

9. С о р о к о, Э. М. Золотые сечения, процессы самоорганизации и эволюции систем: введение в общую теорию гармонизации систем / Э. М. Сороко. – М.: КомКнига, 2006. – 264 с.

10. A i d a n, O'D w y e r. Handbook of PI and PID Controller Tuning Rules / O'Dwyer Aidan. – 3rd Edition. – Dublin: Institute of Technology; Ireland, Imperial College Press, 2009. – 529 p.

REFERENCES

1. P l e t n e v, G. P. (2007) *Automation of Technological Processes and Productions in Heat-and-Power Engineering*. 4th Edition. Moscow: Publishing House Moscow Power Engineering Institute. 352 p. (in Russian).

2. D e m c h e n k o, V. A. (2001) *Automation and Modeling of Technological Processes in Atomic Power Plants and Thermal Power Plants*. Odessa, Astroprint. 308 p. (in Russian).

3. K l y u e v, A. S., Lebedev, A. T., & Novikov, S. I. (1985) *Adjustment of the Automatic Control Systems in Steam Boilers of the Drum-Type*. Moscow, Energoatomizdat. 280 p. (in Russian).

4. K u l a k o v, G. T., Kulakov, A. T., & Kuchorenko, A. N. (2014) Mathematical Modeling of Transient Processes in Three-Pulses Automatic Control System of Steam-Boiler Water Feed for Load Release. *Izvestiia Vysshikh Uchebnykh Zavedenii i Energeticheskikh Ob'edinenii – Energetika* [Proceedings of the Higher Education Institutions and Power Engineering Associations – Power Engineering], 1, 57–64 (in Russian).

5. K u l a k o v, G. T., & Kuchorenko, A. N. (2014) Optimization of Transient Processes of Water Level Changing in the Steam Drum of the Boiler. *Izvestiia Vysshikh Uchebnykh Zavedenii i Energeticheskikh Ob'edinenii – Energetika* [Proceedings of the Higher Education Institutions and Power Engineering Associations – Power Engineering], 4, 63–74 (in Russian).

6. R o t a c h, V. Ya. (2008) *The Theory of Automatic Control*. Moscow: Publishing House Moscow Power Engineering Institute. 396 p. (in Russian).

7. K u z' m i t s k i y, I. F., & Kulakov, G. T. (2010) *The Theory of Automatic Control*. Minsk: BSTU (Belarusian State Technological University). 574 p. (in Russian).

8. S h i r o k i y, D. K., & Kurilenko, O. D. (1972) *Parameter Computation of Industrial Controlling Systems*. Kiev, Technics. 232 p. (in Russian).

9. S o r o k o, E. M. (2006) *Golden Sections, Processes of Self-Organizing and Evolution in Systems: Introduction into the General Theory of System Harmonizing*. Moscow: KomKniga. 264 p. (in Russian).

10. A i d a n, O'D w y e r. (2009) *Handbook of PI and PID Controller Tuning Rules*. 3rd Edition. Dublin: Institute of Technology; Ireland, Imperial College Press. 529 p.

Представлена кафедрой ТЭС БНТУ

Поступила 07.07.2014

УДК 697.9

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ РЕЖИМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

Доктора техн. наук, профессора ОСИПОВ С. Н., ПИЛИПЕНКО В. М.

ГП «Институт жилища – НИПТИС имени Атаева С. С.»

E-mail: up-niptis@rambler.ru

Повышение комфортности и безопасности жилья – одно из основных требований при капитальном ремонте, реконструкции старых и строительстве новых жилых зданий. Существенным фактором этого является замена источников приготовления бытовой горячей воды с квартирных газовых водонагревателей на общедомовое горячее водо-

снабжение за счет централизованного теплоснабжения. Крайне неравномерное потребление горячей воды жильцами за сутки приводит к необходимости резкого увеличения уровня централизованного теплоснабжения в течение нескольких часов в сутки, что требует существенного повышения тепловой мощности источников. Поэтому предлагается на период кратковременного пикового потребления горячей воды значительную часть (до 50 %) расхода теплоты на централизованное отопление и вентиляцию направить на приготовление горячей воды.

При замене квартирных газовых водонагревателей на общедомовое горячее водоснабжение высвобождается большое количество природного газа, которое можно использовать не только для получения необходимой тепловой, но и электрической энергии. Особенно выгодна такая замена при доставке к жилым районам теплоты от ТЭЦ, где значительная часть теплоты, особенно в относительно теплое время года, выбрасывается в атмосферу. Содержание статьи основано на нескольких полученных ранее патентах.

Ключевые слова: комфортность, безопасность жилья, газовый водонагреватель, капитальный ремонт, реконструкция жилья, горячая вода, отопление и вентиляция, неравномерность теплоснабжения, режим теплоснабжения, ТЭЦ.

Ил. 4. Библиогр.: 12 назв.

ENERGY-EFFICIENT REGIMES FOR HEATING-SUPPLY OF THE RESIDENTIAL BUILDINGS

OSIPOV S. N., PILIPENKO V. M.

Government Enterprise Institute of Habitation – NIPTIS named after Ataev S. S

Rise in comfort and inhabitation safety is one of the main requirements of the general maintenance, reconstruction of the old and construction of the new residential houses. One of the essential factors of it is substitution in the household hot-water preparing sources: from the individual domestic gas water-heaters to the common entire-building hot-water supply at the expense of the centralized heat supply. Extremely erratic hot-water daily consumption by tenants leads to the necessity of sharp increase in central heat-supply level during a few hours of the day, which requires a significant increase of the source heat-power. On that score, the authors propose to direct a significant part (up to 50 %) of the centralized heating and ventilation heat power-consumption to the hot water preparation during the period of short-term hot water consumption peak.

