

DOI: 1021122/1029-7448-2016-59-3-272–284

УДК 697.9

## **О реальной оценке энергоэффективности жизнеобеспечения жилых зданий при централизованной системе теплоснабжения**

**С. Н. Осипов<sup>1)</sup>**

<sup>1)</sup>ГП «Институт жилища – НИПТИС имени Атаева С. С.» (Минск, Республика Беларусь)

© Белорусский национальный технический университет, 2016  
Belarusian National Technical University, 2016

**Реферат.** В соответствии с Директивой Президента Республики Беларусь от 14 июня 2007 г. № 3 «Экономия и бережливость – главные факторы экономической безопасности Республики Беларусь» экономия топливно-энергетических ресурсов по республике в 2010–2015 гг. должна составить 7,1–8,9 млн т у. т., в том числе 1,00–1,25 млн т у. т. за счет оптимизации теплоснабжения и 0,25–0,40 млн т у. т. за счет увеличения термосопротивления ограждающих конструкций зданий, сооружений и жилищного фонда. Таким образом, если в процессе оптимизации теплоснабжения ожидается получение примерно 18 % общей экономии тепловых ресурсов, то за счет увеличения термосопротивления ограждающих конструкций зданий и сооружений различного назначения – только около 3–5 %, а жилищного фонда – даже несколько меньше. До 1994 г. в жилищном секторе Республики Беларусь годовой расход теплоты на отопление и вентиляцию в среднем составлял 130 кВт·ч/(м<sup>2</sup>·год) (~56 %), на горячее водоснабжение – около 100 кВт·ч/(м<sup>2</sup>·год) (~44 %). В жилых зданиях, построенных с 1994 по 2009 г., потребление теплоты на отопление и вентиляцию уже составляет 90 кВт·ч/(м<sup>2</sup>·год), на горячее водоснабжение – примерно 70 кВт·ч/(м<sup>2</sup>·год). В зданиях современной массовой постройки на отопление и вентиляцию затрачивается 60 кВт·ч/(м<sup>2</sup>·год) (~46 %), на горячее водоснабжение – примерно 70 кВт·ч/(м<sup>2</sup>·год) (~54 %). В отдельных современных жилых зданиях с утилизацией вторичных энергоресурсов удаляемого теплого воздуха на отопление и вентиляцию приходится около 30–40 кВт·ч/(м<sup>2</sup>·год) теплоты. Повышение энергоэффективности жилых зданий за счет уменьшения затрат теплоты на отопление и вентиляцию – последнее звено в системе экономии энергоресурсов. Первыми звеньями в процессе энергоэффективности являются получение теплоты и ее транспортирование по магистральным и наружным распределительным сетям. Благодаря оптимизации схем теплоснабжения и модернизации тепловых сетей с использованием дорогих (200–300 дол. США за 1 м), но весьма эффективных предварительно изолированных труб с 2006 по 2013 г. получена экономия 2,7 млн т у. т. Общие потери тепловой энергии в коммунальном хозяйстве Беларуси в марте 2014 г. составили 17 %, в то время как в 2001 г. они были на уровне 26 %, а в 1990-м – более 30 %. С учетом многоступенчатости и многофакторности (электричество, тепло- и водоснабжение) энергосбережения жилищного сектора реальная оценка энергоэффективности жизнеобеспечения жилых зданий должна производиться в тоннах условного топлива в единицу времени.

**Ключевые слова:** энергоэффективность, энергетические потери, производство, распределение, транспортирование, топливо, теплота сгорания

**Для цитирования:** Осипов, С. Н. О реальной оценке энергоэффективности жизнеобеспечения жилых зданий при централизованной системе теплоснабжения / С. Н. Осипов // *Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ*. 2016. Т. 59, № 3. С. 272–284

---

**Адрес для переписки**  
Осипов Сергей Николаевич  
ГП «Институт жилища – НИПТИС  
имени Атаева С. С.»  
ул. Ф. Скорины, 15,  
220114, г. Минск, Республика Беларусь  
Тел.: +375 17 263-81-91  
up-niptis@rambler.ru

**Address for correspondence**  
Osipov Sergey N.  
Government Enterprise “Institute of Habitation –  
NIPTIS named after Ataev S. S.”  
15 F. Skorina str.,  
220114, Minsk, Republic of Belarus  
Tel.: +375 17 263-81-91  
up-niptis@rambler.ru

---

## On Reasonable Estimate of Energy Performance of the Residential Buildings Sustainance with Centralized Heat-Supply System

S. N. Osipov<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Government Enterprise “Institute of Habitation – NIPTIS named after Ataev S. S.”  
(Minsk, Republic of Belarus)

