

Леонид Данилевский
Владимир Пилипенко
Владимир Потерщук

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЙ панельный дом серии 111-90 МАПИД

Для отопления и горячего водоснабжения жилого фонда Республики Беларусь используется около 35–40% энергоресурсов страны, и усилия, направленные на снижение энергопотребления в данной сфере имеют большую народнохозяйственную значимость. Страны Западной Европы, ведущие интенсивный поиск путей снижения энергопотребления при эксплуатации жилья, в настоящее время переходят к возведению зданий в стандарте "пассивный дом", уровень теплопотерь в которых составляет 10–20% от существующего [1, 2].

По заданию Минстройархитектуры в республике также ведутся исследования по созданию энергоэффективного, достаточно дешевого жилого дома. Одним из их результатов является проект экспериментального здания, разработанного УП "Институт НИПТИС" совместно с ОАО "МАПИД", строительство которого осуществляется в микрорайоне Красный Бор-1 г. Минска.

Поскольку в массовом домостроении из-за сравнительной дешевизны и высокой скорости возведения по-прежнему наибольшим спросом пользуются панельные здания, и с точки зрения тиражирования решений энергосберегающего строительства они являются наиболее привлекательными объектами для создания массового энергоэффективного жилья.

Энергосберегающие решения энергоэффективного дома

Цель экспериментального проекта – отработка технических решений по снижению теплопотребления до 30 кВт·ч/м² в год здания серии 111-90 МАПИД без изменения его планировочных решений и модернизации технологического оборудования предприятия.

Достичь намеченного уровня с помощью только дополнительного утепления технически невозможно, так как расчетные теплопотери через ограждающие конструкции стандартного серийного здания составляют около 50% общего уровня (рис. 1), или 49 кВт·ч/м² в год [3].

Поэтому в экспериментальном проекте наряду со снижением теплопотерь через ограждающие конструкции предусмотрено их уменьшение через системы вентиляции. Предложены следующие технические решения:

- окна нового поколения с сопротивлением теплопередаче $R = 1,2 \text{ м}^2 \cdot \text{град}/\text{Вт}$, что позволяет экономить 11 кВт·ч/м² в год;
- стеновые панели с увеличенным сопротивлением теплопередаче в среднем до значения $R = 4 \text{ м}^2 \cdot \text{град}/\text{Вт}$, что дает экономию 10 кВт·ч/м² в год;
- новое поколение разработанных институтом систем принудительной вентиляции и отопления.

В итоге теплопотери через оболочку здания, по нашим расчетам, составят около 25 кВт·ч/м² в год.

Уровень потерь тепла с вентиляционными выбросами зависит от эффективности используемой в здании системы рекуперации тепла. Расчетный уровень теплопотерь здания для различного значения коэффициента полезного действия рекуператора приведен в табл. 1. Обеспечить 100%ный воздухообмен через рекуператор тепла невозможно технически. Следует иметь в виду, что из-за недостаточной герметичности строительных конструкций, открывания входных и балконных дверей и т.п. всегда остается вероятность свободного воздухообмена. Его уровень принят для расчетов равным 10% общего воздухообмена, образуя соответственно 5 кВт·ч/м² теплопотерь в год. Таким образом, уровень теплопотерь здания равен сумме теплопотерь, соответствующих заданному значению КПД

Таблица 1

КПД рекуператора	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
Теплопотери здания, кВт·ч/м ² в год	55	50	44	39	34

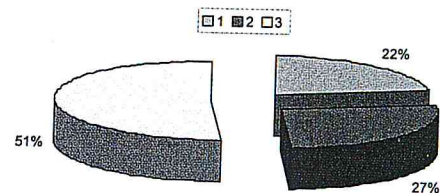


Рис. 1. Распределение теплопотерь в здании, %:
1 – через окна; 2 – через ограждения; 3 – с воздухообменом

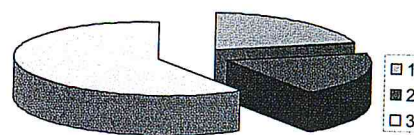


Рис. 2. Теплопотери, середина фасада, $Q=84 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$ в год, $R_{\text{окн}}=2, R_0=0,6$:
1 – окно; 2 – ограждение; 3 – воздухообмен