Substitution of the individual domestic gas water-heaters with the common entire-building hot-water supply releases a huge amount of natural gas which can be utilized not only for production of the necessary heat power but as well for electric power producing. This substitution is especially advantageous if heat-power is delivered to the residential area from a HPC where significant part of heat especially in a relatively warm season of the year is thrown out into the air. The content of the article is based on several patents received earlier.

Keywords: comfort, inhabitation safety, gas boiler, general maintenance, housing reconstruction, hot water, heating and ventilation, irregularity of the heating supply, heating-supply regime, HPC.

Fig. 4. Ref.: 12 titles.

Начиная с последней трети XX в. в странах СНГ в связи с резким ростом цен на энергоресурсы проводятся обширные работы по уменьшению трансмиссионных и иных теплопотерь зданий с целью экономии расходов на отопление. Так, проводимая в Республике Беларусь тепловая модернизация зданий позволяет сократить трансмиссионные потери примерно в два раза, что уменьшает общий расход теплоты на отопление на $\approx 30\%$ [1]. Использование канальных теплообменников-рекуператоров «воздух – воздух» [2] позволяет снизить общие тепловые затраты на отопление жилых

зданий еще примерно в два раза, что сокращает общие потери теплоты по сравнению с первоначальными до тепловой реабилитации почти в три раза. Полученную экономию теплоты можно частично направить на теплоснабжение новых зданий, построенных для уплотнения застройки старых микрорайонов и жилых массивов, имеющих внутри застроенных периметров кварталов значительные свободные площади, а также на устройство централизованного горячего водоснабжения вместо квартирных газовых проточных водонагревателей. Такое использование сэкономленной теплоты в системах теплоснабжения со значительной долей теплофикационного режима ТЭЦ позволяет оправдать существенные затраты на тепловую модернизацию зданий и использование квартирных теплообменников «воздух – воздух». При замене одного газового водонагревателя на централизованное горячее водоснабжение в соответствии с п. 6.3 СНБ 4.03.01–98 годовой расход природного газа уменьшается на 150 м^3 (с 250 до 100 м^3 на приготовление пищи). Поэтому в связи с постоянным ростом стоимости газа, особенно интенсивным (почти в четыре раза) в период 2007–2012 гг., повышение эффективности использования теплофикационного режима ТЭЦ путем замены газовых проточных водонагревателей может иметь особое значение для увеличения устойчивости энергосбережения жилого сектора. Кроме того, переход на централизованное горячее водоснабжение существенно повышает уровень безопасности жизнедеятельности людей, так как с каждым годом количество смертельных случаев при использовании газовых проточных водонагревателей увеличивается.

Существенную экономию теплоты при реконструкции теплоснабжения здания можно получить при уменьшении уровня теплопотребления на отопление в результате тепловой модернизации и применения теплообменников-рекуператоров «воздух – воздух», в случае перевода нагрева бытовой горячей воды с газовых проточных водонагревателей на централизованную домовую систему горячего водоснабжения, работающую от общей сети теплоснабжения. При этом в системе газоснабжения города в соответствии с укрупненным нормативом СНБ 4.03.01–98 (п. 6.3) высвобождается $150 \text{ м}^3/\text{год}$ природного газа на одного человека, горячее водоснабжение которого централизовано за счет теплоснабжения.

В качестве примера можно привести результаты расчетов для старого городского жилого массива с домами, оборудованными газовыми проточными водонагревателями, где проживают 16045 человек [3, с. 221, табл. 4.2]. Для такого жилого массива расход теплоты на отопление Q_t в зависимости от наружной температуры t_n графически представлен линией 1 на рис. 1, а линией 2 – расход теплоты на вентиляцию общественных зданий, который достаточно мал. Общий расход теплоты на отопление и вентиляцию жилого района до тепловой модернизации изображен линией 3. После тепловой модернизации всех зданий расход теплоты на отопление уменьшился примерно на 30–35 % [1], что представлено пунктирной линией 4. В случае повсеместного применения теплообменников-рекуператоров «воздух – воздух» расход теплоты на отопление уменьшается примерно в два раза [2] от уровня теплопотребления после тепловой модернизации (рис. 1, линия 5).

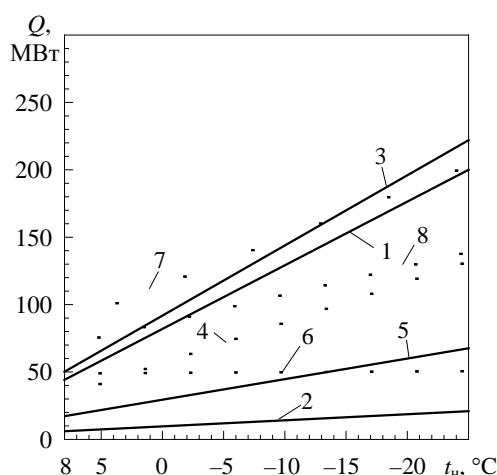


Рис. 1. Зависимость расхода теплоты на отопление от наружной температуры

Как показывают расчеты, приведенные в [3, с. 222], средний расход теплоты на централизованное горячее водоснабжение жилого района составляет $Q_t = 50$ МВт (рис. 1, линия 6), и общая замена всех газовых проточных водонагревателей на централизованное горячее водоснабжение прибавляет эту величину к общему централизованному теплоснабжению (линия 7 – в случае только тепловой модернизации всех зданий и линия 8 – в случае тепловой модернизации зданий и повсеместного использования в жилом секторе теплообменников-рекуператоров «воздух – воздух»). Если принять в качестве начальной границы использования пиковых источников теплоты -2 °C ($Q = 100$ МВт), то из сравнения линий 3 и 7 на рис. 1 видно, что необходимая мощность пиковых источников остается примерно прежней и не требует какой-либо перестройки. При этом вся необходимая тепловая мощность до 100 МВт получается за счет теплофикационного режима в течение всего года, кроме небольшого (две недели) периода профилактического ремонта теплосети. Таким образом, перевод старых жилых зданий после тепловой модернизации с газовых проточных водонагревателей на централизованное горячее водоснабжение позволяет без каких-либо переделок использовать имеющуюся систему теплоснабжения и за счет теплого периода года (для условий г. Минска – около 160 суток) расширить использование теплофикационного периода работы ТЭЦ.

