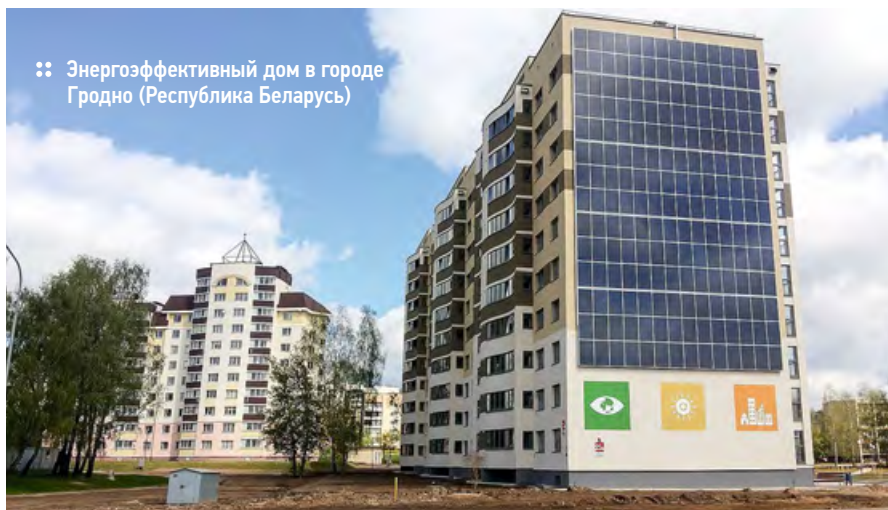


Предварительные результаты мониторинга энергоэффективных зданий в Беларуси

Рецензия эксперта на статью получена 24.09.2018 [Expert review on the article received September 24, 2018].

:: Энергоэффективный дом в городе Гродно (Республика Беларусь)



Введение

В 2014–2016 годах Государственным предприятием «Институт жилища — НИПТИС им. Атаева С.С.», в рамках выполнения проекта 00077154 ПРООН-ГЭФ «Повышение энергетической эффективности жилых зданий в Республике Беларусь» совместно с ОАО «МАПИД» и КУП «Гродногражданпроект» были разработаны инженерно-технические и проектные решения трёх экспериментальных энергоэффективных жилых домов нового поколения, соответствующих по показателю удельного расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию классу А+ для строительства в городах Минске, Гродно и Могилёве [1].

Уже строительство первых домов с рекуперацией и теплозащитой по ныне действующим нормативам [2] показало, что наращивание теплозащиты ограждающих конструкций сверх существующих нормативов [СТР_ТПЛТЕХН] не имеет

смысла, поскольку более половины тепловых потерь здания приходится на систему вентиляции.

В первом поколении энергоэффективных зданий основной акцент был сделан на снижение потребления тепловой энергии на отопление. Уровень потребления тепловой энергии на отопление составил 30–35 кВт·ч/м² [3]. В стороне остались вопросы, связанные с потреблением энергии в системе горячего водоснабжения и генерацией тепловой энергии.

Целью проектирования и строительства энергоэффективных зданий второго поколения было отработка перспективных инженерных решений, снижающих потребление топлива при эксплуатации зданий. В проектах новых зданий решены вопросы [1]:

- выработка энергии с использованием нетрадиционных источников;
- снижение тепловой нагрузки в системах ГВС.

УДК 697.1

Предварительные результаты мониторинга энергоэффективных зданий в Республике Беларусь

Л. Н. Данилевский, д.т.н., первый заместитель директора; **В. М. Пилипенко**, д.т.н., профессор, директор; **С. В. Терехов**, к.т.н., заведующий отделом, Государственное предприятие «Институт жилища — НИПТИС им. Атаева С.С.»

Объектом исследования являются здания с низким потреблением энергии для целей отопления, вентиляции и горячего водоснабжения. В Республике Беларусь при финансовой поддержке ПРООН/ГЭФ построено три энергоэффективных здания с использованием в системах жизнеобеспечения вторичных и возобновляемых энергоресурсов. В статье представлены предварительные результаты эксплуатации зданий в первом отопительном сезоне. На настоящий момент заселено 35–40% квартир. Удельное потребление тепловой энергии на отопление по отопительному сезону 2017–2018 превышает во всех трёх зданиях проектные значения. В то же время, удельное потребление тепловой энергии на отопление и вентиляцию для расчётных условий близко к проектным значениям. Тепловые насосы (ТН), использующие энергию, снимаемую с канализационных стоков и фундаментных свай в здании, продемонстрировали высокий коэффициент преобразования электрической энергии, равный 3,2. Проблемным вопросом эксплуатации ТН оказалась высокая стоимость электрической энергии. Фотоэлектрическая батарея в одном из зданий подтвердила расчётные показатели. Во всех зданиях жители заселённых квартир активно эксплуатируют системы принудительной приточно-вытяжной вентиляции с рекуперацией тепловой энергии удаляемого воздуха. Предполагается выход на проектные значения удельного потребления тепловой энергии на отопление и вентиляцию в последующих сезонах при полном заселении зданий и выходе на стационарный режим эксплуатации.

Ключевые слова: тепловая энергия, тепловые насосы, энергоэффективность, удельное потребление, расчётные условия, температура, теплообмен, тепловые потери, отопление.