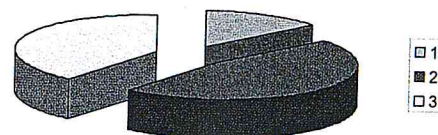


Рис. 3. Теплопотери, торцевая комната, $Q=126 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$ в год, $R_{\text{окн}}=2, R_0=0,6$:
1 – окно; 2 – ограждение; 3 – воздухообмен

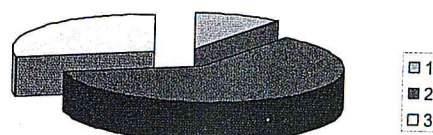


Рис. 4. Теплопотери, торцевая комната верхнего этажа, $Q=175 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$ в год, $R_{\text{окн}}=2, R_0=0,6$:
1 – окно; 2 – ограждение; 3 – воздухообмен

рекуператора, и теплопотерь со свободным воздухообменом.

Данные таблицы делают очевидным вывод о том, что уровень теплопотерь 30 кВт·ч/м² в год не может быть достигнут в здании с приведенными выше характеристиками. Однако здесь не учтен фактор внутренних источников тепла и солнечной энергии [4].

Рассмотрим минимальный уровень тепловыделений, обусловленный только присутствием в квартире жителей. Значение мощности тепла, выделяемого одним человеком, рассчитанное по данным из [5] для температуры 18°C, равно 96 Вт.

Посчитав среднее для Беларуси значение общей площади зданий на одного человека, равное 22,6 м² [6], получим средний уровень тепловыделений $P = 4 \text{ Вт/м}^2$, что дает 19 кВт·ч/м² в год. Использование тепловыделений с коэффициентом 0,8 дает дополнительно 15 кВт·ч/м² тепла в год. С учетом рассмотренного фактора для рекуператора с коэффициентом полезного действия не менее 0,7 может быть достигнут планируемый уровень теплопотерь здания – 30 кВт·ч/м² в год.

Конструкция оболочки здания

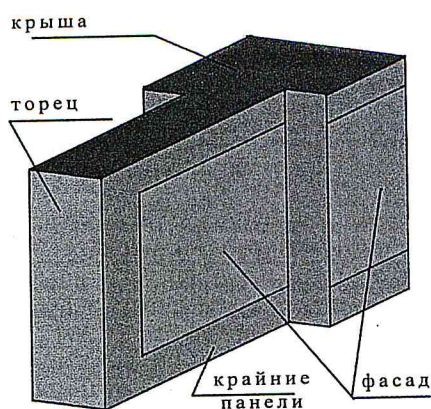
Одним из недостатков существующих конструкций оболочки зданий является то, что в зависимости от расположения помещений в них наблюдается различный удельный уровень теплопотерь. Сказанное подтверждается рис. 2–4.

Как видно, в квартирах верхнего и нижнего этажей и в торце здания теплопотери особенно велики. В тех же, что размещаются в середине фасада, они наполовину меньше, чем в помещениях верхнего этажа, и в 1,5 раза меньше, чем в торцевых помещениях. Это обстоятельство требует более мощной системы отопления и соответственно больших расходов на отопление при оплате фактического уровня энергопотребления помещений.

В энергоэффективном здании реализован принцип неоднородного утепления стен жилого здания [7]. Распределение сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций в зависимости от их расположения приведено на рис. 5.

Данная конструкция обеспечивает выравнивание теплопотерь по зданию. Однако ее реализация в здании КПД связана с определенными трудностями.

Известно [8], что нормативное сопротивление теплопередаче наружных трехслойных стеновых панелей зданий серий КПД равно 2,5 м²·град/Вт. Общая толщина панелей середины зда-



термическое сопротивление

	$R = 6 \text{ м}^2 \text{ К/Вт}$
	$R = 5,2 \text{ м}^2 \text{ К/Вт}$
	$R = 4,2 \text{ м}^2 \text{ К/Вт}$
	$R = 3,2 \text{ м}^2 \text{ К/Вт}$