**Abstract.** As consisted with Directive No 3 of President of the Republic of Belarus of June, 14<sup>th</sup> 2007 ‘Economy and Husbandry – the Major Factors of Economic Security of the Republic of Belarus’, saving fuel-and-energy resources over the republic in 2010–2015 should amount to 7,1–8,9 MIO tons of fuel equivalent including 1,00–1,25 MIO tons of fuel equivalent at the expense of heat-supply optimization and 0,25–0,40 MIO tons of fuel equivalent at the expense of increasing enclosing structures heat resistance of the buildings, facilities and housing stock. It means, where it is expected to obtain around 18 % of general thermal resources economy in the process of heat-supply optimization, then by means of enhancing the cladding structure heat resistance of the buildings and constructions of various applications – only about 3–5 % and even a bit less so of the housing stock. Till 1994, in residential sector of the Republic of Belarus, the annual heat consumption of the heating and ventilation averaged more than 130 kW·h/(m<sup>2</sup>·year) (~56 %), of the hot-water supply – around 100 kW·h/(m<sup>2</sup>·year) (~44 %). In residential houses, built from 1994 to 2009, heat consumption of the heating and ventilation is already 90 kW·h/(m<sup>2</sup>·year), of the hot-water supply – around 70 kW·h/(m<sup>2</sup>·year). In buildings of modern mainstream construction, they expend 60 kW·h/(m<sup>2</sup>·year) (~46 %) on heating and ventilation and 70 kW·h/(m<sup>2</sup>·year) (~54 %) on hot-water supply. In some modern residential buildings with the exhausted warm air secondary energy resource utilization, the heating and ventilation takes around 30–40 kW·h/(m<sup>2</sup>·year) of heat. Raising energy performance of the residential buildings by means of reducing heat expenses on the heating and ventilation is the last segment in the system of energy resources saving. The first segments in the energy performance process are producing heat and transporting it over the main lines and outside distribution networks. In the period from 2006 to 2013, by virtue of the heat-supply schemes optimization and modernizing the heating systems using valuable (200–300 \$US per 1 m) though hugely effective preliminary coated pipes, the economy reached 2,7 MIO tons of fuel equivalent. Heat-energy general losses in municipal services of Belarus in March 2014 amounted up 17 %, whilst in 2001 they were at the level of 26 % and in 1990 – more than 30 %. With a glance to multi-staging and multifactorial nature (electricity, heat and water supply) of the residential sector energy saving, the reasonable estimate of the residential buildings sustainance energy efficiency should be performed in tons of fuel equivalent in a unit of time.

**Keywords:** energy efficiency, energy losses, production, distribution, transportation, fuel, combustion heat

**For citation:** Osipov S. N. (2016) On Reasonable Estimate of Energy Performance of the Residential Buildings Sustainance with Centralized Heat-Supply System. *Energetika. Proc. CIS Higher Educ. Inst. and Power Eng. Assoc.* 59 (3), 272–284 (in Russian)

Решение проблемы повышения энергоэффективности жилых и других зданий началось в СССР еще в 70-е гг. прошлого столетия [1–3], дальнейшее развитие оно получило в 1980-е гг. [4–6]. В 1983-м совместным приказом по министерствам приборостроения и средств автоматизации СССР (г. Москва) и высшего и среднего образования БССР (г. Минск) в Белорусском политехническом институте (ныне БНТУ) была создана отраслевая научно-исследовательская лаборатория экономии тепловых ресурсов. В ней в течение нескольких лет проводились научно-исследовательские работы (НИР) по экономии тепловых ресурсов [7].

В 1981–1985 гг. в Белорусской ССР в институте БелНИИПградостроительства, входившем в систему Госстроя БССР, разработали рекомендации [8] по совершенствованию территориальной организации БССР, в которых учитывалась оптимизация схем энергоснабжения жилых территорий городских поселений с экономией энергии и планировочными решениями. При этом были отмечены топливно-энергетические балансы жилых территорий с учетом экономии топливно-энергетических ресурсов.

Оптимизация применения энергоэффективных решений при строительстве и эксплуатации жилых зданий – не только технически, но и экономически сложная проблема. В соответствии с Директивой Президента Республики Беларусь от 14 июня 2007 г. № 3 «Экономия и бережливость – главные факторы экономической безопасности Республики Беларусь» [8] экономия топливно-энергетических ресурсов по республике в 2010–2015 гг. должна составить 7,1–8,9 млн т у. т., в том числе 1,00–1,25 млн т у. т. за счет оптимизации теплоснабжения и 0,25–0,40 млн т у. т. за счет увеличения термосопротивления ограждающих конструкций зданий, сооружений и жилищного фонда. Таким образом, если в процессе оптимизации теплоснабжения ожидается получение примерно 18 % общей экономии тепловых ресурсов, то за счет увеличения термосопротивления ограждающих конструкций зданий и сооружений различного назначения – только около 3–5 %, а жилищного фонда – даже несколько меньше.

В понятие оптимизации теплоснабжения входят различные варианты экономии энергоресурсов, в том числе уменьшение потерь теплоты в магистральных и распределительных сетях теплоснабжения, увеличение использования теплопроизводительности ТЭЦ, что повышает их общий КПД и снижает удельный расход топлива. Так, если нормативные потери теплоты в сетях теплоснабжения г. Минска в 80-е гг. XX в. составляли около 30 %, то в 2015 г. они должны быть уменьшены до 8 %.

До 1994 г. в жилищном секторе Республики Беларусь годовой расход теплоты на отопление и вентиляцию в среднем составлял 130 кВт·ч/(м<sup>2</sup>·год) (~56 %), на горячее водоснабжение – около 100 кВт·ч/(м<sup>2</sup>·год) (~44 %). В жилых зданиях, построенных с 1994 по 2009 гг., потребление теплоты на отопление и вентиляцию уже составляет 90 кВт·ч/(м<sup>2</sup>·год), на горячее водоснабжение – около 70 кВт·ч/(м<sup>2</sup>·год). В зданиях современной массовой постройки на отопление и вентиляцию затрачивается 60 кВт·ч/(м<sup>2</sup>·год) (~46 %), на горячее водоснабжение – примерно 70 кВт·ч/(м<sup>2</sup>·год) (~54 %). В отдельных современных жилых зданиях с утилизацией вторичных энергоресурсов (ВЭР) удаляемого теплого воздуха на отопление и вентиляцию приходится около 30–40 кВт·ч/(м<sup>2</sup>·год) теплоты. Если уменьшение расхода теплоты на отопление и вентиляцию объясняется резким ростом (примерно в три раза) нормативного термического сопротивления ограждающих конструкций жилых зданий, то снижение потребления теплоты на горячее водоснабжение примерно на 30 % можно объяснить ростом цен на горячую воду, что заставляет потребителей расходовать ее более экономно.

