedings of the IV All-Russian scientific and practical conference with international participation "Thermophysical basis of energy technologies"], Tomsk, 10–12 October 2013, pp. 321–329.
7. Razuvaev A.V., Kostin D.A. [Optimizing the gas turbine power plants efficiency in the energy sector]. *Sbornik nauchnykh trudov po materialam XII mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii "Problemy teploenergetiki"* [Collection of scientific papers on materials of XII International scientific and technical conference "Problems of power engineering"], Saratov, 28–31 October 2014, iss. 3, pp. 155–161.
8. Balasarian G.A., Dubrovsky V.A. Effektivnost' akumulirovaniya tepla dlya integrirovannykh sistem energosnabzheniya na baze ustanovok kogeneratsii maloi moshchnosti [Efficiency of heat accumulation for power supply integrated systems based on low-power co-generation units]. *Trudy Odesskogo politekhnicheskogo universiteta – Works of the Odessa polytechnic university*, 2008, iss. 1 (29), pp. 129–132.
9. Fillipov S.P. Malaya energetika v Rossii [Small-capacity power engineering in Russia]. *Teploenergetika – Thermal Engineering*, 2009, no. 8, pp. 38–44. (In Russian)
10. Tonkoshkur A.G., Muslimov E.I. [Justification principles trigeneration based on a combination of gas turbine with lithium bromide absorption chiller]. *Sbornik nauchnykh trudov po materialam XII mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii "Problemy teploenergetiki"* [Collection of scientific papers on materials of XII International scientific and technical conference "Problems of power engineering"], Saratov, 28–31 October 2014, iss. 3, pp. 203–206.

11. Nozdrenko G.V., Sharov Yu.I., Borodikhin I.V., compilers. *Teplovaya elektrostantsiya na baze DVS* [Thermal power plant based on the internal combustion engine: methodical instructions no. 3204]. Novosibirsk, NSTU Publ., 2008. 39 p.
12. Sinel'nikov D.S., Shchinnikov P.A. [Efficiency cogeneration thermal power plants based on internal combustion engines with air cooling]. *Sbornik nauchnykh trudov "Energetika i teplotekhnika"* [Collection of scientific works "Power engineering and heat engineering"], 2015, iss. 19, pp. 159–166. (In Russian)
13. Shchinnikov P.A., Kutuzova A.S., compilers. *Teploenergetika* [Thermal engineering: methodical instructions no. 3677]. Novosibirsk, NSTU Publ., 2009. 47 p.
14. Sharov Yu.I., Shchinnikov P.A., compilers. *Osnovy teploperedachi* [Fundamentals of heat transfer: a collection of laboratory work: methodical instructions no. 4010]. Novosibirsk, NSTU Publ., 2011. 39 p.
15. Shchinnikov P.A., Nozdrenko G.V., Mikhailenko A.I., Dvortsevoi A.I., Safronov A.V. *Avtomatizatsiya tekhnologicheskikh protsessov na TES i upravlenie imi* [Automation and control of technological processes at heat power plants]. Novosibirsk, NSTU Publ., 2014. 291 p.
16. Shchinnikov P.A., Nozdrenko G.V., Tomilov V.G., Ovchinnikov Yu.V., Lovtsov A.A., Kovalenko P.Yu., Zykova N.G., Vikhman O.A., Borodikhin I.V. *Kompleksnye issledovaniya TES s novymi tekhnologiyami* [Comprehensive investigations of ThPS with new technologies]. Novosibirsk, NSTU Publ., 2005. 528 p.
17. Nozdrenko G.V., Shchinnikov P.A., Serant F.A., Tomilov V.G., Zykova N.G., Kovalenko P.Yu., Russkikh E.E. *Eksergeticheskii analiz novykh kotel'nykh tekhnologii v sostave energoblokov TES* [Exergic analysis of new boiler technologies within power-generating units of thermal power plant]. *Teplofizika i aeromekhanika – Thermophysics and Aeromechanics*, 2009, vol. 16, iss. 2, pp. 315–323. doi: 10.1134/S0869864309020164. Translated from *Teplofizika i aeromekhanika*, 2009, vol. 16, no. 2, pp. 331–340.
18. Tomilov V.G., Nozdrenko G.V., Shchinnikov P.A., Pugach Yu.L. *Povyshenie tekhniko-ekonomicheskoi effektivnosti TETs putem perekhoda na novye rezhimy raboty s vnutrikvartal'nymi teplonasosnymi ustanovkami* [Improvement in technical and economical efficiency of combined heat and power plants using new operation regimes with regional heat pumps]. *Teplofizika i aeromekhanika – Thermophysics and Aeromechanics*, 2000, vol. 7, iss. 4, pp. 551–558. Translated from *Teplofizika i aeromekhanika*, 2000, vol. 7, no. 4, pp. 581–589.
19. Leont'ev V.V. *Izbrannye stat'i: monografiya* [Selected articles]. St. Petersburg, Nevskoe vremya Publ., 1994. 366 p.
20. Kossov V.V., Livshits V.N., Shakhnazarov A.G., heads of creators. *Metodicheskie rekomendatsii po otsenke effektivnosti investitsionnykh proektov* [Guidelines for evaluating the effectiveness of investment projects]. 2th ed. Moscow, Ekonomika Publ., 2000. 422 p.
21. Shchinnikov P.A. *Perspektivnye TES. Osobennosti i rezul'taty issledovaniya* [Perspective thermal power stations. Singularities and results of research : monograph]. Novosibirsk, NSTU Publ., 2007. 284 p.