Рис. 5. Конструкция стеновой оболочки здания

ния составляет 300, а в торце – 350 мм. Так как технология их изготовления предполагает жесткие ограничения на размеры форм и толщину слоев бетона, увеличение сопротивления теплопередаче возможно только путем совершенствования теплотехнических характеристик конструкции стеновой панели без изменения ее габаритных размеров. С целью обеспечения требуемых теплотехнических характеристик (рис. 5) в различных частях здания предложены следующие изменения конструкции стеновой панели по сравнению со стандартными образцами:

- гибкие связи слоев бетона из стеклопластиковой арматуры взамен металлических;
- более эффективный утеплительный материал. Вместо пенополистирола частично (для середины фасада) или полностью (для остальных частей) использован пеноплекс;
- в оконных проемах вместо полистиролбетона применена минплита;
- увеличена толщина слоя утеплителя в области установки отопительных приборов;
- улучшена конструкция стыка панелей.

В результате предложенных изменений сопротивление теплопередаче оболочки здания соответствует рис. 5. Испытания стеновых панелей, проведенные в УП "Институт БелНИИС", подтвердили достижение расчетных значений сопротивления теплопередаче стеновых панелей.

Дополнительное снижение теплопотерь через оболочку здания обеспечивает использование окон, конструкция которых подробно описана в [9], с повышенным (1,2 м²·град/Вт) сопротивлением теплопередаче.

Конструкция системы вентиляции здания

Недостатком существующих систем зданий является ограниченный подход к проектированию, когда каждый элемент здания рассматривается в отрыве от остальных, что не позволяет оптимизировать конструкцию здания в виде единой энергетической системы. При этом основной акцент делается на совершенствование конструктивно-технологических и объемно-планировочных решений. Снижение уровня эксплуатационных теплопотерь достигается за счет повышения сопротивления теплопередаче оболочки здания, в то время как инженерные системы практически остаются неизменными. Это обстоятельство является причиной возникновения ряда негативных явлений, связанных с ухудшением качества воздушной среды, нарушением температурного и влажностного режима в помещениях и пр. К этому можно добавить, что в зданиях, строящихся по существующим нормативам, на вентиляционные выбросы приходится до 50% теплопотерь.

В экспериментальном проекте энергоэффективного жилого дома предусмотрена децентрализованная система приточно-вытяжной вентиляции с механическим побуждением и рекуперацией тепла уходящего из помещений воздуха. В каждой квартире установлены блок вентиляции и система управления, позволяющие обеспечить независимое регулирование работы приточного и вытяжного вентиляторов. В приточном вентиляционном канале находится электрический каналный нагреватель воздуха, поддерживающий заданную температуру приточного воздуха. Блок управления совмещает также функцию регулирования температурного режима квартиры.

В экспериментальном здании используются центральная водяная система отопления с горизонтальной разводкой, автоматическое регулирование подачи тепла в каждой квартире. Помимо группового счетчика тепла предусмотрен также индивидуальный учет затрат на отопление и горячее водоснабжение каждой квартиры.

Основное вентиляционное оборудование квартир – рекуператор, фильтры, вентиляторы расположены в лоджиях, к которым примыкают общие приточный и вытяжной каналы, проходящие по наружной части фасада.

Приточные вентиляционные каналы каждой квартиры подключены к общей приточной шахте, которая забирает воздух с уровня выше третьего этажа, обеспечивая тем самым его высокое качество во всем здании.

Вытяжные вентиляционные каналы подключены к общей вытяжной шах-

те с выводом отработанного воздуха на крыше.

Забор приточного воздуха производится из общей приточной шахты через рекуператор тепла и с помощью воздуховодов подается в жилые помещения.

Удаление воздуха из квартиры происходит через помещения кухни, ванной комнаты и туалета путем перетекания из жилых комнат через рекуператор тепла в общую вытяжную вентиляционную шахту.

Индивидуальные приточно-вытяжные вентиляционные системы с рекуперацией уходящего из помещений воздуха обеспечивают:

- нормативный уровень воздухообмена в каждой квартире;
- высокое качество воздуха путем забора его с уровня верхних этажей и фильтрации;
- возврат тепла уходящего из помещений воздуха и утилизацию тепла внутренних источников и солнечной энергии через систему рекуперации тепла и перераспределение его с приточным воздухом между помещениями квартиры. Это позволяет вернуть более 80% тепла, выводящегося из помещений в процессе воздухообмена, снизить уровень теплопотерь здания;
- поддержание оптимальных температуры, влажности и газового состава воздушной среды в жилых помещениях, управление воздухообменом – достижение нормируемого его уровня при наличии людей и понижение уровня вентиляции при их отсутствии и пр.;
- снижение уровня наружного шума за счет постоянно закрытых окон;
- устранение опасности возникновения конденсата и плесени на поверхности стен и оконных рам;
- работу в трех режимах – дежурном, рабочем и форсированном.