В случае, когда кроме тепловой модернизации квартиры оборудуются теплообменниками-рекуператорами «воздух–воздух», а газовые проточные водонагреватели заменяются системой централизованного горячего водоснабжения, общее потребление теплоты заметно уменьшается (рис. 1, линия 8), что позволяет использовать пиковые источники теплоты только при наружной температуре $t_n < -7$ °C и существенно экономит топливо. При этом доля теплофикационной теплоты ТЭЦ увеличивается, что уменьшает расход топлива на отопление и горячее теплоснабжение старых жилых массивов в результате модернизации. Кроме того, на 16045 жителей высвобождается средний расход газа около 2,4 млн м³/год.

В связи с резким (примерно в три раза) уменьшением расхода теплоты на отопление жилых помещений после их тепловой модернизации и рекуперации воздуха ранее установленные обогревательные приборы (радиаторы, конвекторы и т. п.) обладают явно излишней греющей способностью,

что требует либо их замены, либо резкого изменения параметров внутридомового теплоносителя. Однако этот вопрос не однозначен, так как такие условия создают возможности корректировки температуры прямой сетевой воды до величины, при которой не требуется использование пиковых источников теплоты, а достаточно температуры воды теплофикационного цикла ТЭЦ. На рисунке [4, с. 52] представлены графики изменения температур наружного воздуха $t_{нар}$ (рис. 2а), процентной доли тепловой нагрузки Q (рис. 2б) и температуры прямой $t_{пс}$ и обратной $t_{ос}$ сетевой воды от годовой продолжительности теплоснабжения для условий г. Минска. С ростом стоимости топлива оптимальные значения коэффициентов теплофикации $\alpha_{тэц}$ будут возрастать, так как при теплофикации наиболее полно используется скрытая теплота парообразования воды. Поэтому представляется целесообразным снизить температуру прямой сетевой воды даже для пиковой наружной температуры ($t_{нар} = -25\text{ }^{\circ}\text{C}$) до 95–100 $^{\circ}\text{C}$ и отказаться от использования пиковых источников теплоты, непосредственно расходующих топливо, и осуществлять теплоснабжение жилого района за счет теплофикационного режима ТЭЦ.

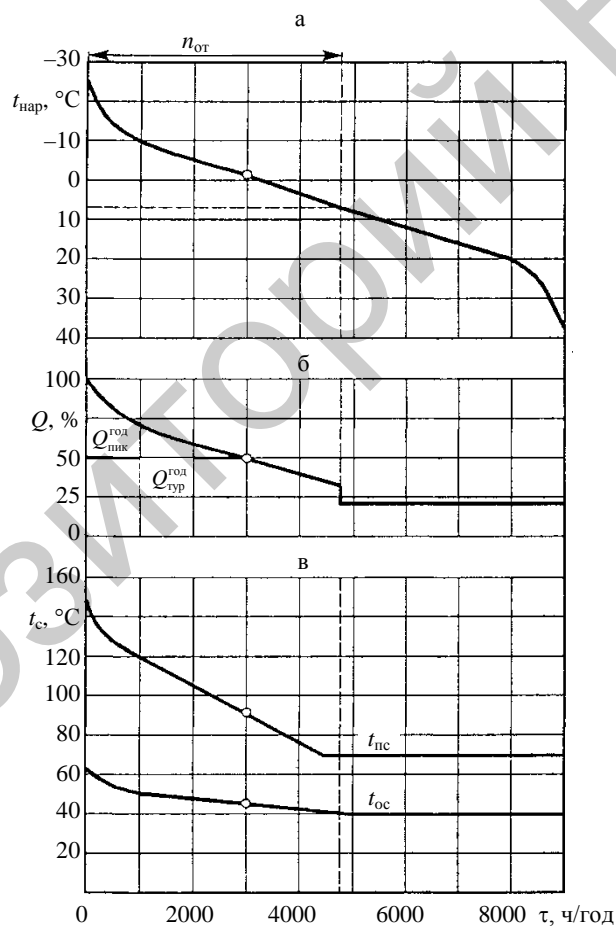


Рис. 2. Типичные годовые графики: а – температура наружного воздуха; б – тепловая нагрузка; в – температура сетевой воды; $Q_{тур}^{год}$, $Q_{пик}^{год}$ – годовой отпуск теплоты от турбины и пикового источника; $t_{пс}$, $t_{ос}$ – температура прямой и обратной сетевой воды; n – годовая продолжительность; $n_{от}$ – отопительный период; о – расчетная предельная точка отборов пара турбины ($\alpha_{тэц}^{час} = 0,5$, где $\alpha_{тэц}^{час}$ – коэффициент часовой теплофикации)

В качестве примера эффективности использования теплофикационного режима ТЭЦ по сравнению с конденсационным можно привести результаты исследований В. К. Балабановича [5, с. 156], который определил, что средний удельный расход топлива на турбоустановку типа Т Минской ТЭЦ-2 составляет 240 г у. т./(кВт·ч) (энергетический КПД $\approx 45,5$ %), а это означает выработку основной части электроэнергии с теплофикационной теплотой с общим удельным расходом топлива 150 г у. т./(кВт·ч) (энергетический КПД ≈ 82 %) и остальной электроэнергии по конденсационному циклу с удельным расходом топлива в 800–1200 г у. т./(кВт·ч) (энергетический КПД ≈ 15 %).