UDC 697.1

Preliminary results of monitoring energy-efficient buildings in the Republic of Belarus

L. N. Danilevski, Doctor of Technical Science, the First Deputy Director; **V. M. Pilipenko**, Doctor of Engineering, Professor, Director; **S. V. Terekhov**, PhD, Head of Department, the Republican Unitary Enterprise (State Enterprise) "Institute of Housing — NIPTIS named Ataev S.S."

Object of a research are buildings with low consumption of energy for heating, ventilation and hot water supply. In Republic of Belarus with financial support of UNDP/GEF three energy efficient buildings with use in life support systems of secondary and renewable energy resources are built. Preliminary results of operation of buildings in the first heating season are presented in article. 35–40% of apartments are currently populated. Specific consumption of thermal energy on heating on a heating season of 2017–2018 exceeds design values in all three buildings. At the same time, specific consumption of thermal energy on heating and ventilation for settlement conditions, closely to design values. The heat pumps (HP) using the energy removed from sewer drains and base piles in the building showed the high coefficient of transformation of electric energy equal 3.2. The high cost of electric energy was a problematic issue of operation of HP. The photo-electric battery in one of buildings confirmed settlement indicators. In all buildings inhabitants of populated apartments actively operate systems of a compulsory supply and exhaust ventilation with recovery of thermal energy of the deleted air. The exit to design values of specific consumption of thermal energy to heating and ventilation in the subsequent seasons at full settling of buildings and an exit to the stationary mode of operation is supposed.

Key words: thermal energy, heat pumps, energy efficiency, specific consumption, settlement conditions, temperature, heat exchange, thermal losses, heating.

Монография Данилевского Л. Н. «Энергоэффективные жилые здания: тепловая защита, утилизация тепловых выбросов, измерение теплоэнергетических показателей» (2018. 536 с. Табл.: 88. Ил.: 219. Библ.: 400)



В монографии изложены принципы создания энергоэффективных зданий, включая оптимизацию тепловой защиты, утилизацию тепловых выбросов и измерение эксплуатационных теплоэнергетических показателей. Разработаны принципы создания теплоизоляции с управляемыми теплотехническими свойствами, оптимизации конструкции теплообменников вида «воздух–воздух», технические решения для их работы при низких температурах окружающего воздуха. Разработаны конструкции и методы расчёта системы утилизации теплоты сточных вод в системе горячего водоснабжения зданий. Предложены методы расчёта грунтового теплообменника и оптимальной формы отражающей поверхности фокусирующих солнечных коллекторов. Решены задачи измерения составляющих теплового баланса и теплоэнергетических показателей эксплуатируемых жилых зданий, а также индивидуального учёта тепловой энергии в многоквартирных зданиях. Предложены принципы классификации жилых зданий по энергетическим показателям. Приведён обширный экспериментальный материал и примеры практической реализации многоквартирных энергоэффективных зданий различных конструктивных систем и определены эксплуатационные теплоэнергетические характеристики.

Монография адресована научным и инженерно-техническим работникам, занимающимся проблемами энергоэффективного строительства и методами повышения энергетической эффективности инженерного оборудования зданий, а также аспирантам и студентам вузов.

Проекты данных зданий включают комплекс энергосберегающих мероприятий, позволяющих существенно снизить удельный уровень потребления тепловой энергии, необходимой для отопления и горячего водоснабжения зданий.

В число этих мероприятий вошли следующие, уже ставшие традиционными и широко применяемые в строительной практике [3]:

- управляемая система приточно-вытяжной вентиляции с рекуперацией тепловой энергии вентиляционных выбросов;
- система отопления с горизонтальной разводкой;
- системы регулирования режимов отопления и воздухообмена с возможностью климат-контроля в каждой квартире здания;
- системы индивидуального (поквартирного) учёта потребляемой на отопление тепловой энергии;
- индивидуальные системы учёта потребления холодной и горячей воды.

□ система диспетчеризации данных по учёту и регулированию потребления энергоресурсов в квартирах.

В дополнение к вышеуказанным энергосберегающим решениям, в проектах энергоэффективных жилых домов нового поколения предусмотрено применение в системах отопления, вентиляции (ОВ) и горячего водоснабжения (ГВС) зданий вторичных и возобновляемых источников энергии. В табл. 1 представлены основные проектные показатели зданий.

Определение эксплуатационных показателей энергоэффективных зданий

Основным интегральным показателем, характеризующим здание как теплоэнергетический объект, является удельное потребление тепловой энергии на отопление. Решения этой задачи, основанные на двухэтапной процедуре определения указанной величины, приведены в [4]. На первом этапе определяется коэффициент

удельных теплопотерь здания, на основании которого рассчитывается значение удельного потребления тепловой энергии на отопление для расчётных условий. Данный метод требует высокого качества исходной информации о потреблённой для отопления тепловой энергии и даёт хорошие результаты для здания, эксплуатирующегося в проектном режиме.

Определение удельного потребления тепловой энергии на отопление, как и остальные показатели здания, выполнялись на начальной стадии эксплуатации экспериментальных зданий. Поэтому многие составляющие теплового баланса изменяются в период наблюдения, особенно:

- мощность бытовых тепловыделений, которая связана прежде всего с заселённостью здания;
- температура воздуха в здании;
- уровень воздухообмена в здании, поскольку приточно-вытяжные установки вентиляции включают только в заселённых квартирах.