На рис. 6 дан план системы вентиляции для типового этажа здания.

На рис. 7 приведен интерьер квартиры с воздуховодными каналами, отчего, на наш взгляд, он хуже не становится. Отметим тот факт, что предложенная система вентиляции позволила отказаться от вентиляционных каналов на кухне, увеличив тем самым полезную площадь.

Итак, в результате выполнения проекта строительства и последующего мониторинга экспериментального дома планируется получить ряд положительных результатов.

Экономия тепловой энергии через стеновую оболочку энергоэффективного здания (по сравнению с типовым) составит 21 кВт·ч/м² в год, а теплопотери, включая окна, – 28 кВт·ч/м² в год. Спротивление теплопередаче стеновых панелей дифференцировано в зависимости от расположения помеще-

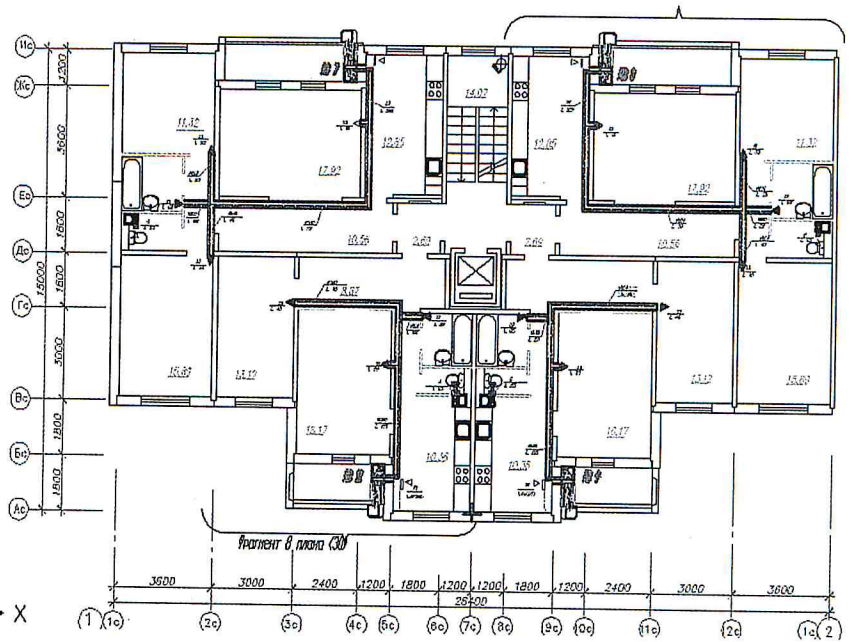


Рис. 6

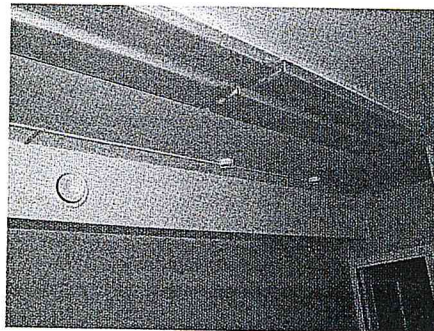


Рис. 7

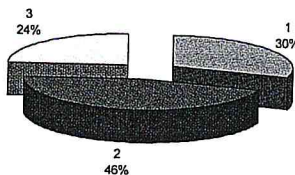


Рис. 8. Распределение уровня теплопотерь в энергоэффективном здании: 1 – через окна; 2 – через ограждения; 3 – с воздухообменом



Рис. 9

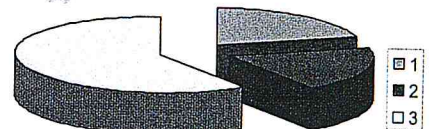


Рис. 10. Теплопотери, середина фасада, Q=84 кВт·ч/м² в год, R_{оп}=2, R_о=0,6: 1 – окно; 2 – ограждение; 3 – воздухообмен



