



Надёжность и эффективность источников энергии в системах теплоснабжения

Рецензия эксперта на статью получена 24.10.2020 [Expert review on the article received on October 24, 2020].

Введение

Одной из важнейших областей энергетики является тепловая энергетика, в частности, теплоснабжение. Теплоснабжение — это важная подотрасль жилищно-коммунального хозяйства России, поэтому надёжности и безопасности объектов теплоснабжения с момента их создания уделяется особое внимание. В основе централизованного теплоснабжения — комбинированная выработка электрической и тепловой энергии [1].

В этой связи, согласно ст. 3 Федерального закона от 27 июля 2010 года №190-ФЗ «О теплоснабжении», установлены общие принципы организации отношений и основы государственной политики в сфере теплоснабжения, например, обеспечение: надёжности теплоснабжения в соответствии с требованиями технических регламентов; энергетической эффективности теплоснабжения и потребления тепловой

энергии с учётом требований, установленных федеральными законами; приоритетного использования комбинированной выработки электрической и тепловой энергии для организации теплоснабжения; экологической безопасности теплоснабжения; безопасной эксплуатации объектов теплоснабжения.

По сути, эти принципы соблюдаются с момента создания систем централизованного теплоснабжения в Российской Федерации.

История отечественного централизованного теплоснабжения берет своё начало в 1903 году. В это время в Санкт-Петербурге по проекту профессора В.В. Дмитриева и инженера Л.Л. Гинтера была сооружена первая теплофикационная система, которая использовала отработанный пар турбины местной электростанции для отопления 13 корпусов детской больницы [2].

УДК 621.311.2. Научная специальность: 05.23.03.

Надёжность и эффективность источников энергии в системах теплоснабжения

В. А. Булавин, к.т.н., генеральный директор ООО «Инновационные технологии — Энергетика» (г. Белгород)

Надёжность и энергоэффективность — важнейшие факторы экономического развития России, одним из направлений которого является теплоснабжение. Показано, как в России развивалась теплоэнергетика, в том числе теплоснабжение на основе когенерации, начиная с плана ГОЭЛРО. Значительная часть тепловой энергии в России производится на паротурбинных тепловых электростанциях. Например, турбина K-160-130 — первый агрегат с промежуточным перегревом пара производства Харьковского турбогенераторного завода (ХТГЗ) им. С. М. Кирова — до настоящего времени работает на многих электростанциях. Когенерация — централизованное теплоснабжение при производстве электрической и тепловой энергии в едином технологическом цикле — обеспечивает как экономии топлива, так и надёжность теплоснабжения.

Основными из ключевых направлений в теплоэнергетике являются перевод конденсационных электростанций в теплофикационный режим и перевод котельных в когенерационный режим. При этом, например, водогрейные котлы становятся резервно-пиковыми источниками тепловой энергии, обеспечивая надёжность теплоснабжения потребителей. Однако когенерация ещё не получила широкого распространения на небольших отопительных котельных, в связи с отсутствием в Российской Федерации производства газопоршневых двигателей и электростанций на основе созданных в СССР и до настоящего времени работающих в ПАО «Газпром» газопоршневых двигателей 11ГД100.

Ключевые слова: теплоэнергетика, конденсационная электростанция, газотурбинные установки, газопоршневые установки, теплоснабжение, когенерация.

UDC 621.311.2. The number of scientific speciality: 05.23.03.

Reliability and efficiency of energy sources in heat supply systems

V. A. Bulavin, PhD, General Director of "Innovative technologies — Energy", LLC (Belgorod city)

Reliability and energy efficiency are the most important factors of Russia's economic development, one of the directions of which is heat supply. It is shown how the heat power industry developed in Russia, including heat supply based on cogeneration, starting with the GOELRO Plan. A significant part of thermal energy in Russia is produced at steam turbine thermal power plants. For example, the K-160-130 steam turbine is the first unit with intermediate steam superheating produced by Kharkiv Turbo-Generator Facility (KHTGZ) named after S. M. Kirov and it still works at many power plants. Cogeneration is centralized heat supply in the production of electricity and heat in a single technological cycle and it provides both fuel economy and reliability of heat supply. The main key areas in the heat power industry are the transfer of condensing power plants to the heating mode and the transfer of boilers to the cogeneration mode. At the same time, for example, hot water boilers become reserve-peak sources of heat energy, ensuring the reliability of heat supply to consumers. However, cogeneration has not yet been widely used in small heating boilers, due to the lack of production of gas-piston engines and power plants in Russia based on the 11GD100 gas-piston engines created in the USSR and still using by "Gazprom", PJSC.