●● Расчётные теплотехнические характеристики энергоэффективных зданий

табл. 1

Характеристика	г. Минск, ул. Пташук, д. 2	г. Гродно, ул. Дзержинского, д. 23	г. Могилёв
Генпроектировщик	ОАО «МАПИД»	УП «Гродногражданпроект»	«НИПТИС им. Атаева С. С.»
Этажность здания	19	10	10
Конструктивное решение	Крупнопанельное (трёх-слойные ж/б панели)	Мелкоштучные материалы с поперечными несущими стенами	Крупнопанельное (трёх-слойные ж/б панели)
Площадь жилых помещений, м ²	3608	4023	5691
Отапливаемая площадь, м ²	9209	10 330	13 889
Сопротивление теплопередаче наружных стен, м ² ·К/Вт	3,4	4,1	4,3
Окна, сопротивление теплопередаче, м ² ·К/Вт	1,0	1,0	1,0
Энергосберегающие инженерные системы	Система приточно-вытяжной вентиляции с рекуперацией теплоты удаляемого воздуха		
	Система утилизации теплоты «серых» сточных вод	Два тепловых насоса: первый использует энергию стоков в сборном канализационном коллекторе, второй снимает энергию с фундаментных свай	Гелиоколлектор (400 м ²) с тепловым аккумулятором в системе ГВС
	–	Фотоэлектрические панели (420 м ²)	–
Удельный расход тепловой энергии на ОВ, кВт·ч/м ²	23,2	15,5	22,8
Удельный расход тепловой энергии на ГВС, кВт·ч/м ²	не более 35	не более 35	не более 30
Класс здания по потреблению тепловой энергии на ОВ	A+	A+	A+

Следует отметить, что здания сдавались в эксплуатацию с «черновой» отделкой, поэтому на показатели энергопотребления существенное влияние оказывали также отделочные работы, выполнявшиеся в квартирах зданий. Поэтому измерение показателя удельного потребления тепловой энергии на отопление выполнялось по упрощённой методике [4, 5].

Для упрощённой методики контроля, наряду с показаниями счётчика тепловой энергии, нужны данные по следующим показателям: средняя температура воздуха в помещениях; средняя температура наружного воздуха; потребление горячей воды на рассматриваемых интервалах.

Методика определения теплоэнергетических показателей зданий для расчётных условий

Упрощённая методика основывается на расчёте потребления тепловой энергии на отопление, приведённой в [4]. В соответствии с ТКП 45-2.04-196 [4] расход тепловой энергии на отопление здания в течение отопительного периода Q_h [кВт·ч] следует определять по формуле (9.1).

Для оценки эксплуатационных характеристик здания необходимы значения следующих величин:

- Q_{mes} — расход тепловой энергии на отопление здания в течение отопительного периода [кВт·ч], определяемый по общедомовому счётчику тепловой энергии;
- Q_{los} — общие тепловые потери здания [кВт·ч], которые необходимо определить по косвенным данным;



Энергоэффективный дом в городе Могилёве (Республика Беларусь)

□ Q_{int} — бытовые тепlopоступления в течение отопительного периода [кВт·ч], которые также необходимо определить по косвенным данным.

Задача решается в два этапа. Вначале определяют коэффициент тепловых потерь здания по показаниям счётчика тепловой энергии по формуле:

$$f_1 = 0,001 \sum_{i=1}^I \left(\frac{q_{mes}^i + 0,024 N_i (f_2^i + q_{sol}^i)}{t_{in}^i - t_{out}^i} \right),$$

здесь f_1 — коэффициент тепlopотерь здания, Вт/(м²·К); $i = 1, \dots, I$ — номер интер-

вала измерений; $q_{imes} = Q_{imes}/S_h$, где f_1 — коэффициент тепlopотерь здания, Вт/(м²·К); f_{2i} — удельная мощность бытовых тепловыделений, Вт/м²; q_{isol} — удельная мощность поступления солнечной энергии, Вт/м²; S_h — отапливаемая площадь здания, м²; t_{in}^i и t_{out}^i — средняя температура воздуха в здании и температура наружного воздуха на соответствующих интервалах измерения, °С; N_i — длительность i -го интервала измерений, сутки.

Потребление энергии в энергоэффективном здании — Минске

табл. 2

2017–2018 годы	Потребление теплоты, Гкал			Потреблённая вода, м³		Кол-во человек
	общее	на отопление	на ГВС	холодная	горячая	
Октябрь	44,41	35,92	8,49	266,63	194	90
Ноябрь	62,91	52,89	10,02	302,73	248	115
Декабрь	76,26	66,14	10,12	263,8	237	110
Январь	95,7	83,6	12,3	329,71	273	126
Февраль	90,02	78,35	11,67	292,03	296	136
Март	84,18	71,6	12,6	278,49	251	115
Апрель	35,99	17,93	18,6	155,76	340	338
Среднее (сумма)	489	406	84	1889,15	1839	Средн. 147