Рис. 11. Теплопотери, торцевая комната верхнего этажа, Q=175 кВт·ч/м² в год, R_{оп}=2, R_о=0,6: 1 – окно; 2 – ограждения; 3 – воздухообмен

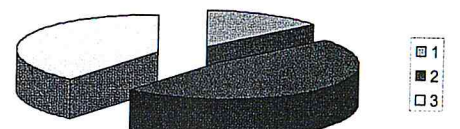


Рис. 12. Теплопотери, торцевая комната, Q=126 кВт·ч/м² в год, R_{оп}=2, R_о=0,6: 1 – окно; 2 – ограждения; 3 – воздухообмен

ний – минимально в середине фасада здания и максимально для торцевых панелей.

Уровень теплопотерь, обусловленный вентиляционными выбросами, уменьшится путем перехода к системе вентиляции с механическим побуждением и рекуперацией тепла уходящего из помещений воздуха. Данная система вовлечет в энергоснабжение внутренние источники тепла и технологические тепловыделения. По подсчетам, при уровне мощности внутренних источников тепла и технологических тепловыделений, равном 4 Вт/м², что соответствует мощности тепловыделения жиль-

Таблица 2

Расход энергии на отопление квартир экспериментального 9-этажного 4-секционного 142-квартирного жилого дома в микрорайоне Красный Бор-1 г. Минска

Расход энергии на отопление квартир на м² отапливаемой площади за отопительный период (202 сут.) при средней наружной температуре воздуха -1,6°С, кВт·ч/м² в год (приточно-вытяжная вентиляция с рекуперацией $\eta = 80\%$, средняя температура воздуха под перекрытием первого этажа + 8°С; R торцевых стен = 5,2 и 4,2 м²·°С/Вт; R наружных стен 1-го и 9-го этажей и выступов = 4,2 м²·°С/Вт; R наружных стен 2–8-го этажей = 3,2 м²·°С/Вт; R перекрытия пола = 2,5 м²·°С/Вт; R перекрытия последнего этажа = 6 м²·°С/Вт; R окон = 1 м²·°С/Вт, тепловыделения внутренних источников q = 4 Вт/м²)

Квартира, №	Этаж	Блок-секция 1 (торец СВ – вход 1)				Блок-секция 2 (вход 2)				Блок-секция 3 (вход 3)					Блок-секция 4 (торец ЮЗ – вход 4)				По дому
		1	2	3	4	37	38	Проход	39	72	73	74	75	108	109	ТС	118		
Количество комнат		4	1	1	3	4	1		4	4	1	1	3	4	1	2	2		
Жилая площадь		58,25	20,0	20,0	46,93	58,18	20,0		69,01	58,25	20,0	20,0	46,93	58,18	20,0		33,81		
Отапл. площадь		90,9	42,02	42,02	78,33	90,83	40,02		100,41	90,9	42,02	42,02	78,33	90,83	42,02	48,93	65,21		
Расход энергии		46,5	37,0	36,5	37,5	39,0	39,0		37,0	39,0	37,0	36,5	37,5	39,0	37,0	43,8	49,4		
Квартира, №	2	5	6	7	8	40	41	42	43	76	77	78	79	111	112	113	114		
Количество комнат		3	2	2	3	3	2	2	3	3	2	2	3	3	2	2	3		
Жилая площадь		45,13	29,29	29,29	45,13	45,13	29,29	29,29	45,13	45,13	29,29	29,29	45,13	45,13	29,29	29,29	45,13		
Отапл. площадь		77,78	55,1	55,1	77,78	77,78	55,1	55,1	77,78	77,78	55,1	55,1	77,78	77,78	55,1	55,1	77,78		
Расход энергии	2 (3-8)	34,2	22,9	22,4	26,1	26,1	22,9	24,2 (22,4)	26,1	26,1	22,9	22,4	26,1	26,1	22,9	24,2 (22,4)	33,4	31,1	
Квартира, №	9	33	34	35	36	68	69	70	71	104	105	106	107	139	140	141	142		
Количество комнат		3	2	2	3	3	2	2	3	3	2	2	3	3	2	2	3		
Жилая площадь		45,13	29,29	29,29	45,13	45,13	29,29	29,29	45,13	45,13	29,29	29,29	45,13	45,13	29,29	29,29	45,13		
Отапл. площадь		77,78	55,1	55,1	77,78	77,78	55,1	55,1	77,78	77,78	55,1	55,1	77,78	77,78	55,1	55,1	77,78		
Расход энергии		50,6	37,3	36,5	40,6	40,6	37,3	36,9	40,6	40,6	37,3	36,9	40,6	40,6	37,3	36,9	49,8		