Key words: heat power engineering, condensing power plant, gas turbine installations, gas piston installations, heat supply, cogeneration.

1. Развитие теплоэнергетики в России

Развитию энергетики послужил Государственный план электрификации России (ГОЭЛРО), который был принят постановлением Советом народных комиссаров РСФСР 21 декабря 1921 года «О плане электрификации России». Одной из задач развития отрасли в период реализации плана ГОЭЛРО было внедрение комбинированной выработки электроэнергии, тепла и централизованного теплоснабжения с источником теплоснабжения — тепловой электростанцией (ТЭЦ).

Самая первая ТЭЦ, построенная по плану ГОЭЛРО в 1922 году, называлась «Уткина заводь». В день пуска участники торжественного митинга переименовали



❖ Современная «Правобережная ТЭЦ» (владелец — ОАО «ТГК-1»)



❖ ТЭЦ №5 «Красный октябрь» — первая ТЭЦ, построенная по плану ГОЭЛРО. 1960-е годы

её в ТЭЦ №5 «Красный октябрь», и под этим именем она проработала до 2010 года. Сегодня это «Правобережная ТЭЦ» ОАО «ТГК-1». А в Москве первая ТЭЦ была введена в 1928 году.

В советском правительстве модернизация экономики трактовалась как «...электрификация всей страны, то есть развитие экономики, вооружение нашего народа энергетическими ресурсами с тем, чтобы создать условия, когда бы мы могли производить столько, сколько нужно для нашего общества. А это и есть коммунизм» [3].

В СССР в 1960-е годы энергетика уже развивалась за счёт паровых турбин большой единичной мощности (160–300 МВт) с промежуточным перегревом пара. «Турбина К-160-130 — первый агрегат с промежуточным перегревом пара производства Харьковского турбогенераторного завода (ХТГЗ) им. С.М. Кирова. Десятки тепловых электростанций в Советском Союзе были оборудованы этими турбинами. Ряд турбин находится в эксплуатации на зарубежных установках» [4].

Построенные в СССР электростанции с турбинами мощностью 160–300 МВт продолжают работу в России и в СНГ [4], поэтому разработанные автором научно-технические решения по турбинам К-160-130 Ташкентской ГРЭС, в том числе их перевод в когенерационный режим работы, актуальны и в настоящее время [5, 6]. Имеется аналогичный опыт использования теплоты конденсата паровой турбины Т-100/120-130 для нагрева исходной воды в поверхностном подогревателе на Ульяновской ТЭЦ-1 [7].

2. Когенерация

Когенерация — централизованное теплоснабжение при производстве электроэнергии и тепла в едином технологическом цикле (Приказ Росстата от 15 июля 2020 года №383). Когенерация обеспечивает экономию топлива и надёжность теплоснабжения, поскольку при переводе котельных в когенерационный режим водогрейные котлы становятся резервно-пиковыми источниками тепловой энергии.

Согласно «Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года» (Распоряжение Правительства РФ от 9 июня 2020 года №1523-р): «Задачами теплоснабжения являются: формирование эффективных рынков теплоснабжения с приоритетом когенерации при соблюдении баланса интересов хозяйствующих субъектов и потребителей; повышение надёжности и эффективности теплосетевых комплексов». Указанная стратегия соответствует Федеральному закону РФ от 27 июля 2010 года №190-ФЗ «О теплоснабжении», согласно которому (ст. 3) к общим принципам организации отношений в сфере теплоснабжения, в частности, отнесены: обеспечение энергетической эффективности теплоснабжения; обеспечение приоритетного использования комбинированной выработки электрической и тепловой энергии для организации теплоснабжения; развитие систем централизованного теплоснабжения.