Энергетические характеристики здания для расчётных условий — Минск

табл. 3

Отопительный сезон 2017–2018	$t_{out,i}$, °С	q_{mes} , кВт·ч/м²	f_1 ($t_{вн} = 21,5$ °С), Вт/(м²·К)	q_{ud} , кВт·ч/м²
Октябрь	7,040	4,1	0,516	17,5
Ноябрь	3,250	6,1	0,532	18,5
Декабрь	0,300	7,6	0,540	19,5
Январь	–5,6	9,7	0,530	18,0
Февраль	–4,6	9,1	0,580	22,0
Март	0	8,3	0,520	17,5
Апрель	6,00	2,09	0,300	13,2
Среднее (сумма)	0,18	Сумм. 45,2	0,540	19,5

Упрощённая методика определения теплоэнергетических показателей зданий основывается на расчёте потребления тепловой энергии на отопление, приведённой в [4]

Возможность определения значений f_{2i} следует из результатов исследований, приведённых в [7]. В работе [7] установлено, что бытовые тепловыделения в жилых зданиях связаны прежде всего с деятельностью человека, и их мощность можно рассчитать исходя из значения $q_{0int} = 147$ Вт на человека.

Тогда среднюю мощность бытовых тепловыделений в конкретном отопительном периоде можно рассчитать по следующей формуле:

$$f_{2i} = q_{0int}/S_{1i},$$

здесь q_{0int} — средняя мощность бытовых тепловыделений, приходящаяся на одного человека, Вт/чел.; $S_{1i} = S_h/n_i$, где n_i — среднее количество людей в здании в i -м интервале.

Количество людей, проживающих в здании, с учётом исследований, результаты которых приведены в [7], можно определить по потреблению горячей воды по формуле: $n = V_{ci}/0,07$, где V_{ci} — средний объём горячей воды, потребляемой в здании за сутки отопительного периода, л/сут.; $0,07 \text{ м}^3$ — среднесуточное потребление на человека [7].

Расчёт удельного потребления тепловой энергии для расчётных условий выполняется по формуле:

$$q_{ud} = 0,024 [f_1 G_r - N_r (f_2 + q_{sol})],$$

где N_r — расчётное значение количества дней отопительного сезона (берётся по климатическому справочнику); $G_r = N_r(t_{in} - t_{out})$ — расчётное количество градусо-суток в отопительном сезоне; f_2 — нормативная удельная мощность бытовых тепловыделений, Вт/м²; q_{sol} — расчётная удельная мощность поступления солнечной энергии, Вт/м².

Для поступления солнечной энергии необходимо знать тип окон в здании, ориентацию здания, площадь остеклённой поверхности по сторонам света, данные о солнечной активности в рассматриваемых отопительных сезонах.

Практика теплотехнических расчётов при проектировании показывает, что удельное поступление солнечной энергии в многоквартирных зданиях в различных регионах составляет 7–8 кВт·ч/м² за отопительный сезон. Получим $q_{sol} = 1,46 \text{ Вт/м}^2$. Недостатком указанного способа является необходимость наличия дополнительной к показаниям счётчика тепловой энергии информации: температура воздуха в здании и потребление горячей воды (число жителей).

Следует отметить, что результаты расчётов по упрощённой методике носят оценочный характер, поскольку будут получены при следующих предположениях:

- температура воздуха в зданиях остаётся постоянной весь рассматриваемый период;
- потребление горячей воды в зданиях в расчёте на одного человека имеет одно и то же значение для всех зданий.

Предварительные результаты мониторинга зданий

Предварительные результаты мониторинга в Минске

В дополнение к стандартным техническим и проектным решениям зданий серии 111-90 в энергоэффективной модификации здания в Минске предполагаются дополнения, приведённые в табл. 1 и обеспечивающие снижение расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию, а также в системе ГВС. В табл. 2 приведены результаты мониторинга эксплуатации энергоэффективного здания в Минске в отопительном сезоне 2017–2018 годов. Отопление было включено с 7 октября 2017 года. Данные по потреблению энергии в здании получены по конец апреля 2018 года.

При полной заселённости в здании должно проживать около 450 человек. Рассчитывая количество жителей по потреблению горячей воды, получили заселённость здания на начало апреля 115 человек. При этом из таблицы можно сделать вывод, что заселённость здания увеличивается в среднем на 10–15 человек в месяц, то есть режим потребления энергии на отопление здания ещё не установился, поэтому для расчёта этого показателя для энергоэффективных зданий в Минске, Гродно и Могилёве использовалась упрощённая методика измерений, описанная ранее. В силу слабой заселённости здания (около 25%) потребление тепловой энергии на горячее водоснабжение составляло около 15% затрат тепловой энергии на отопление.