Необходимо отметить, что переход на централизованное горячее водоснабжение позволяет понизить температуру обратной сетевой воды до 20–30 °С. В последние годы в бытовом электропотреблении произошли существенные изменения. С одной стороны, электропотребление отдельных новых электроприборов (телевизоры, холодильники и др.) несколько уменьшилось в связи с более высоким КПД, но с другой – установленные мощности и ассортимент бытовых электроприборов резко увеличились, что в целом привело к росту пиковых значений электропотребления, особенно в отдельные часы выходных и праздничных дней. Поэтому существующие системы электроснабжения реконструируемых жилых массивов и микрорайонов также нуждаются в серьезной и дорогостоящей реконструкции.

Учитывая высвобождение значительного количества природного газа (около 2,4 млн м³/год на 16000 жителей) в результате перевода горячего водоснабжения с проточных газовых водонагревателей на централизованную систему теплоснабжения, представляется возможным использовать этот газ на локальную выработку электро- и даже тепловой энергии, особенно в периоды максимумов энергопотребления. Разработанные в последние годы блочные мини-ТЭЦ и газопоршневые установки позволяют в автоматическом режиме производить электроэнергию и теплоту в непосредственной близости от потребителей с высоким КПД, что делает их выгодными для покрытия пиковых электрических нагрузок в реконструируемых микрорайонах. Для этих условий особое значение имеют не столько средние величины высвобожденных объемов газа, сколько расчетные значения расходов газа, на которые рассчитана существующая распределительная системы газоснабжения.

Как пример уменьшения расчетного расхода газа при переводе горячего водоснабжения с газовых проточных водонагревателей на централизованное теплоснабжение можно привести расчеты для 60-квартирного 5-этажного дома, оборудованного 4-конфорочными газовыми плитами для приготовления пищи с расчетным расходом газа $q_{п} = 1,1$ м³/ч и газовыми проточными водонагревателями с расчетным расходом газа $q_{в} = 2,1$ м³/ч. Тогда с учетом величины коэффициента одновременности в соответствии с СНБ 4.03.01–98 (приложение В, с. 79) для 4-конфорочных плит с проточными водонагревателями с $K_{п+в} = 0,203$ и для 4-конфорочных плит с $K_{п} = 0,220$ расчетные расходы газа составят: $q_{п+в} = 60 \cdot 0,203 (1,1 + 2,1) = 39$ м³/ч и $q_{п} = 60 \cdot 0,220 \cdot 1,1 = 14,6$ м³/ч, что примерно в 2,7 раза меньше. Таким образом, в наиболее напряженные периоды энергопотребления

только за счет одного 60-квартирного дома для мини-ТЭЦ высвобождается около $34,4 \text{ м}^3/\text{ч}$ природного газа, из которых можно выработать около 100–120 кВт электроэнергии и значительное количество теплоты.

Многие жилые здания, включая пятиэтажные старых жилых районов, оборудованы газовыми проточными водонагревателями, которые недостаточно безопасны и потребляют много природного газа (согласно п. 6.3 СНБ 4.03.01–98, в среднем в 1,5 раза больше, чем на приготовление пищи, и максимально примерно в два раза больше по сравнению с 4-конфорочной газовой плитой). Эти здания необходимо при модернизации или реконструкции переводить на централизованное горячее водоснабжение. При этом также высвобождаются значительные расчетные расходы газа, что позволяет обеспечить газом надстроенные части старых жилых зданий и новые жилые здания без повышения пропускной способности существующей газораспределительной сети. Однако высокая неравномерность потребления горячей воды создает известные трудности, что требует нетривиального решения.

Общепринятым способом определения расчетных расходов горячей воды и теплоты [6] рекомендуется отдельно рассчитывать графики подачи теплоты на отопление в зависимости от параметров наружной атмосферы и на горячее водоснабжение в зависимости от времени суток, а также график расхода воды по часам суток. При этом учитываются потери теплоты подающими теплопроводами. Однако регулирование расхода теплоты на отопление и горячее водоснабжение выполняется отдельно и независимо. Если изменение подачи теплоты на отопление производится сравнительно медленно в соответствии с изменением температуры наружного воздуха, то изменение подачи теплоты на горячее водоснабжение может быть очень резким, например в зоне прихода новых суток (24 ч), где расход теплоты [6, с. 178, рис. 3.4] может в 3,3 раза (с $2,77 \cdot 10^5$ до $0,83 \cdot 10^3$ кДж/ч) и более превышать средний уровень.

При расчете теплопотребления квартала [6, с. 221, табл. 4.2] максимальные расходы теплоты на отопление и средние для горячего водоснабжения в климатических условиях г. Минска составляют соответственно около 70 и 30 %. Для отдельных жилых зданий это соотношение может достигать 50 и 50 %, а коэффициент неравномерности теплопотребления на горячее водоснабжение в течение суток быть равным 2,5 и более. Поэтому расчетное максимальное общее теплопотребление жилого здания может быть значительно (на 20–30 %) больше необходимого по климатическому фактору, что является существенным недостатком.

В качестве примера методики расчета можно использовать предложенный в [3] способ совместного регулирования систем отопления и горячего водоснабжения с учетом применения балансового коэффициента $\chi = 1,2$ к среднему уровню расхода теплоты на горячее водоснабжение, основная часть которой должна компенсироваться за счет тепловой инерции зданий. Однако такая компенсация неравномерности, которая характеризуется коэффициентом $K_n = 2-3$, возможно, необходима для жилых зданий старой постройки с массивными стенами из кирпича и железобетонных плит и перекрытий при небольшом термическом сопротивлении ограждающих конструкций ($R \approx 1,0 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$). После же тепловой модернизации зданий

с увеличением термического сопротивления до 2,5–3,5 м²·°C/Вт за счет наружной облицовки теплоизолирующим слоем эта методика расчета не учитывает происходящих изменений, что является недостатком.