Согласно ч. 3 ст. 23 уполномоченные органы должны осуществлять разработку, утверждение и ежегодную актуализацию схем теплоснабжения, которые должны содержать, в частности, меры по переоборудованию котельных в источники комбинированной выработки электрической и тепловой энергии.

При этом, согласно критериям, установленным «Правилами оценки готовности к отопительному периоду» (Приказ Минэнерго России от 12 марта 2013 года №103), должна обеспечиваться как надёжность теплоснабжения потребителей, так и энергосбережение — повышение коэффициента полезного действия котлоагрегатов, теплофикационных и других установок на основе современных технологий сжигания топлива, когенерационная выработка тепловой и электрической энергии, увеличение коэффициента использования тепловой мощности.

3. Перевод конденсационных электростанций в теплофикационный режим

При замещении отпускаемой из котельной теплоты $Q_{отп}$ теплотой из отбора турбины ТЭЦ для теплоснабжения потребителей обозначенные на рис.16 потери 1' и 2' (при раздельном способе) уменьшаются, соответственно, до 1 и 2 (при комбинированном способе производства), благодаря чему достигается экономия топлива:

где $B_{\text{КЭС}}$, $B_{\text{кот}}$ и $B_{\text{ТЭЦ}}$ — расход топлива соответственно на конденсационной электростанции, котельной и теплоэлектроцентрали при равенстве полезной энергии в сопоставляемых вариантах.

Разработанные автором технические, технологические и компоновочные решения с соблюдением требований безопасности были реализованы в проекте «Реконструкция Ташкентской ГРЭС в теплофикационный режим работы», утверждённом Приказом Минэнерго СССР от 13 декабря 1984 года №257-пс, и остаются актуальными до настоящего времени.

Энергетический баланс двух способов производства электрической и тепловой энергии

Раздельный способ	Комбинированный способ
КЭС (ГРЭС)	ТЭЦ
35 % (электроэнергия)	35 % (электроэнергия)
65 % (потери)	40 % (тепловая энергия)
	25 % (потери)
Котельная	
40 % (тепловая энергия)	
5 % (потери)	45 % (экономия)

Подведённая энергия

3,6Э_{отоп} Q_{отоп}

2' 2 1 1'

В_{ТЭЦ} ΔВ В_{КЭС} В_{кот}

возможность и целесообразность перевода действующих конденсационных электростанций (КЭС) в режим ТЭЦ.

Продлению срока службы созданных в СССР паровых турбин содействует АО «Калужский завод энергетического машиностроения» (АО «КЗАЭМ») — современное российское предприятие, обладающее внушительным технологическим потенциалом и обширной площадью производственных мощностей (расположенных на территории трёх промышленных городов: Санкт-Петербург, Екатеринбург, Калуга), производящее соответствующие турбины:

- Для поддержания надёжности и эффективности таких турбин в России разработаны соответствующие нормы и правила, например, стандарт организации НП «ИНВЭЛ» СТО 70238424.27.040.012–2009 «Турбина паровая К-160-130 ХТГЗ. Технические условия на капитальный ремонт. Нормы и требования».

4. Газотурбинные и газопоршневые электростанции

В городе Белгороде в 2004–2005 годах по инициативе автора были построены две газотурбинные ТЭЦ электрической мощностью по 60 МВт для централизованного теплоснабжения города [9].

В городе Валуйки на комбинате растительных масел (ВКРМ) в 2005–2006 годах была запроектирована и построена с участием (под руководством) автора электростанция мощностью 2000 кВт с двумя газопоршневыми мотор-генераторами 11ГД100 (рис. 2), конвертированными из дизель-генераторов 7Д100, производимых на Харьковском заводе транспортного машиностроения им. В.А. Малышева (ХЗТМ). На основании этого проекта и положительного опыта их работы в ПАО «Газэнерго» можно рекомендовать воспроизводство в России аналогов мотор-генераторов 11ГД100 на современной технологической основе.