В табл. 3 представлены результаты обработки информации, полученной по упрощённой методике [5, 6]. Средняя температура воздуха в здании, с учётом расположения

Результаты мониторинга потребления и выработки энергии в энергоэффективном здании — Гродно*

табл. 4

Отопит. сезон 2017–2018	Потребление тепловой энергии на отопление от различных источников, Гкал			Потребление тепловой энергии на ГВС от различных источников, Гкал			Потребление электроэнергии тепловым насосом (ТН), суммарное и от фотоэлектрической батареи, кВт·ч		Значение коэффициента использования электроэнергии (COP)
	ТН	ТС	Сумма	ТН	ТС	Сумма	Сумма	ФЭ	
Октябрь	39,3	0		0,9	10,3	11,2	8556	8550	5,5
Ноябрь	50	9,62	59,6	2,5	13,34	15,84	21 021	1040	2,9
Декабрь	50,7	25,8	76,5	4,4	16	20,4	20 170	726	3,2
Январь	40,8	48,7	89,5	6,1	17,5	23,6	15 663	265	3,5
Февраль	32,8	57,8	90,6	6,3	15,2	21,5	14 724	593	3,091
Март	откл.		70	откл.		22		3487	—
Апрель	откл.		20	откл.		8		6513	—
Сумма	213	84,1	136,1	20,2	72,3	47,44	80 134	10 581	3,2

* В отопительном сезоне 2017–2018. Обозначения: ТН — тепловой насос; ТС — внешние тепловые сети; ФЭ — фотоэлектрическая батарея.

датчиков температуры в квартирах, составляет около 21°C. Фактические удельные показатели потребления тепловой энергии на отопление составляют за этот период 45,2 кВт·ч/м² за весь отопительный сезон.

Расчёт удельного потребления энергии для расчётных условий эксплуатации выполнялся для измеренного в процессе мониторинга среднего значения температуры воздуха в здании, равного 21,5°C. Поскольку в октябре и апреле эксплуатация здания выполнялась часть месяца, среднее значение определяли по остальным пяти месяцам. Пересчёт показаний счётчика по приведённой выше методике на расчётные условия эксплуатации (18°C в здании, 3740 градусо-суток отопительного сезона, полная заселённость) дают значение расчётного удельного потребления 20,5 кВт·ч/м² в год при температуре воздуха в здании 19,5°C (среднее для ближайших значений) в процессе эксплуатации, что практически совпадает с проектным значением, равным 23 кВт·ч/м² в год.

Если учесть, что при малой заселённости — 118 вместо 450 человек — мощность бытовых тепловыделений в здании составит 7,7 вместо нормы, составляющей 30 кВт·ч/(м²·чел.) в год и из цифры 45 вычесть недостающую величину 22,3 кВт·ч/(м²·чел.) в год, получим хорошее совпадение данных, полученных при эксплуатации здания и для расчётных значений. Таким образом, предварительные данные мониторинга энергоэффективного здания, расположенного в Минске, подтверждают рассчитанные при выполнении проекта данные удельного потребления тепловой энергии на отопление здания.

Следует отметить, что коэффициент корреляции данных изменения наружной температуры и изменения потреблённой для отопления энергии, рассчитанный по формуле:

$$K = \frac{\sum(\Delta t \Delta q)}{\sqrt{\sum(\Delta t)^2 \sum(\Delta q)^2}}$$

равен значению 0,84, что является достаточно низкой величиной. Это может быть вызвано последовательным заселением здания, что постоянно изменяет режим эксплуатации. Данный факт также вызывает обеспокоенность качеством регулирования подачи теплоносителя в здание.



Энергоэффективный дом в Минске

Коэффициент удельных теплопотерь и удельное потребление тепловой энергии*

табл. 5

Отопит. сезон 2017–2018	q_{mes} , кВт·ч/м²	n , чел.	f_1 (при 22°C), Вт/(м²·К)	q_0 (при 22°C), кВт·ч/м²
Октябрь	4,43	131	0,61	18,50
Ноябрь	6,71	167	0,71	26,70
Декабрь	8,62	208	0,76	30,72
Январь	10,08	241	0,69	25,50
Февраль	10,20	243	0,67	23,93
Март	7,88	225	0,58	16,34
Апрель	2,25	282	0,53	12,53
Сумм	50,18	214	0,64	21,39

* Коэффициент удельных теплопотерь f_1 и удельное потребление тепловой энергии q_{mes} для расчётных условий q_0 .

При таком значении коэффициента корреляции использование двухступенчатой процедуры [8] для определения удельного потребления тепловой энергии для расчётных условий нецелесообразно, поскольку приведёт к значительной погрешности в результате.

При функционировании здания в стационарном режиме значение коэффициента корреляции этих величин составляет более 0,95.

Предварительные результаты мониторинга энергоэффективного здания в Гродно

В дополнение к стандартным техническим и проектным решениям аналогичных зданий в энергоэффективной модификации здания выполнены дополнения, приведённые в табл. 1 и обеспечивающие снижение расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию, а также в системе горячего водоснабжения.

В табл. 4 приведены результаты мониторинга эксплуатации энергоэффективного здания в Гродно в отопительном сезоне 2017–2018.

Отопление в период с 7 октября по конец декабря на 80 % покрывалось работой тепловых насосов. Средняя температура воздуха в здании, с учётом расположения датчиков температуры в квартире, составляет 22°C.

В силу слабой заселённости здания (около 30 %) потребление тепловой энер-

гии на горячее водоснабжение составляло менее 25 % затрат тепловой энергии на отопление.

Для работы теплового насоса было израсходовано 65 410 кВт·ч электрической энергии, из них 10 581 кВт·ч, то есть около 20 %, было «покрыто» работой фотоэлектрической системы.