Задача реконструкции – это также уменьшение или устранение неравномерности теплопотребления, связанной с неравномерностью расхода теплоты на горячее водоснабжение, повышение эффективности использования преимущества теплофикационного режима ТЭЦ и пропускной способности централизованной наружной распределительной системы теплоснабжения, а также условий применения регулирования подачи теплоты потребителям в зависимости от наружной температуры. Эта задача решается достижением технического результата посредством регулирования подачи теплоты для здания или группы зданий, горячее водоснабжение которых обеспечивается по централизованной схеме теплоснабжения от ТЭЦ. Последнее характеризуется тем, что для каждого здания или группы зданий определяют суммарный максимальный расчетный расход теплоты на отопление и горячее водоснабжение в течение суток как сумму максимального расчетного расхода теплоты на отопление в течение суток и среднесуточного расчетного расхода теплоты на горячее водоснабжение, обеспечивают в зависимости от наружных климатических условий перераспределение расчетного расхода теплоты на отопление и среднесуточного расчетного расхода теплоты на горячее водоснабжение взаимосвязано в зависимости от неравномерности потребления горячей воды в течение суток. При этом осуществляют регулирование распределения расхода теплоты между системами отопления и горячего водоснабжения при сохранении суммарного расчетного расхода теплоты на отопление и горячее водоснабжение не более суммарного максимального расчетного расхода теплоты на отопление и горячее водоснабжение для данного здания или группы зданий, а перераспределение теплоносителя в соответствии с его параметрами из распределительной системы теплоснабжения производится автоматически по сигналам датчиков температур.

При превышении часового расчетного расхода теплоты на горячее водоснабжение по отношению к максимальному расчетному расходу теплоты на отопление в течение суток в соответствии с наружной температурой и к среднесуточному расходу теплоты на горячее водоснабжение регулирование подачи теплоты в здание производят не только по наружной температуре, но и по часам реализации максимального теплопотребления на горячее водоснабжение. Достижение необходимого результата обеспечивается посредством предложенного способа при реконструкции отопления и горячего водоснабжения здания или группы зданий путем подачи расчетного расхода теплоты, который соответствует сумме суточного максимального расчетного расхода теплоты на отопление и среднесуточного расчетного расхода теплоты на горячее водоснабжение.

Учитывая небольшую (около 4 ч – с 20 до 24 ч [6, с. 178, рис. 3.4]) продолжительность максимального теплопотребления на горячее водоснабжение, для уменьшения общей пиковой нагрузки предлагается в период стояния наружных низких температур ограничить общее теплопотребление здания суммарным значением максимального в течение данных суток расхода теплоты Q_T на отопление в соответствии с температурой наружного

воздуха и среднесуточным расходом теплоты на горячее водоснабжение в соответствии с выражением

$$\Sigma Q_{\max} = Q_{\text{т}} + Q_{\text{г}}, \quad (1)$$

где ΣQ_{\max} – суммарный максимальный расчетный расход теплоты на отопление и горячее водоснабжение; $Q_{\text{т}}$ – расчетный расход теплоты на отопление в течение суток, кДж/ч; $Q_{\text{г}}$ – среднесуточный расход теплоты на горячее водоснабжение, кДж/ч.

При этом временные колебания теплоснабжения выше среднесуточного на горячее водоснабжение и компенсируются за счет снижения подачи теплоты на отопление, что с учетом тепловой инерции здания может приводить к временному снижению температуры внутреннего воздуха на 1–2 °С. Зато в периоды пониженного теплоснабжения на горячее водоснабжение продолжается подача теплоты ΣQ_{\max} , но с увеличением подачи теплоты в систему отопления, что приводит к плавному повышению температуры внутреннего воздуха на 1–2 °С от среднего расчетного уровня и вполне допустимо с точки зрения физиологии человека. При этом перераспределение теплоносителя в соответствии с его параметрами из распределительной системы теплоснабжения должно производиться автоматически по сигналам датчиков температур по специальной программе.

При

$$\Sigma Q_{\text{г.макс}} > Q_{\text{т}} + Q_{\text{г}} + Q_{\text{в}}, \quad (2)$$

где $Q_{\text{г.макс}}$ – максимальный часовой расход теплоты на горячее водоснабжение, кДж/ч; $Q_{\text{в}}$ – расчетный расход теплоты на вентиляцию для общественных зданий, кДж/ч, регулирование подачи теплоты в здание, жилой массив или район производят не только по наружной температуре, но и по часам приведенного условия, а при отсутствии отопления в теплый период года – по суточному графику потребления горячей воды.

Сущность предлагаемой методики управления режимом теплоснабжения поясняется рис. 3, 4, на которых приведены графики потребления теплоты микрорайоном г. Минска (рис. 3) при различных наружных температурах воздуха, где проживают 16045 человек, и 36-квартирным домом (почасовые графики на рис. 4).

В качестве примера можно использовать результаты расчетов, приведенных в [3, рис. 4.2] для старого района города с климатологическими данными г. Минска, максимально потребляющего на отопление и вентиляцию жилых зданий $Q_{\text{т.макс}} = 200$ МВт, на вентиляцию общественных зданий $Q_{\text{в.макс}} = 20$ МВт и на горячее водоснабжение в среднем $Q_{\text{г.макс}} = 50$ МВт. Графики часовых расходов теплоты жилым микрорайоном в зависимости от наружной температуры $t_{\text{н}}$ приведены на рис. 3, где 1 – средний расход теплоты на горячее водоснабжение; 2 – максимальный расход теплоты на горячее водоснабжение при наружной температуре; 3 – расход теплоты на вентиляцию общественных зданий; 4, 6, 8 – то же на отопление и вентиляцию жилых зданий соответственно до и после тепловой модернизации всех зданий и использования теплообменников-рекуператоров «воздух – воздух»; 5 – общий расход теплоты ΣQ на отопление, вентиляцию

и горячее водоснабжение до тепловой модернизации; 7 – то же после тепловой модернизации; 9 – то же после установки теплообменников-рекуператоров «воздух – воздух»; 10 – максимальный расход теплоты на горячее водоснабжение при $t_n = -2^\circ\text{C}$; 11 – максимальный уровень расхода теплоты на горячее водоснабжение с учетом $Q_{г.макс} = 2,5 Q_{г.ср}$.