Значительный интерес для развития процесса повышения энергоэффективности жилых зданий в Республике Беларусь представляет изменение требований по снижению энергопотребления в США за период 2010–2030 гг. [9], которые приведены в табл. 1. Как видно из табл. 1, энергопотребление (без учета потребления электрической энергии) в жилых зданиях США, построенных в 2007 г., примерно на 20–30 % меньше по сравнению с таковыми в Беларуси ( $90 + 70 = 160$  кВт·ч/(м<sup>2</sup>·год)) (в США – 104,5–128,3 кВт·ч/м<sup>2</sup>·год). Следует отметить, что еще в 1999–2001 гг. стандарт США разрешал энергопотребление (без учета потребления электрической энергии) в размере 147,3–163 кВт·ч/(м<sup>2</sup>·год). К 2015 г. это различие увеличилось примерно до 35–50 % (56,9–72,7 кВт·ч/(м<sup>2</sup>·год) в США и 110 кВт·ч/(м<sup>2</sup>·год) в Беларуси) для практически одинаковых климатических условий.

Таблица 1

**Требования по снижению энергопотребления (кВт·ч/(м<sup>2</sup>·год)) в США**  
**Lowering power-consumption requirements (kW·h/(m<sup>2</sup>·year)) in the USA**

Год	Стандарт				Путеводитель по энергоэффективному проектированию ASHRAE <sup>5</sup>
	ASHRAE 90.1 <sup>1</sup>	ASHRAE 90.1 <sup>2</sup>	ASHRAE 189.1		
			1 <sup>3</sup>	2 <sup>4</sup>	
2007	128,3	–	104,5	154,8	117,9
2010	96,7	154,8	89	129,4	84,4
2013	85,3	132,7	78	114	75,8
2015	72,7	113,8	56,9	100,6	56,9
2020	56,9	75,9	40	57,5	0
2025	44,2	56,9	19,9	27,8	0
2030	31,6	50,6	0	0	0

<sup>1</sup> Без учета потребления электрической энергии пользователями оборудования (например, офисной техникой, кухонными комбайнами и т. д.).  
<sup>2</sup> С учетом потребления электрической энергии пользователями оборудования.  
<sup>3</sup> Направлен на сокращение энергопотребления на 30 % по сравнению со стандартом 90.1–2004 (без учета потребления электрической энергии пользователями оборудования).  
<sup>4</sup> Направлен на сокращение энергопотребления на 30 % по сравнению со стандартом 90.1–2004 (с учетом потребления электрической энергии пользователями оборудования).  
<sup>5</sup> Направлен на сокращение энергопотребления на 30 % по сравнению со стандартом 90.1 на 2007–2009 гг.; 50 % – на период 2009–2011 гг.; переход к зданиям с нулевым потреблением энергии – 2013–2015 гг.

Переход к 2025 г. к теплопотреблению новых жилых зданий в размере 19,9–44,2 кВт·ч/(м<sup>2</sup>·год) (США) требует разработки и производства для получения и использования максимальных размеров ВЭР от уходящих использованных теплых воздуха и воды. Это особенно важно для Республики Беларусь, где еще в 2010 г. в выработке электрической и тепловой энергии доля природного газа составляла 96 % (более 90 % его импортируется из России).

Повышение энергоэффективности жилых зданий за счет уменьшения затрат теплоты на отопление и вентиляцию – последнее звено в системе

экономии энергоресурсов. Первыми звеньями в этом процессе являются энергоэффективность получения теплоты и ее транспортирование по магистральным и наружным распределительным сетям. Благодаря оптимизации схем теплоснабжения и модернизации тепловых сетей с использованием дорогих (200–300 дол. США за 1 м), но весьма эффективных предварительно изолированных труб с 2006 по 2013 г. получена экономия 2,7 млн т у. т. Общие потери тепловой энергии в коммунальном хозяйстве Беларуси в марте 2014 г. составили 17 %, в то время как в 2001-м они были на уровне 26 %, а в 1990-м – более 30 %.

В связи с вводом в строй в 2018 г. Белорусской АЭС Минэнерго и Минстройархитектуры в настоящее время рассматривают возможность использования электричества для отопления при энергоснабжении региона АЭС.

По уровню энергопотребления жилищно-коммунального сектора (~40 %) энергобаланс Республики Беларусь примерно соответствует США, в котором жилые и коммерческие здания потребляют более 40 % ископаемых энергетических ресурсов, свыше 70 % электрической энергии и более 50 % природного газа [9]. Примерно 1/3 общих выбросов CO<sub>2</sub> в атмосферу США образуется за счет энергоснабжения жилых и коммерческих зданий.

Следует отметить, что в США энергетические показатели новых зданий ухудшаются на 30 % в течение первых трех-четырех лет эксплуатации [9]. Эта проблема характерна и для Беларуси. Поэтому следует уделить больше внимания процессу ввода в эксплуатацию и переналадки систем теплоснабжения в период эксплуатации.

Энергоэффективность отдельных зданий не гарантирует высокой энергоэффективности целых районов жилой застройки, так как современное жизнеобеспечение жилого здания требует использования различных энергоносителей (горячая и холодная вода, электричество, газ). Для получения и доставки этих энергоносителей с необходимыми параметрами к потребителям требуются значительные дополнительные затраты энергии, на которые необходимы дополнительные расходы валютных средств. В такой постановке проблема энергоэффективности районов жилой зоны застройки даже в европейских странах ранее не рассматривалась.

Задачами предлагаемой программы являются:

- оценка расхода энергоносителей, затрачиваемых на выработку различных видов энергии, используемой для обеспечения системы жизнеобеспечения как отдельного, так и группы зданий;
- учет потерь при получении и транспортировании различных видов энергии к потребителям.