Тепловой насос выработал при этом 180,8 Гкал (240 451 кВт·ч) тепловой энергии. Соотношение тепловой энергии к затраченной электрической равно 3,3 при соотношении себестоимостей выработки электрической энергии к тепловой, равной 2,5.

Это показывает выгодность использования теплового насоса по сравнению с тепловым источником традиционного типа, хотя и ниже ожидаемого значения.

В марте тепловой насос был отключён, и в дальнейшем энергоснабжение здания выполнялось от централизованной тепловой сети.

Отключение теплового насоса было вызвано существующими в Республике Беларусь тарифами на энергию: стоимость тепловой энергии для населения в 8,5 раза меньше, чем стоимость электрической энергии, что делает невыгодным его использование.

В табл. 5 представлены результаты обработки информации, представленной в табл. 7.10, по методике, изложенной в [5, 6]. Обработка данных по потреблению воды в здании, в расчёте 70 л на человека в сутки, показала наличие постоянно проживающих в здании 170 человек по сравнению с расчётным количеством около 480 человек.

Средняя температура воздуха в здании по результатам мониторинга — 22°C, что на 3°C превышает расчётное значение температуры. В первом столбце показано удельное потребление тепловой энергии на отопление по показаниям счётчика в месяц.

Поэтому удельные показатели суммарного потребления тепловой энергии на человека в здании составляют за отопительный сезон 50,18 кВт·ч/м² в год, что существенно выше проектного значения, приведённого в табл. 1.

В то же время пересчёт показаний счётчика на расчётные условия эксплуатации (18°C в здании, 3473 градусо-суток отопительного сезона, полная заселённость) дают для расчётного удельного потребления при температуре воздуха в здании в период эксплуатации 22°C значение 21,4 кВт·ч/м² в год, что несколько выше проектного значения, равного 15,5 кВт·ч/м² в год. Тем не менее, здание можно отнести к классу А+ по показателю удельного потребления тепловой энергии на отопление.

Таким образом, предварительные данные мониторинга энергоэффективного здания, расположенного в Гродно, подтверждают рассчитанные при выполнении проекта данные удельного потребления тепловой энергии на отопление здания и целесообразность использования теплового насоса для его теплоснабжения.

Следует отметить, что и в данном случае коэффициент корреляции данных изменения наружной температуры и изменения потреблённой для отопления энергии равен значению $K = 0,6$, что является низкой величиной. Это может быть вызвано последовательным заселением здания, что постоянно изменяет режим его эксплуатации. Это обстоятельство вызывает беспокойство качеством регулирования подачи теплоносителя в здание. При функционировании здания в стационарном режиме значение коэффициента корреляции этих величин составляет, как правило, более 0,95.

Предварительные результаты мониторинга здания в Могилёве

В дополнение к стандартным техническим и проектным решениям зданий данной серии в энергоэффективной модификации здания выполнены дополнения, приведённые в табл. 1, обеспечивающие снижение расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию, а также на приготовление горячей воды. В настоящее время здание (как и остальные) полностью не заселено. В настоящее время заселено 57 квартир.

В табл. 6 представлены результаты измерения потребления тепловой энергии зданием в отопительных сезонах 2016–2017 и 2017–2018. Отопление в здании было включено в ноябре 2016 года. Темпера-

В отопительном сезоне 2017–2018 годов значения коэффициента удельных тепловых потерь и удельного потребления тепловой энергии на отопление более стабильны. Потребление тепловой энергии для расчётных условий составляет в среднем около 40 кВт·ч/м² в год

тура воздуха в здании составляла в среднем 22 °С.

В табл. 7 представлены расчёты теплоэнергетических характеристик здания.

В отопительном сезоне 2016–2017 расчётные результаты значений коэффициента удельных тепловых потерь и удель-

ного потребления тепловой энергии на отопление неустойчивы, что объясняется ремонтными работами, проводимыми в здании.

В отопительном сезоне 2017–2018 значения коэффициента удельных тепловых потерь и удельного потребления тепловой энергии на отопление более стабильны. Потребление тепловой энергии для расчётных условий составляет в среднем около 40 кВт·ч/м² в год. Выход на расчётное потребление тепловой энергии ожидается при заселённости здания не менее чем на 70 % от проектной, то есть не менее 110 квартир.

Среднее значение удельного потребления для расчётных условий по двум отопительным сезонам составляет около 33 кВт·ч/м² в год при проектном значении 23,8 кВт·ч/м² в год.

Коэффициент корреляции данных изменения наружной температуры и изменения потреблённой для отопления энергии равен 0,58, что является низкой величиной и вызывает обеспокоенность качеством регулирования подачи теплоносителя в здание. При функционировании здания в стационарном режиме целесообразно выполнить повторную наладку работы регулятора.

Выводы

В проектах энергоэффективных жилых домов нового поколения предусмотрено применение в системах отопления, вентиляции и горячего водоснабжения зданий вторичных и возобновляемых источников энергии.

По итогам первого отопительного был выполнен анализ потребления и выработки энергии энергоэффективным инженерным оборудованием экспериментальных зданий, а также выполнены расчёты энергетических характеристик зданий для расчётных условий эксплуатации.