Под руководством и с участием автора по заказу ООО «Пулковская ТЭЦ» был также разработан проект «Реконструкция котельной в тепловую электростанцию мощностью 120 МВт (ПГУ-ТЭЦ 120 МВт)» (рис. 3), получивший положительное заключение государственной экспертизы №112-12/СПЭ-1808/02.

Целесообразность сооружения малых ТЭЦ с газопоршневыми двигателями и газотурбинными установками на природном газе для повышения эффективности систем энергоснабжения небольших городов подтверждается в работе [10]. Многие разработанные автором решения носят универсальный характер и могут быть рекомендованы для внедрения на других тепловых электростанциях и отопительных котельных.



Рис. 2. Газопоршневая электростанция 11ГД100 мощностью 1000 кВт на Валуйском комбинате растительных масел (Белгородская область)

Выводы

1. Начиная с плана ГОЭЛРО и до настоящего времени одной из основных задач в энергетике России является повышение надёжности и эффективности источников энергии в системах теплоснабжения. Эта задача в целом решается, однако имеется одна из нерешённых со дня распада СССР проблем — создание газотурбинных электростанций.

Примером можно назвать Белгород, где были построены две газотурбинные ТЭЦ мощностью по 60 МВт. Под руководством автора был разработан проект реконструкции котельной в ПГУ-ТЭЦ 120 МВт (город Санкт-Петербург), получивший положительное заключение ФАУ «Главгосэкспертиза России».

2. Проблемой остаётся оснащённость водогрейных отопительных котельных газопоршневыми электростанциями для комбинированного производства тепловой и электрической энергии. Проблема

Для повышения эффективности систем энергоснабжения небольших городов рекомендуется сооружение малых ТЭЦ — в первую очередь путём технического перевооружения существующих котельных с применением газопоршневых двигателей и газотурбинных установок на природном газе

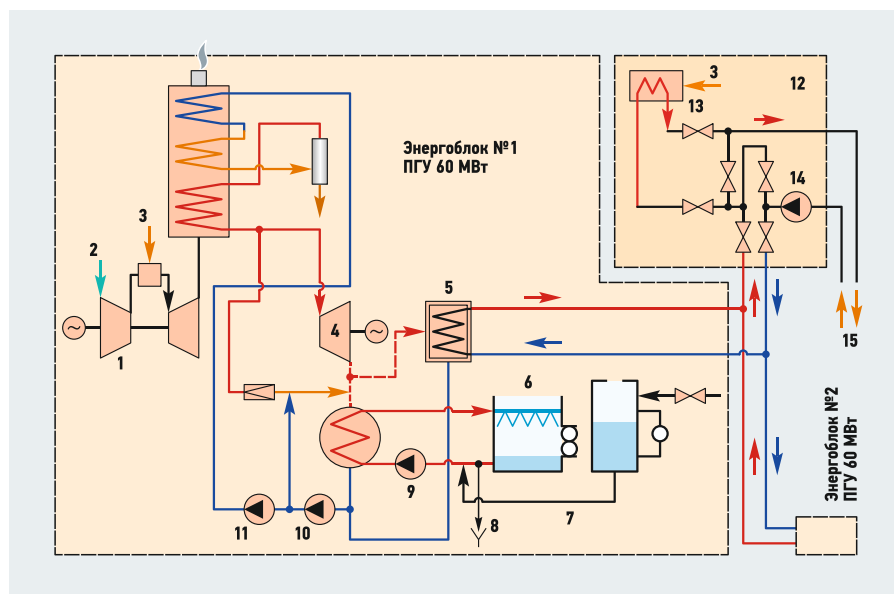


Рис. 3. Принципиальная тепловая схема ПГУ-ТЭЦ 120 МВт ООО «Пулковская ТЭЦ» (1 — газовая турбина; 2 — воздух; 3 — газ; 4 — паровая турбина; 5 — подогреватель сетевой воды; 6 — градирни; 7 — подпитка; 8 — продувка на ВПУ; 9 — циркуляционный насос; 10 — конденсатный электронасос; 11 — питательный электронасос; 12 — существующая водогрейная котельная; 13 — водогрейный котёл ПТВМ-50; 14 — группа сетевых насосов; 15 — тепловая сеть с закрытым водоразбором)

заключается в отсутствии в России собственного производства газопоршневых двигателей и электростанций на их основе для обеспечения когенерации на небольших водогрейных котельных. В Белгородской области имеется более 7000 отопительных котельных, многие из которых целесообразно перевести в когенерационный режим.