Поставленные задачи решаются достижением технического результата посредством оценки энергоэффективности системы жизнеобеспечения внутри здания, включающего характеристики источников различных видов энергии, систем ее доставки к потребителям и внутридомового потребления различных видов энергии. Они заключаются в том, что потребление всех видов энергии (электричество, теплота, газ, вода), используемой для жизнеобеспечения здания (тепло-, газо-, электро- и водоснабжение), полу-

ченной из наружных распределительных сетей, приводит к исходному расходу топлива (т у. т) или эквивалентной ему энергии (кВт·ч), затраченной на выработку использованной энергии, которые сравнивают с действующими нормативами.

Принципиальная схема формирования энергоэффективности жилого здания приведена на рис. 1. Здесь учтены возможные поступления экологически чистой природной энергии от гелио- и ветровых установок, а также дождевой воды.

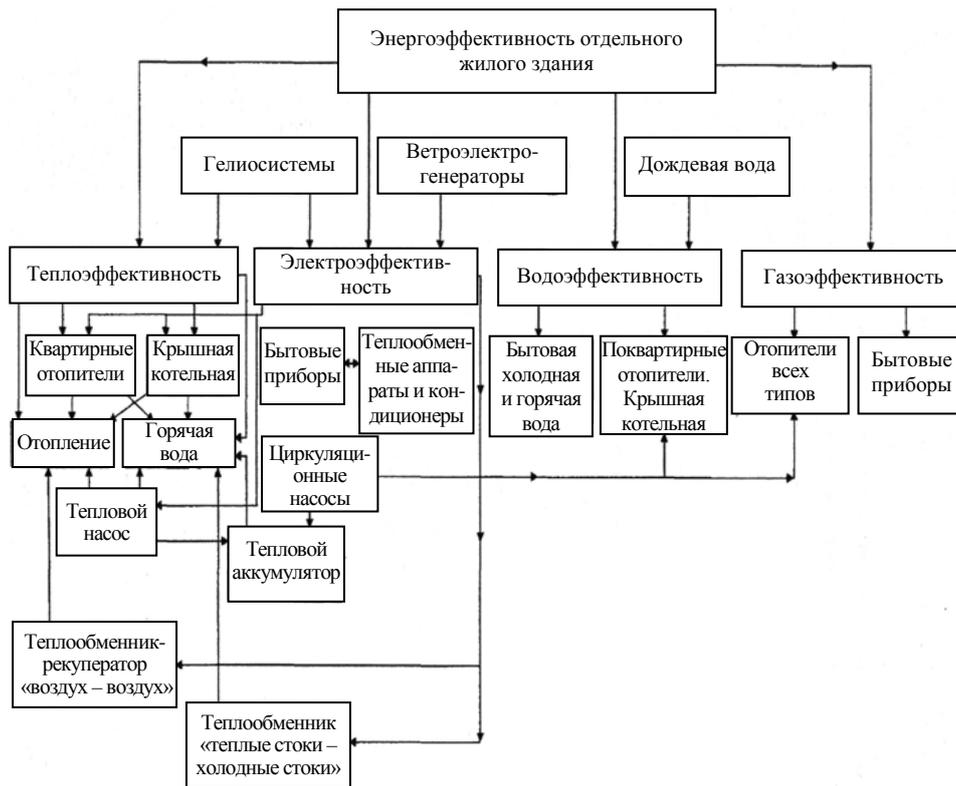


Рис. 1. Принципиальная схема формирования энергоэффективности жилого здания

Fig. 1. Principal diagram of the residential building energy performance forming

Сложность и трудность решения проблемы обеспечения энергоэффективности районов жилой застройки видна из приведенного в [10] примера аналитической модели сложного теплообмена с учетом только температурно-воздушного режима за счет отопления помещения здания. Аналитическая модель в форме системы дифференциальных уравнений приведена в [10].

Энергоэффективность здания следует рассматривать как конечный элемент общей системы энергосбережения, в которую включены магистральные и распределительные сети для доставки различных видов энергии к потребителю, а также производители всех видов потребляемой энергии. Все производители энергии (котельные, ТЭЦ, электростанции и т. п.), а также сети для доставки всех видов энергии к потребителям функциони-

руют с определенными КПД, от которых в существенной, а иногда решающей степени зависит общая энергоэффективность всей системы жизнеобеспечения жилых зданий. Здесь следует также добавить расход электроэнергии на прокачку теплоносителя в тепловых сетях и воздуха в квартирных теплообменниках-рекуператорах «воздух – воздух». Необходимо указать, что электрическая энергия вырабатывается с коэффициентом преобразования около 0,3 от топлива по сравнению с 0,8–0,9 для тепловой энергии. Кроме того, нужно учитывать расход электроэнергии на очистку, создание давления и доставку водопроводной воды. Общая схема формирования энергоэффективности группы или района зданий приведена на рис. 2.