Тепловые насосы в здании, расположенном в Гродно, продемонстрировали высокий коэффициент преобразования электрической энергии, равный 3,2. Проблемным вопросом при его эксплуатации оказалась высокая стоимость электрической энергии, вследствие чего жители отключили тепловой насос в марте 2018 года и перешли к энергоснабжению из тепловой сети.

Фотоэлектрическая батарея в здании, расположенном в Гродно, обеспечивает подачу электроэнергии, в основном начиная с марта по октябрь, подтверждая расчётные показатели.

Солнечный коллектор в здании, расположенном в Могилёве, практически не участвовал в горячем водоснабжении

... Результаты измерения потребления энергии на отопление и ГВС — Могилёв

табл. 6

Отопит. сезоны 2016–2017 и 2017–2018	Q _{mes} , Гкал	V _{GVS} , q/0,05 м ³	Q _{GVS} , Гкал	Q _h , Гкал	Кол-во дней отопления
10.2016	140,4	—	—	140,4	30
12.2016	110	—	—	110	31
01.2017	145,3	—	—	145,3	31
02.2017	113,7	—	—	113,7	28
03.2017	43,6	—	—	43,6	31
04.2017	40,8	—	—	40,8	30
05.2017	111,1	536	26,8	84,2	23
11.2017	139,5	574	28,7	110,8	30
12.2017	155,5	596	29,8	125,7	31
01.2018	174,73	604	30,2	144,5	31
02.2018	154,3	420	21	134	28
03.2018	143,3	380	19	129,55	31
04.2018	—	—	—	15,7	9
Сумма (2016–2017)	593,8	—	—	593,8	—
Сумма (2017–2018)	878,4269	3110	155,5	744,4769	183

... Расчёты теплоэнергетических характеристик здания — Могилёв

табл. 7

Месяцы	t _{out}	q _{mes} , кВт·ч/(м ² ·мес.)	n, чел.	Q _{быт} , кВт·ч	f _d (при 22 °С), Вт/(м ² ·К)	q _{расч} (при 22 °С), кВт·ч/(м ² ·год)
Отопительный сезон 2016–2017 (1)						
Ноябрь	–1,30	11,77	—	—	0,70	37,21
Декабрь	–2,59	9,22	—	—	0,52	19,89
Январь	–6,74	12,19	—	—	0,59	26,39
Февраль	–3,99	9,54	—	—	0,51	18,79
Март	3,59	3,66	—	—	0,28	–3,59
Апрель	5,36	3,42	—	—	0,29	–2,65
Отопительный сезон 2017–2018 (начало — 7 октября, окончание — 9 апреля) (2)						
Октябрь	6,35	7,06	247	1,77	0,87	42,61
Ноябрь	2,20	9,29	264	1,89	0,87	45,13
Декабрь	–0,16	10,54	274	1,96	0,83	42,64
Январь	–3,30	12,12	278	1,99	0,81	41,79
Февраль	–5,90	11,24	214	1,38	0,73	34,47
Март	–3,00	10,86	193	1,25	0,78	39,07
Апрель	7,30	1,32	278	0,58	0,69	27,14
2016–2017 годы	–0,95	49,80	—	—	0,66	25,6
2017–2018 годы	–0,30	62,43	255	9,00	0,85	40,6
Среднее	–0,79	112,23	—	10,8	0,68	33,1

здания вследствие проблем, связанных с отладкой режимов эксплуатации, и начинает активный режим работы в конце сентября текущего года.

Заселение зданий выполняется медленно. На настоящий момент заселено 35–40 % квартир. Это не даёт возможность запустить в работу системы утилизации сточных вод. Это же обстоятельство приводит к низкому значению коэффициента корреляции между изменением температуры наружного воздуха и изменением подачи тепловой энергии в здании. После заселения здания целесообразно выполнить повторную наладку группового регулятора теплоты в здании.

Удельное потребление тепловой энергии на отопление по отопительному сезону 2017–2018 превышает во всех трёх зданиях проектные значения. Однако пересчёт удельного потребления для расчётных условий, выполненный в статье, показал следующее:

1. В энергоэффективном здании, расположенном в Минске, пересчёт удельного потребления для расчётных условий дал значение 19,5 кВт·ч/м² в год, что ниже проектного значения, равного 23,8 кВт·ч/м² в год.

Фактор медленного заселения не даёт возможность запустить в работу системы утилизации сточных вод. Это же обстоятельство приводит к низкому значению коэффициента корреляции между изменением температуры наружного воздуха и изменением подачи тепловой энергии

2. В энергоэффективном здании, расположенном в Гродно, пересчёт удельного потребления для расчётных условий дал значение 21,4 кВт·ч/м² в год, что ниже проектного значения, равного 15,5 кВт·ч/м² в год.

3. В энергоэффективном здании, расположенном в Могилёве, при пересчёте удельного потребления для расчётных условий получили 33,1 кВт·ч/м² в год, что больше проектного значения, равного 23,3 кВт·ч/м² в год.

Предполагается выход на проектные значения удельного потребления тепловой энергии на отопление и вентиляцию в последующих сезонах при полном заселении зданий и выходе на стационарный режим эксплуатации.

Система утилизации тепловой энергии сточных вод будет подключена для подогрева холодной воды в системе горячего водоснабжения зданий при заселённости здания на 60–70 %.