Примечание. Расход тепла на отопление квартир 3–8-го этажей аналогичен расходу тепла квартир 2-го этажа.

цов, и коэффициенте использования этого тепла, равном 0,8, здание дополнительно получит 15 кВт·ч/м² в год тепловой энергии.

Итоговое распределение теплопотерь экспериментального энергоэффективного здания (рис. 8) свидетельствует о выравнивании их уровня через ограждающие и оконные конструкции, воздухообмен и снижении практически в 3 раза по сравнению с действующими нормами.

В табл. 2 приведены теплопотери различных помещений энергоэффективного дома. Они неодинаковы, несмотря на неоднородное утепление оболочки здания, однако разброс значений меньше, чем при равномерной оболочке (рис. 10–12).

На рис. 9 представлено энергоэффективное здание на стадии строительства.

Заключение

В ходе проведения эксперимента планируется достижение следующих результатов:

- получение фактических данных по энергетическому балансу энергоэффективного здания в климатической зоне Минска;
- приобретение опыта установки и эксплуатации индивидуальных при-

точно-вытяжных вентиляционных систем с рекуперацией уходящего из помещений воздуха в жилых зданиях массовых серий;

- определение фактической эффективности индивидуальных приточно-вытяжных вентиляционных систем с рекуперацией уходящего из помещений воздуха;

- отработка технических решений систем приточно-вытяжной вентиляции с рекуперацией тепла уходящего из помещений воздуха;

- отработка технических решений по увеличению сопротивления теплопередаче наружных стеновых панелей на существующем парке форм и созданию оболочки здания, обеспечивающей равномерные потери тепла в различных его частях;

- отработка технических решений по использованию оконных блоков нового поколения с сопротивлением теплопередаче выше 1 м²·°С/Вт;

- подготовка нормативной базы строительства энергоэффективных зданий в Беларуси.

Кроме того, реализация проекта создаст предпосылки для развития в Беларуси новых, обеспечивающих строительство энергоэффективных зданий производств по выпуску элементов индивидуальных приточно-вытяжных вентиляционных систем с рекуперацией

уходящего из помещений воздуха, оконных блоков с сопротивлением теплопередаче выше 1 м²·°С/Вт.

Литература

1. Feist W. Gestaltungsgrundlagen Passivhäuser / Verlag das Beispiel. 2001. Passivhäuser.
2. Данилевский Л.Н. Пассивный дом – основное направление энергоэффективного строительства // Архитектура и строительство. 2006. № 5. С. 106–109.
3. Данилевский Л.Н. К вопросу о снижении уровня теплопотерь здания. Опыт белорусско-германского сотрудничества в строительстве. Мн.: НПООО "Стринко", 2000. С. 76–78.
4. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. СНБ 4.02.01–03. Мн., 2004.
5. Богословский В.Н., Щеглов В.П., Разумов Н.Н. Отопление и вентиляция. М.: Стройиздат, 1980.
6. Жилищный фонд Республики Беларусь в 2005 г. Бюллетень Министерства статистики и анализа Республики Беларусь. С. 4.
7. Danilevski L. Perspectives of the passive house standard in Belarus. 8. Europäische Passivhaustagung 16–17. April 2004. Krems-Austria, 2000. S. 631–634.
8. Строительная теплотехника. СНБ 2.04.01–97. Мн., 1998.
9. Данилевский Л.Н., Таурогинский Б.И. Тепловые характеристики окон из комбинированного материала дерево – пенополиуретан – дерево // Строительная наука и техника. 2006. № 5. С. 8–15.

Архитектура и строительство 2/2007