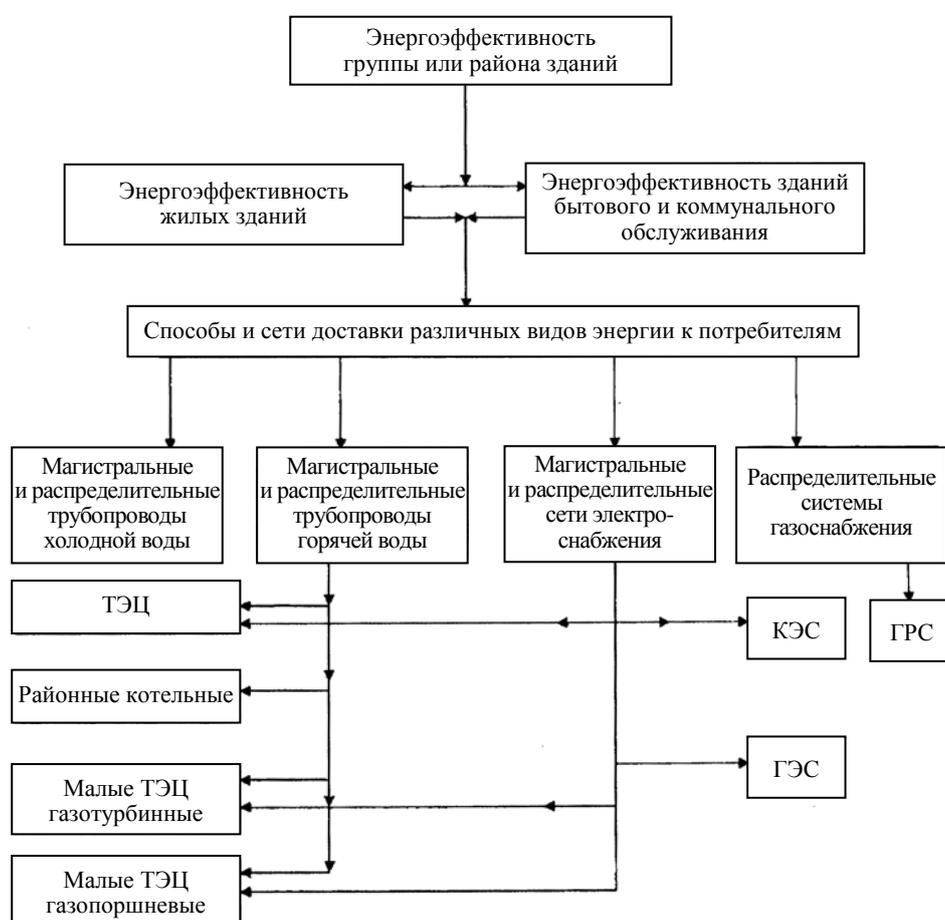


Рис. 2. Принципиальная схема формирования энергоэффективности жилого района или группы зданий

Fig. 2. Principal diagram of the residential area or a group of buildings energy performance forming

В настоящее время основным показателем эффективности расхода теплоты на отопление здания является годовой расход ( $\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ ), отнесенный к  $1 \text{ м}^2$  общей площади квартиры. Этот показатель пригоден и для всех

видов энергоносителей при переводе их характеристик в соответствующую размерность. Если учесть зависимость энергоэффективности общей системы жизнеобеспечения здания от источников энергоснабжения, то в качестве показателя можно использовать килограмм условного топлива (кг у. т.), соответствующий в старых технических единицах 7000 ккал, что эквивалентно 8,14 кВт·ч. Поэтому общим показателем энергоэффективности системы жизнеобеспечения в зданиях может служить расход исходного энергоносителя, называемого топливом (в кВт·ч/(м<sup>2</sup>·год) или кг у. т./(м<sup>2</sup>·год).

Первичная оценка энергоэффективности производится отдельно по каждому из видов энергоносителей (электроэнергия, теплота, водопроводная вода, газ). В случае бытового использования природного газа, который является готовым топливом, его приготовление и доставку можно не учитывать, так как они осуществляются за пределами общей системы жизнеобеспечения рассматриваемых объектов.

Методика количественной оценки общей энергоэффективности здания основана на полном учете всех видов энергоносителей (электричество, теплота, горючий газ, вода), потребляемых из наружных распределительных сетей для нормативных условий жизнеобеспечения. Затем учитываются потери и затраты энергии на транспортировку каждого энергоносителя от источника его получения до потребителя. Последним действием является учет энергетического коэффициента преобразования энергии топлива в энергию какого-либо необходимого для жизнеобеспечения здания энергоносителя. Часто этот коэффициент преобразования называют коэффициентом полезного действия.

В целом общее количество потребляемой зданием за год (отнесенное к 1 м<sup>2</sup> общей площади) из внешних распределительных сетей энергии определяется из выражения

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4, \quad (1)$$

где  $Q_1$  – годовое потребление электрической энергии бытовыми приборами (холодильник, телевизор, освещение, электроника и т. п.), квартирными и общедомовыми побудителями расхода (квартирные и домовые вентиляторы, теплообменники-рекуператоры «воздух – воздух», насосы для обеспечения циркуляции теплоносителя в независимой системе и т. п.);  $Q_2$  – годовое потребление электрической энергии, отнесенное к 1 м<sup>2</sup> общей площади, на отопление и горячее водоснабжение, кВт·ч/м<sup>2</sup>;  $Q_3$  – годовое потребление электрической энергии, отнесенное к 1 м<sup>2</sup> общей площади, на холодное водоснабжение, кВт·ч/м<sup>2</sup>;  $Q_4$  – годовое потребление энергии газа, отнесенное к 1 м<sup>2</sup> общей площади, кВт·ч/м<sup>2</sup>.

Здесь необходимо отметить, что возврат любого вида энергии за счет ресурсов самого здания (бытовые тепловыделения, рекуперация теплоты отработанного воздуха, фотоэлементы для получения электричества, предварительный подогрев горячей воды теплыми стоками, использование дождевой воды и т. п.) уменьшает потребление энергии из наружных распределительных сетей. Однако в приведенном выражении совершенно не учитывается различие в расходе природных энергоресурсов, затраченных

на получение и транспортировку электричества и теплоты к потребителю, а эта разница весьма существенна. Так, коэффициент преобразования на конденсационных электростанциях или ТЭЦ, работающих в этом режиме, составляет  $\alpha_{1,1} \approx 0,25-0,35$ . При работе ТЭЦ в теплофикационном режиме коэффициент преобразования для теплоносителя системы централизованного теплоснабжения  $\alpha_{2,1} \approx 0,90-0,95$ . Самые современные парогазовые электроагрегаты имеют  $\alpha_{2,1} \approx 0,35-0,40$ . К ним приближаются относительно небольшие газопоршневые электроустановки, которые обладают малой тепловой инерцией, что делает их удобное использование в качестве маневровых.