1. Пилипенко В.М., Данилевский Л.Н., Терехов С.В., Кацынель Р.Б., Гребеньков А.Ж. Энергоэффективные жилые здания второго поколения в проекте ПРООН-ГЭФ в Республике Беларусь // Журнал С.О.К., 2017. №11. С. 61–67.
2. Пилипенко В.М., Данилевский Л.Н., Потерщук В.А. Энергоэффективный панельный дом серии 111-90 ОАО «МАПИД» // Архитектура и строительство, 2007. №2. С. 98–101.
3. Данилевский Л.Н., Потерщук В.А., Янчарский И.Б. Опыт эксплуатации энергоэффективного панельного жилого дома // Архитектура и строительство, 2009. №3. С. 42–46.
4. ТКП 45-2.04-196. Тепловая защита зданий. 2010.
5. Данилевский Л.Н., Данилевский С.Л., Дмитриев Г.М. Упрощённая методика определения удельного потребления тепловой энергии на отопление для расчётных условий эксплуатации зданий // Энергоэффективность, 2017. №5. С. 26–29.
6. Данилевский Л.Н., Данилевский С.Л. Сравнительный анализ методов определения теплоэнергетических характеристик эксплуатируемых зданий // Журнал С.О.К., 2017. №8. С. 52–57.
7. Данилевский Л.Н. Принципы проектирования и инженерное оборудование энергоэффективных жилых зданий. — Минск: ООО «Бизнесофсет», 2011. 375 с.
8. Данилевский Л.Н., Данилевский С.Л. Алгоритм и точность определения теплотехнических показателей зданий // Инженерно-строительный журнал, 2017. №5. С. 49–61.

References — see p. 95.

Preliminary results of monitoring energy-efficient buildings in the Republic of Belarus. Pp. 70–77.

L. N. Danilevskij, Doctor of Technical Science, the First Deputy Director; **V. M. Pilipenko**, Doctor of Engineering, Professor, Director; **S. V. Terekhov**, PhD, Head of Department, the Republican Unitary Enterprise (State Enterprise) "Institute of Housing — NIPTIS named Ataev S.S."

1. Pilipenko V.M., Danilevskij L.N., Terekhov S.V., Kacynel' R.B., Greben'kov A.Zh. *Jenergojeffektivnye zhilye zdaniya vtorogo pokolenija v proekte PROON-GJeF v Respublike Belarus'* [Energy-efficient residential buildings of the second generation in the Project of the United Nations Development Program and the Global Environment Facility (UNDP/GEF) in the Republic of Belarus]. *Zhurnal Santehnika, otoplenie, kondicionirovanie (S.O.K.)* [Journal of Plumbing, Heating, Ventilation]. 2017. No. 11. Pp. 61–67.
2. Pilipenko V.M., Danilevskij L.N., Potershhuk V.A. *Jenergojeffektivnyj panel'nyj dom serii 111-90 OAO "MAPID"* [Energy-efficient panel house 111-90 series by "MAPID", LLC]. *Arhitektura i stroitel'stvo* [Architecture and construction]. 2007. No. 2. Pp. 98–101.
3. Pilipenko V.M., Danilevskij L.N., Potershhuk V.A., Jancharskij I.B. *Opyt jekspluatacii jenergojeffektivnogo panel'nogo zhilogo doma* [Experience in the operation of an energy-efficient panel apartment house]. *Arhitektura i stroitel'stvo* [Architecture and construction]. 2009. No. 3. Pp. 42–46.
4. *TKP* [Technical Code of Common Practice] 45-2.04-196. *Teplovaja zashhita zdaniy* [Thermal protection of buildings]. Minsk. 2010.
5. Danilevskij L.N., Danilevskij S.L., Dmitriev G.M. *Uproshhemaja metodika opredelenija udel'nogo potreblenija teplovoj jenerгии na otoplenie dlja raschetnykh uslovij jekspluatacii zdaniy* [Simplified methodology for determining the specific consumption of heat energy for heating for design conditions for the use of buildings]. *Jenergojeffektivnost'* ["Energy efficiency" Magazine]. 2017. No. 5. Pp. 26–29.
6. Danilevskij L.N., Danilevskij S.L. *Sravnitel'nyj analiz metodov opredelenija teplojenergeticheskikh harakteristik jekspluatiruemykh zdaniy* [A comparative analysis of methods for determining the heat-and-power characteristics of operated buildings]. *Zhurnal Santehnika, otoplenie, kondicionirovanie (S.O.K.)* [Journal of Plumbing, Heating, Ventilation]. 2017. No. 8. Pp. 52–57.
7. Danilevskij L.N. *Principy proektirovaniya i inzhenernoe oborudovanie jenergojeffektivnykh zhilykh zdaniy* [Principles of design and engineering equipment for energy-efficient residential buildings]. Minsk: OOO "Biznesofset" [Businessofset, Ltd.]. 2011. 375 p.
8. Danilevskij L.N., Danilevskij S.L. *Algoritm i tochnost' opredelenija teplotehnicheskikh pokazatelej zdaniy* [The algorithm and accuracy of determination of heat engineering indicators of buildings]. *Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal* [Journal of Engineering and Construction]. 2017. No. 5. Pp. 49–61.