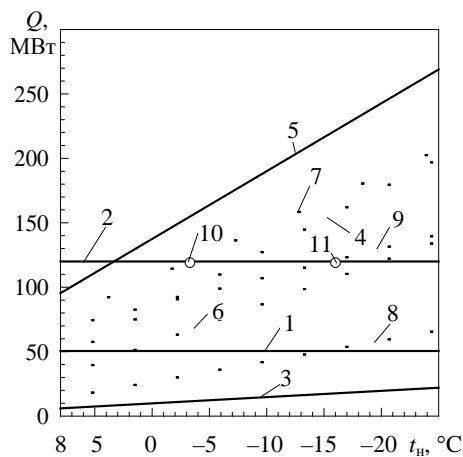


Рис. 3. Графики часовых расходов теплоты жилым микрорайоном в зависимости от t_n

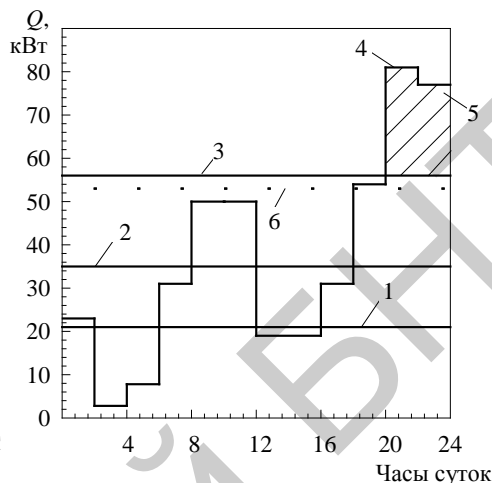


Рис. 4. График почасового суточного потребления теплоты на приготовление горячей воды 36-квартирным жилым домом

Как видно из рис. 3, в случае тепловой модернизации зданий с уменьшением расхода теплоты на 30–35 % (линия 6) общий расход теплоты (линия 7) сравняется с максимальным расходом теплоты на горячее водоснабжение при наружной температуре $t_n \approx (-2)^\circ\text{C}$ (точка 10, линия 2). При оборудовании квартир теплообменниками-утилизаторами и дальнейшем снижении расхода теплоты на отопление и вентиляцию еще на 30–35 % (линия 9) от первоначального уровня до тепловой модернизации общий расход теплоты на отопление и вентиляцию жилых зданий, горячее водоснабжение и вентиляцию общественных зданий пересечет максимальный уровень расхода теплоты на горячее водоснабжение с учетом $Q_{г.макс} = 2,5 Q_{г.ср}$ в точке 11 при $t_n \approx -14^\circ\text{C}$.

Следовательно, при тепловой модернизации только ограждающих конструкций, начиная с наружной температуры $t_n < -2^\circ\text{C}$, необходимо регулирование подачи теплоты не только от t_n , но и почасовое регулирование, при котором максимальный часовой уровень расхода теплоты определяется пиком потребления на горячее водоснабжение при условии временного сокращения расхода теплоты на отопление в виде

$$\Sigma Q_{\max} = Q_{г.макс} = Q_{г} + Q_{г} + Q_{в}. \quad (3)$$

При применении теплообменников-рекуператоров «воздух – воздух», когда расход теплоты на отопление изменяется по линии 8 (рис. 3), а общий расход теплоты – по линии 9, почасовое регулирование необходи-

мо уже при $t_n < -14$ °С (точка 11). Как показывает анализ расчетов, графически приведенных на рис. 3, при выполнении тепловой модернизации всех зданий и повсеместном использовании теплообменников-рекуператоров «воздух – воздух» максимальный общий расход теплоты можно уменьшить с 270 МВт (рис. 3, линия 7) до 135 МВт, т. е. в два раза. При этом в случае $t_n = 8$ °С минимальный общий расход теплоты можно уменьшить со 100 до 65 МВт, т. е. уже только на 35 %, что будет следствием влияния постоянства среднего расхода теплоты на горячее водоснабжение.

График возможного почасового регулирования расхода теплоты на горячее водоснабжение 36-квартирным жилым домом представлен на рис. 4 [3, рис. 3.4]. Для старого жилого массива с домами, оборудованными газовыми проточными водонагревателями, при начальном максимальном расходе теплоты на отопление 200 МВт после тепловой модернизации и повсеместного применения поквартирных теплообменников-рекуператоров «воздух – воздух» максимальный расход теплоты на отопление составит около 70 МВт. Если все газовые водонагреватели заменить системой централизованного горячего водоснабжения, то максимальный среднесуточный расход теплоты составит 140 МВт, т. е. около 70 % от первоначального уровня энергопотребления (200 МВт). При использовании этого предложения общий максимальный расход теплоты будет примерно 115 МВт, что уже составляет 60 % от первоначального уровня и позволяет за счет тех же тепловых мощностей источников от распределительной системы централизованного теплоснабжения обеспечить теплотой 65 % новых дополнительных площадей, созданных при реконструкции старых зданий и строительстве новых. При этом даже с учетом установки новых газовых плит для пищевого приготовления может быть получена экономия 30 % расхода природного газа на бытовые нужды.