Коэффициент преобразования твердого топлива в энергию теплоносителя для малых котельных составляет примерно  $\alpha_{2,1} \approx 0,7-0,85$ , для крупных районных котельных  $\alpha_{2,2} \approx 0,85-0,90$ , а для котельных, работающих на газе,  $\alpha_{2,2} \approx 0,90-0,95$ . Следует отметить, что современные квартирные отопители в оптимальном режиме дают коэффициент преобразования до  $\alpha_{2,3} \approx 0,90$ . Здесь не рассматриваются теплогенерирующие установки с  $\alpha_{2,1} \geq 1,00$  за счет частичного использования высшей теплоты сгорания (конденсация водяных паров, образующихся при сгорании углеводородов).

Транспортные потери электроэнергии при доставке к потребителям составляют 2–5 %, что соответствует коэффициенту полезного действия  $\beta_1 \approx 0,95-0,98$ . Транспортные потери тепловой энергии при доставке потребителям по старым тепловым сетям достигали 15–20 % и соответствовали коэффициенту потерь  $\beta_2 \approx 0,85-0,80$ . При использовании современных предварительно изолированных труб транспортный КПД может составлять  $\beta_2 \approx 0,93-0,96$  в зависимости от протяженности транспортировки.

Распределение энергопотребления в двухкомнатной квартире, потерь энергии при транспортировке и получение в наиболее используемых современных генераторах электроэнергии и теплоты приведены в табл. 2.

Транспортные потери электроэнергии для водопроводной воды при работе электроприводов насосов составляют около 1–2 кВт·ч/м<sup>3</sup> в зависимости от дальности транспортировки [11]. В качестве примера для расчета энергопотребления примем двухкомнатную квартиру общей площадью  $S = 60$  м<sup>2</sup>, в которой проживают три человека, что примерно соответствует нынешней средней площади в 20 м<sup>2</sup> на одного человека.

Для расчета энергоемкости водопроводного водоснабжения принимаем суточный расход холодной воды 140 л и горячей воды 70 л, что в общем соответствует 210 л в сутки на человека и примерно равно среднему потреблению. Энергоемкость 1 м<sup>3</sup> воды, доставленной потребителю, как правило, составляет 1–2 кВт·ч/м<sup>3</sup>. Нагревание 210 л воды в сутки для трех человек примерно до 60 °С требует затрат 14,62 кВт·ч на квартиру, или 0,2442 кВт·ч/м<sup>2</sup>, что за год составляет 89 кВт·ч/м<sup>2</sup>. Годовой удельный расход энергии для подачи водопроводной воды при минимальной энергоемкости в 1 кВт·ч/м<sup>3</sup> составляет минимум 4 кВт·ч/м<sup>2</sup>.

Общебытовой (освещение, холодильник, телевизор и т. п.) расход электроэнергии легко определить по показаниям электросчетчиков, установленных во всех квартирах.

Таблица 2

**Распределение годового энергопотребления в двухкомнатной квартире, потерь энергии при транспортировке и получение в наиболее используемых современных генераторах электроэнергии и теплоты**

**Distribution of a two-room flat annual power consumption, energy losses while in transit and production of electricity and heat in most utilized modern generators**

Система энергопотребления. Вид энергии и потребителя	Потребление		Доставка		Преобразование топлива						Общее энергопотребление, кВт·ч/м <sup>2</sup>		
	Потребитель		Распределительная сеть		ТЭЦ		Газопоршневая установка		Котельная		ТЭЦ	Газопоршневая установка	Котельная
	Общее $Q_{п.и}$ , кВт·ч/год	Удельное, кВт·ч/м <sup>2</sup>	$\beta_i$	$Q_{т.и}$ , кВт·ч/м <sup>2</sup>	$\alpha_i$	$Q_{т.и}$ , кВт·ч/м <sup>2</sup>	$\alpha_i$	$Q_{и.и}$ , кВт·ч/м <sup>2</sup>	$\alpha_i$	$Q_{и.и}$ , кВт·ч/м <sup>2</sup>			
Электричество.													
Общебытовые расходы	2160	36	0,97	1	0,3	86,1	0,35	67,2			123,1	105,2	
Принудительная вентиляция	300	5	0,97	0	0,3	11,7	0,35	9,3			16,7	14,3	
Водопроводная вода	250	4	0,97	0	0,3	9,3	0,35	7,4			13,3	11,4	
Циркуляция горячей воды	120	2	0,97	0	0,3	4,7	0,35	3,7			6,7	5,7	
Итого		47		1		112		88			160	137	
Теплота. Отопление и вентиляция		$\frac{120^*}{60}$	$\frac{0,85}{0,95}$	$\frac{21}{3}$	0,95	$\frac{6}{3}$	0,95	$\frac{6}{3}$	$\frac{0,8}{0,9}$	$\frac{30}{7}$	$\frac{147}{66}$	$\frac{147}{66}$	$\frac{171}{70}$
Горячая вода	5340	89	$\frac{0,85}{0,95}$	$\frac{16}{5}$	0,95	$\frac{5}{3}$	0,95	$\frac{5}{3}$	$\frac{0,8}{0,9}$	$\frac{22}{10}$	$\frac{100}{97}$	$\frac{100}{97}$	$\frac{127}{104}$
Итого		$\frac{209}{149}$		$\frac{37}{8}$		$\frac{11}{6}$		$\frac{11}{6}$		$\frac{52}{17}$	$\frac{257}{163}$	$\frac{257}{163}$	$\frac{298}{179}$
Природный газ. Пищеприготовление	1440	24									24	24	24
Всего		$\frac{280}{220}$		$\frac{38}{9}$		$\frac{123}{118}$		$\frac{99}{94}$		$\frac{52}{17}$	$\frac{441}{347}$	$\frac{418}{324}$	$\frac{458^{**}}{340}$

\* Здесь и далее в числителе – средние годовые удельные расходы теплоты в старых зданиях и наружных тепловых сетях старого типа в хорошем техническом состоянии; в знаменателе – то же после модернизации.