Предложено организовать на основе современных технологий воспроизводство созданных в СССР газопоршневых двигателей 11ГД100, положительно зарекомендовавших себя на компрессорных станциях ПАО «Газпром».

3. Значительную роль в теплоснабжении играют построенные в СССР паротурбинные электростанции с турбинами единичной мощностью 100 МВт и выше. Дано сравнение эффективности работы отдельной работы КЭС и котельной с теплоэлектроцентралью, позволяющей в режиме когенерации экономить до 45 % топлива.

4. Для повышения эффективности систем энергоснабжения небольших городов рекомендуется сооружение малых ТЭЦ — в первую очередь путём технического перевооружения существующих котельных с применением газопоршневых двигателей и газотурбинных установок на природном газе. ●

1. Николаев Ю.Е., Дубинин А.Б., Вдовенко И.А. Повышение эффективности коммунальных систем теплоснабжения малых городов России путём сооружения ТЭЦ с газотурбинными и газопоршневыми установками // *Новости теплоснабжения*, 2013. №11. С. 6–8.
2. Чистович С.А., Година С.Я. 100 лет теплофикации и централизованному теплоснабжению в России: Сб. статей под ред. В.Г. Семенова. — М.: *Новости теплоснабжения*, 2003. С. 94–104.
3. Президиум ЦК КПСС. 1954–1964. Черновые протокольные записки заседаний. Стенограммы. Постановления. Т. 1. — М.: *РОССПЭН*, 2003. 398 с.
4. Акерман В.Ш., Брагинский В.А., Волинский М.М. и др. Паровая турбина К-160-130 ХТГЗ / Под ред. С.П. Соболева. — М.: *Энергия*, 1980. 188 с.
5. Буланин В.А., Бармин Н.Л. Реконструкция Ташкентской ГРЭС с целью её использования для теплофикации Ташкента // *Электрические станции*, 1986. №9. С. 36–40.
6. Буланин В.А., Бармин Н.Л. Режимы работы конденсаторов турбин К-160-130 при их использовании для подогрева подпиточной воды теплотрассы // *Электрические станции*, 1987. №2. С. 25–29.
7. Орлов М.Е., Замалеев М.М., Кузьмин А.В., Шарипов В.И. О целесообразности и возможности подогрева воды для систем теплоснабжения за счёт использования теплоты основного конденсата теплофикационных турбин // *Надёжность и безопасность энергетики*, 2018. №11. С. 117–125.
8. Буланин В.А. Энергетический баланс тепловой электростанции. Учеб. пособ. — Ташкент: *ТТУ*, 1989. 64 с.
9. Соболев Г.А. Актуальное интервью. Зерно рациональности // *Наша газета* (ОАО «Белгородэнерго»), 2002. №15.
10. Николаев Ю.Е., Вдовенко И.А., Дубинин А.Б. Термодинамический и экономический анализ эффективности малых теплофикационных установок для систем энергоснабжения городов // *Труды Академэнерго*, 2017. №2. С. 61–70.

References — see page 79.

Reliability and efficiency of energy sources in heat supply system. Pp. 30–34.