Используя данные графика расхода теплоты на отопление и горячее водоснабжение 36-квартирного дома при наружной температуре $t_n \approx 0$ °С, расход теплоты на отопление и вентиляцию здания после тепловой модернизации и установки квартирных теплообменников-рекуператоров «воздух – воздух» составляет $Q = 21$ кВт (рис. 4, линия 1), а средний за сутки расход теплоты на горячее водоснабжение $Q_{г.ср} \approx 35$ кВт (линия 2). Отсюда суммарный средний расход теплоты $\Sigma Q_{ср} = 21 + 35 = 56$ кВт (линия 3). Максимальный расход теплоты на горячее водоснабжение с 20 до 22 ч составляет примерно $Q_{г.макс} \approx 81$ кВт (линия 4), что соответствует коэффициенту неравномерности 2,3.

Как видно из рис. 4, в пиковом режиме с 20 до 24 ч необходимый уровень теплоснабжения дома из-за максимального потребления горячей воды значительно (в $81 : 56 = 1,45$ раза), даже без учета отопления, превышает общий средний уровень теплоснабжения. Поэтому в данном случае даже при полном использовании тепловой аккумулирующей способности здания подачи среднего общего количества теплоты на горячее водоснабжение явно недостаточно, и температура горячей воды станет гораздо ниже нормативной (55 °С), что вызовет справедливые претензии потребителей. Поэтому с 20 до 24 ч необходимо подать повышенное количества теплоты (81 кВт) должного качества (температуры). Следовательно, режим тепло-

снабжения жилого массива или микрорайона должен иметь возможность почасового регулирования (в основном качественного за счет повышения температуры горячего теплоносителя), при котором весь горячий теплоноситель используется на приготовление горячей воды. Однако подача дополнительного теплоносителя к среднему общему расходу теплоты за период с 20 до 24 ч повышает общий тепловой баланс за сутки. Поэтому среднечасовой расход теплоты на отопление и горячее водоснабжение можно уменьшить на 3–4 кВт, и он составит около 53 кВт (линия б). При таком режиме потребления теплоты в качестве регулирующего параметра (сигнала) удобнее использовать не температурный, а тепловой (расход теплоты) показатель. В теплый период, когда отсутствует отопление, регулирование подачи теплоты следует производить в соответствии с почасовым графиком потребления горячей воды.

Необходимо отметить, что изложенные в статье способы выбора энергоэффективных режимов теплоснабжения были запатентованы авторами в 2007–2010 гг. [7–10]. Проведенные в последние годы исследования показали [11, 12], что уменьшение подачи теплоты на отопление жилых помещений на 4 ч, например с 20 до 24 ч каждые сутки в период максимального потребления горячей воды (рис. 4), вполне допустимо. Как следует из [11, с. 41], снижение до 40 % подводимой к системам отопления жилых зданий тепловой мощности в течение диапазона времени до 6 ч не приводит к значительным колебаниям температуры воздуха жилых помещений.

В самый напряженный зимний отопительный период (декабрь – январь – февраль) года средние суточные амплитуды температуры наружного воздуха в условиях Беларуси составляют [12, с. 84] 4,5–7,0 °С, что значительно меньше по сравнению с летом (10,1–11,1 °С). Однако в зимний период водопроводная вода имеет температуру 5–7 °С по сравнению с летним периодом, когда эта вода прогревается до 15–17 °С, т. е. выше примерно на 10 °С, что при ее нагревании до 55 °С (температура горячей воды) требует затраты теплоты на 20 % больше. Поэтому в зимний отопительный период в связи со стыковкой периодов максимального потребления горячей воды и минимальной температуры наружного воздуха суточное повышение подачи теплоты до планового максимума следует производить хотя бы с 19 ч, т. е. с некоторым опережением.

ВЫВОДЫ

1. Для обеспечения энергоэффективного режима теплоснабжения жилого здания необходимо предусматривать возможность хотя бы почасового регулирования подачи теплоты определенного качества.

2. В связи с резким ростом стоимости энергетических ресурсов и необходимостью более полного использования ресурсов теплофикационного режима ТЭЦ представляется целесообразным некоторое снижение температуры горячего теплоносителя и соответствующее повышение теплоотдачи отопительных приборов, благодаря чему снижается температура обратного потока теплоносителя, что повышает эффективность теплофикационного режима ТЭЦ.

3. Предлагаемые меры по теплоснабжению могут существенно уменьшить стоимость реконструкции и дополнительной застройки старых жилых массивов и микрорайонов, а также дать существенную экономию энергоносителей и теплогенерирующих мощностей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пилипенко, В. М. О преобразовании пятиэтажной жилой застройки / В. М. Пилипенко // Решение проблем вентиляции и отопления при строительстве, модернизации и реконструкции зданий: сб. – Минск: ГП «Институт НИПТИС», 2000. – С. 4–10.
2. Данилевский, А. Н. Исследования эффективности канальных теплообменников-рекуператоров «воздух–воздух» / А. Н. Данилевский, В. И. Таурогинский // Строительная наука и техника. – 2006. – № 4 (7). – С. 36–41.
3. Теплоснабжение и вентиляция / Б. М. Хрусталеv [и др.]. – Минск: Дизайн ПРО, 1997. – С. 384.
4. Яковлев, Б. В. Повышение эффективности систем теплофикации и теплоснабжения / Б. В. Яковлев. – Минск: Адукацыя, 2002. – 448 с.
5. Балабанович, В. К. Совершенствование схем и режимов работы теплофикационных паротурбинных установок / В. К. Балабанович. – Минск: ПолиБиг, 2000. – 188 с.
6. Соколов, Е. Я. Теплофикация и тепловые сети / Е. Я. Соколов. – М.: МЭИ, 2001. – 472 с.
7. Способ реконструкции системы энергоснабжения здания, оборудованного газовыми проточными нагревателями: пат. 13140 Респ. Беларусь: МПК F17D 1/00, G05D 16/00 (2009) / С. Н. Осипов, В. М. Пилипенко; дата публ.: 30.04.2010.
8. Способ реконструкции системы энергоснабжения здания: пат. № 012946 Евразийского патентного ведомства: МПК F24D 10/00, F24D 3/00 / С. Н. Осипов, В. М. Пилипенко; дата публ.: 26.02.2010.
9. Способ регулирования подачи теплоты в здание или группу зданий: пат. 16152 Респ. Беларусь: МПК F24D 10/00, F24D 3/00 / В. М. Пилипенко, С. Н. Осипов; дата публ.: 30.03.2012.
10. Способ регулирования подачи теплоты в здание или группу зданий: пат. № 16774 Респ. Беларусь: МПК F24D 10/00, F24D 3/00 / В. М. Пилипенко, С. Н. Осипов; дата публ.: 28.02.2013.
11. Допустимые пределы корректировки отопительной нагрузки при оптимизации режимов работы теплоисточников / П. И. Дячек [и др.] // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2014. – № 1. – С. 34–41.
12. Акельев, В. Д. Тепловой режим в отапливаемых помещениях при заданном изменении температуры наружного воздуха / В. Д. Акельев, Н. П. Воронова, М. Ф. Костевич // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2014. – № 2. – С. 79–85.