\*\* В числителе – средние годовые удельные расходы энергии до модернизации.

Оказывается, что при проживании в квартире одного человека среднемесячный расход электроэнергии составляет примерно 80 кВт·ч, двух человек – 140 кВт·ч и трех – 180 кВт·ч. Тогда среднегодовой удельный расход электроэнергии в расчетной квартире равен примерно 36 кВт·ч/м<sup>2</sup>. В случае применения теплообменников-рекуператоров, оборудованных двумя вентиляторами с электродвигателями по 20 Вт, годовой удельный расход электроэнергии составляет около 5 кВт·ч/м<sup>2</sup>.

Средний удельный годовой расход тепловой энергии в старых зданиях, построенных по действующим до 2000 г. техническим нормативам, – около 100–120 кВт·ч/м<sup>2</sup>. При строительстве по новым техническим условиям [12] среднегодовой расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию сокращен в два раза и не должен превышать 60 кВт·ч/м<sup>2</sup>.

В настоящее время среднегодовой расход природного газа на пищеприготовление по сравнению с былыми временами уменьшился примерно в два раза и составляет около 48 м<sup>3</sup>/год на одного человека, что соответствует удельному расходу энергии при наличии трех человек примерно 24 кВт·ч/м<sup>2</sup>.

Потери энергии при транспортировке от источника к потребителю, отнесенные к началу распределительной сети, определяют из выражения

$$Q_{т.і} = Q_{о.і}(1/\beta_i - 1), \quad (2)$$

где  $Q_{о.і}$  – количество энергии, доставленной потребителю, кВт·ч или кВт·ч/м<sup>2</sup>;  $\beta_i$  – коэффициент доставки энергии.

Аналогичным образом определяются потери энергии в процессе преобразования энергии топлива в необходимый вид энергии для жизнеобеспечения внутри здания

$$Q_{u.і} = Q_{п.і}(1/\alpha_i - 1), \quad (3)$$

где  $\alpha_i$  – коэффициент преобразования энергии топлива в необходимый вид энергии.

Сумму потерь энергии на источниках преобразования, кВт·ч/м<sup>2</sup>, можно рассчитать

$$Q_0 = \sum_1^n Q_{п.і} + \sum_1^n Q_{т.і} + \sum_1^n Q_{u.і} + Q_r, \quad (4)$$

где  $\sum_1^n Q_{п.і}$  – сумма потребления энергии всеми видами потребителей,

кВт·ч/м<sup>2</sup>;  $\sum_1^n Q_{т.і}$  – сумма транспортных потерь энергии, кВт·ч/м<sup>2</sup>;

$Q_r$  – потребление энергии природного газа, кВт·ч/м<sup>2</sup>.

В табл. 2 представлены результаты расчетов энергопотребления в упомянутой двухкомнатной квартире, потерь энергии при транспортировке и получения в наиболее используемых современных генераторах электроэнергии и теплоты. Потребление энергии природного газа для приготовления пищи учитывается отдельно вследствие его доставки без потерь системной газоснабжения. В случае использования кондиционера для охлаждения

воздуха в летнее время необходимо учитывать дополнительный расход электрической энергии. Хотя в табл. 2 приведены результаты расчетов ограниченного набора вариантов энергосбережения жилой квартиры, они позволяют сделать определенные выводы. Так, очевидно, что энергопотребление для жизнеобеспечения в старой квартире является лишь частью (~60 %) затрат природных ресурсов, доля которых для новых, так называемых энергоэффективных квартир, источников энергии и транспортных систем возрастает до 65–70 %.

### ВЫВОДЫ

1. Реальная экономия энергоресурсов при нынешнем переходе к энергоэффективным зданиям пока составляет 15–20 %, что явно недостаточно и указывает на необходимость экономии природной энергии по всем направлениям. Дальнейшее уменьшение теплотребления в жилых зданиях возможно за счет использования теплоты стоков использованной воды с температурой 30–35 °С. В этом случае нагрев бытовой горячей воды делают двухступенчатым, и на первой ступени подогрева температуру холодной воды поднимают примерно на 20 °С (от 10 до 30 °С), что дает экономию в 35–40 %, или около 30–35 кВт·ч/м<sup>2</sup> (еще примерно 10 % от общего энергопотребления). В этом случае уменьшение общего энергопотребления в новых жилых энергоэффективных зданиях может достигать 25–30 %.

2. Важной проблемой является повышение экологичности жизнеобеспечения жилых зданий, что в первую очередь может реализоваться путем сбора и использования дождевой воды и ее применения для промывки туалетов. В этом случае расход чистой водопроводной воды можно сократить на 30–40 % и соответственно уменьшить расход энергии на очистку и перекачку.

3. Использование крыш жилых зданий для получения электроэнергии за счет солнца и ветра пока не представляется экономически целесообразным.

4. Применение тепловых насосов может оказаться экономически оправданным в отдельных случаях при отсутствии вблизи магистрального и необходимой сети распределительных газопроводов.