Vladimir A. Bulavin, PhD, General Director of "Innovative technologies — Energy", LLC (Belgorod city)

1. Ju.E. Nikolaev, A.B. Dubinin, I.A. Vdovenko. *Povyshenie jeffektivnosti kommunal'nyh sistem teplosnabzhenija malyh gorodov Rossii putem sooruzhenija TJeC s gazoturbinnymi i gazoporshnevnyimi ustanovkami* [Increasing the efficiency of communal heat supply systems in small towns in Russia by constructing a thermal power plant, with gas turbine and gas piston units]. *Novosti teplosnabzhenija* ["Heat supply news" Magazine]. 2013. No. 11. Pp. 6–8. [In Russian]
2. S.A. Chistovich, C.Ja. Godina. *100 let teplofikacii i centralizovannomu teplosnabzheniju v Rossii. Sbornik statej pod red. V.G. Semenova* [100 years of district heating and district heating in Russia. Coll. vol. edited by V.G. Semenov]. Moscow. *Novosti teplosnabzhenija* ["Heat supply news" Magazine]. 2003. Pp. 94–104. [In Russian]
3. *Prezidium CK KPSS. 1954–1964. Chernovye protokol'nye zapisi zasedanij. Stenogrammy. Postanovlenija* [Presidium of the Central Committee of the Communist Party of the Soviet Union. 1954–1964. Draft minutes of sessions. Transcripts and resolutions]. Vol. 1. A.A. Fursenko as editor-in-chief. Moscow. *ROSSPJeN* ["Russian Political Encyclopedia" Publishers]. 2003. 398 p. [In Russian]
4. V.Sh. Akerman, V.A. Braginskij, M.M. Volynskij et al. *Parovaja turbina K-160-130 HTGZ* [K-160-130 steam turbine of Kharkov Turbine Generator Facility]. Edited by S.P. Sobolev. Moscow. *Jenergija* ["Energy" Publishers]. 1980. 188 p. [In Russian]
5. V.A. Bulanin, N.L. Barmin. *Rekonstrukcija Tashkentskoj GRJeS s cel'ju ee ispol'zovanija dlja teplofikacii Tashkenta* [Reconstruction of the Tashkent state district power plant to use it for Tashkent heating]. *Elektricheskie stancii* ["Electric power plants" Magazine]. 1986. No. 9. Pp. 36–40. [In Russian]
6. V.A. Bulanin, N.L. Barmin. *Rezhimy raboty kondensatorov turbin K-160-130 pri ih ispol'zovanii dlja podogreva podpitochnoj vody teploseti* [Modes of operation of condensers of K-160-130 steam turbines when used for heating the make-up water of the heating system]. *Elektricheskie stancii* ["Electric power plants" Magazine]. 1987. No. 2. Pp. 25–29. [In Russian]
7. M.E. Orlov, M.M. Zamaleev, A.V. Kuz'min, V.I. Sharapov. *O celesoobraznosti i vozmozhnosti podogreva vody dlja sistem teplosnabzhenija za schet ispol'zovanija teploty osnovnogo kondensata teplofikacionnyh turbin* [On the feasibility and possibility of heating water for heat supply systems through the use of heat from the main condensate of heating turbines]. *Nadezhnost' i bezopasnost' jenergetiki* ["Energy reliability and safety" Magazine]. 2018. No. 11. Pp. 117–125. [In Russian]
8. V.A. Bulanin. *Jenergeticheskij balans teplovoj elektrostancii. Uchebnoe posobie* [Energy balance of a thermal power plant. A tutorial]. Tashkent. *TTU* [Tashkent Technical University]. 1989. 64 p. [In Russian]
9. G.A. Sobol'. *Aktual'noe interv'ju. Zerno racional'nosti* [A topical interview. The seed of rationality]. *Nasha gazeta (OAO "Belgorodjenergo")* [Our newspaper ("Belgorodenergo", JSC)]. 2002. No. 15. [In Russian]
10. Ju.E. Nikolaev, I.A. Vdovenko, A.B. Dubinin. *Termodinamicheskij i jekonomicheskij analiz jeffektivnosti malyh teplofikacionnyh ustanovok dlja sistem jenergosnabzhenija gorodov* [Thermodynamic and economic analysis of the efficiency of small heating plants for power supply systems of cities]. *Trudy Akademjenergo* ["Transactions of Academenergo" Scientific Journal]. 2017. No. 2. Pp. 61–70. [In Russian]