REFERENCES

1. Piliipenko, V. M. (2000) On Transformation of Five-Story Residential Housing. *Solving Problems of Ventilation and Heating in the Construction, Modernization and Reconstruction of the Buildings. Collection*. Minsk: State Enterprise "Institute NIPTIS", 4–10 (in Russian).
2. Danilevskiy, A. N., & Tauroginskiy, V. I. (2006) Efficiency Study of the Air-Air Canal Heat-Exchanging Units. *Stroitel'naya Nauka i Tekhnika* [Construction Science and Technology], 4 (7), 36–41 (in Russian).
3. Khrustalev, B. M., Kopko, V. M., Piliushenko, V. P., Arutiunian, A. A., Bazylenko, G. I., Zaitseva, N. K., Kurpan, M. I., Reutskii, I. I., Sen'kevich, E. A., & Sychev, A. T. (1997) *Heating Supply and Ventilation*. Minsk, Design PRO. 384 p. (in Russian).
4. Yakovlev, B. V. (2002) *Efficiency Upgrading in the Systems of District Heating and Heat Supply*. Minsk, Adukatsiya. 448 p. (in Russian).
5. Balabanovich, V. K. (2000) *Refinement of the Schemes and Operating Regimes of District-Heating Steam-Turbine Plants*. Minsk, PolyBig. 188 p. (in Russian).
6. Sokolov, E. Ya. (2001) *District Heating and Heat-Supply Network*. Moscow: MPEI (Moscow Power Engineering Institute). 472 p. (in Russian).

7. O s i p o v, S. N., & Pilipenko, V. M. (2010) Reconstruction Method for Power Supply System of the Building, Equipped with Continuous Gas Heaters. Patent Republic of Belarus No 13140 (in Russian).

8. O s i p o v, S. N., & Pilipenko, V. M. (2010) Reconstruction Method for Power Supply System of the Building. Patent of Eurasian Patent Office No 012946 (in Russian).

9. P i l i p e n k o, V. M., & Osipov, S. N. (2012) Adjustment Method for Heat Supply into a Building or a Group of Buildings. Patent Republic of Belarus No 16152 (in Russian).

10. P i l i p e n k o, V. M., & Osipov, S. N. (2013) Adjustment Method for Heat Supply into a Building or a Group of Buildings. Patent Republic of Belarus No 16774 (in Russian).

11. D i a c h e k, P. I., Sednin, V. A., Zakharevich, A. E., & Shkliar, I. V. (2014) Heating-Load Adjustment Tolerance for Optimizing Operating Regimes of the Heat Sources. *Izvestiia Vysshikh Uchebnykh Zavedenii i Energeticheskikh Ob'edinenii – Energetika* [Proceedings of the Higher Education Institutions and Power Engineering Associations – Power Engineering], 1, 34–41 (in Russian).

12. A k e l' e v, V. D., Voronova, N. P., & Kostevich, M. F. (2014) Thermal Conditions in Heated Accommodation with Specific Change of the Outside Air Temperature. *Izvestiia Vysshikh Uchebnykh Zavedenii i Energeticheskikh Ob'edinenii – Energetika* [Proceedings of the Higher Education Institutions and Power Engineering Associations – Power Engineering], 2, 79–85 (in Russian).

Поступила 30.10.2014

УДК 621.311.22

**ВЫБОР НАПРАВЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО
ПЕРЕООРУЖЕНИЯ ГАЗОМАЗУТНЫХ БЛОКОВ
МОЩНОСТЬЮ 300 МВт
ТЭС СТРАН ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОГО РЕГИОНА**

Канд. техн. наук НЕУЙМИН В. М.

ООО «НПО «Энергобезопасность» и ООО «ТСЗП» (Россия)

E-mail: neva333@yandex.ru

Представлен анализ вариантов обновления газомазутных энергоблоков мощностью 300 МВт (замещение паросиловых энергоблоков на энергоблоки с парогазовыми установками, техническое перевооружение энергоблоков путем реконструкции или модернизации паровой турбины, осуществление замены паровой турбины на аналогичную новую турбину, продление срока службы находящегося в эксплуатации оборудования). Варианты обновления энергоблоков указанного типа на ТЭС России могут базироваться на различных технических решениях, основанием для выбора которых должны служить средне- и долгосрочная перспективы структуры их топливного баланса (природный газ, синтез-газ, мазут, пылеугольное топливо, включая обогащенный уголь и отходы производства углеобогащения), выставляемые ОАО «СО ЕЭС» требования по участию энергоблоков в регулировании частоты и перетоков мощности, развитие в стране распределенной генерации и связанные с этим перспективы использования установленной мощности реконструированных ТЭС в соответствующих узлах энергосистемы, развитие смежных отраслей экономики страны, темпы освоения экологически