5. В принятое в последнее время понятие «пассивный дом», который в среднегодовом исчислении не потребляет энергии извне, необходимо включить учет всех видов потребляемой энергии. При этом ведущую роль должны играть экономические факторы.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Чистович, С. А. Автоматическое регулирование расхода тепла в системах теплоснабжения и отопления / С. А. Чистович. М.: Стройиздат, 1975. 342 с.
2. Зингер, Н. М. Гидравлические и тепловые режимы теплофикационных систем / Н. М. Зингер. М.: Энергия, 1976. 314 с.
3. Хрилев, Л. С. Оптимизация систем теплофикации и централизованного теплоснабжения / Л. С. Хрилев, Н. А. Смирнов. М.: Энергия, 1978. 284 с.
4. Великанов, В. П. Экономия тепловой энергии в системах теплоснабжения / В. П. Великанов // Исследование опытных пофасадно-автоматизированных систем отопления: сб. ст. М.: АКХ имени Панфилова, 1984. С. 18–28.

5. Богуславский, Л. Д. Снижение расхода энергии при работе систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха / Л. Д. Богуславский. М.: Стройиздат, 1982. 264 с.
6. Сеннова, Е. В. Об оптимальном проектировании развиваемых и реконструируемых теплоснабжающих систем / Е. В. Сеннова, В. А. Стенников // Теплоэнергетика. 1984. № 9. С. 26–30.
7. Разработка критериев для определения очередности и эффективности автоматизации систем теплоснабжения: отчет / науч. рук. С. Н. Осипов. Минск, 1983–1985.
8. Оптимизация схем энергоснабжения жилых территорий городских поселений с учетом экономии энергии и планировочных решений. Минск: Полымя, 1986. 25 с.
9. Laustsen, J. Energy Efficiency Requirements in Building Codes, Energy Efficiency Policies for New Buildings / J. Laustsen // JEA Information Paper. Paris: International Energy Agency, 2008. 88 p.
10. Пилипенко, В. М. Комплексная реконструкция индустриальной жилой застройки / В. М. Пилипенко. Минск: Адукацыя і выхаванне, 2007. 200 с.
11. Осипов, С. Н. Особенности проектирования систем теплоснабжения при переходе к рыночной экономике / С. Н. Осипов // Эффективные методы проектирования, строительства и эксплуатации систем теплоснабжения: сб. М., 1990. С. 33–37.
12. Миненков, А. В. Республиканская программа энергоснабжения на 2011–2015 гг. / А. В. Миненков // Энергоэффективное строительство в Республике Беларусь: современные технологии энергосбережения: информационные матер. III Междунар. конф., Минск, 2 марта 2011 г. Минск, 2011. С. 1–5.

Поступила 23.06.2015    Подписана в печать 01.09.2015    Опубликовано онлайн 03.06.2016

#### REFERENCES

1. Chistovich S. A. (1975) *Automatic Regulation of Chargeable Heat in the Heat Supply and Heating Systems*. Moscow, Stroyizdat. 342 p. (in Russian).
2. Zinger N. M. (1976) *Hydraulic and Heating Conditions of the Heating Systems*. Moscow, Energy. 314 p. (in Russian).
3. Khrilev L. S., Smirnov N. A. (1978) *Optimizing Cogeneration and District Heat Supply Systems*. Moscow, Energy. 284 p. (in Russian).
4. Velikanov V. P. (1984) Heat Energy Saving in the Heat Supply Systems. *Investigation of the Heat Supply Per-Façade Automated Prototype Systems. Collection of Papers*. Moscow, Academy of Municipal Economy named after Panfilova, 18–28 (in Russian).
5. Boguslavskiy L. D. (1982) *Lowering Energy Consumption in Operation of the Heating, Ventilation and Air Conditioning Systems*. Moscow, Stroyizdat. 264 p. (in Russian).
6. Sennova Ye. V., Stennikov V. A. (1984) On Optimal Project Engineering of Developing and Reconstructed Heat-Supplying Systems. *Teploenergetika* [Heat Engineering], (9), 26–30 (in Russian).
7. Osipov S. N. (1985) *Elaborating Criteria for Determining the Order of Priority and Effectiveness of the Heat-Consumption Systems Automation. Report on Research Work*. Minsk. (in Russian, unpublished).
8. *Optimizing Energy-Supply Schemes of the Urban Locality Residential Areas with Due Consideration of Energy Saving and Planning Concepts*. Minsk, Polymya, 1986. 25 p. (in Russian).
9. Laustsen J. Editor (2008) *Energy Efficiency Requirements in Building Codes, Energy Efficiency Policies for New Buildings*. JEA Information Paper. Paris, International Energy Agency. 88 p.
10. Pilipenko V. M. (2007) *Comprehensive Reconstruction of the Industrial Residential Development*. Minsk, Adukatsyia i Vychavanne. 200 p. (in Russian)
11. Osipov S. N. (1990) Design Peculiarities of the Heat Supply Systems During Transition to Market Economy. *Effective Methods of Design, Construction and Operation of the Heat Supply Systems. Collection*. Moscow, 33–37 (in Russian).
12. Minenkov A. V. (2011) The Republican Programme of Power Service for 2011–2015. *Energoeffektivnoe Stroitelstvo v Respublike Belarus: Sovremennye Tekhnologii Energoberezenii. Informatsionnye Mater. III Mezhdunar. Konf.* [Energy-Efficient Construction in the Republic of Belarus: Modern Technologies of Energy Saving. Information Materials of III International Conference]. Minsk, 1–5 (in Russian).

Received: 23.06.2015

Accepted: 01.09.2015

Published online: 03.06.2016