

УДК 621.577

Н. Б. ЧИРКИН, канд. тех. наук

Е. В. ШЕРСТОВ

Институт проблем машинобудування ім. А. Н. Підгорного НАН України, м. Харків

А. С. КЛЕПАНДА канд. тех. наук

НЕСВИТАЙЛО В. А. канд. тех. наук

НПП «Инсолар», м. Харків.

## НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕПЛОНАСОСНЫХ СИСТЕМ ТЕПЛОХЛАДОСНАБЖЕНИЯ. Часть 3. УРОВЕНЬ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ЗДАНИЙ И КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ ТЕПЛОНАСОСНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

*Демонстрационное строительство в ряде стран показало, что современный уровень технологий и строительных материалов позволяет сооружать здания почти с нулевым потреблением первичной энергии инженерными системами жизнеобеспечения. Насколько вложенные средства в термомодернизацию зданий старой постройки, находящихся в эксплуатации, соотносятся с эффективностью энергосбережения, и как это сказывается на конкурентоспособности применения тепловых насосов в качестве генераторов коммунальной теплоты, рассматривается в данной статье на конкретном примере.*

*Демонстраційне будівництво у ряді країн показало, що сучасний рівень технологій і будівельних матеріалів дозволяє споруджувати будівлі майже з нульовим споживанням первинної енергії інженерними системами життєзабезпечення. Наскільки вкладені засоби в термомодернізацію будівель старої споруди, що знаходяться в експлуатації, співвідносяться з ефективністю енергозбереження, і як це позначається на конкурентоспроможності застосування теплових насосів як генератори комунальної теплоти, розглядається в даній статті на конкретному прикладі.*

### Вступ

Жилищно-коммунальное хозяйство Украины, затрагивающее интересы практически всех граждан, и где функционируют тысячи предприятий и организаций, работает около 7% трудоспособного населения и ежегодно расходуется до половины топливно-энергетических ресурсов страны, является важнейшей отраслью экономики. В то же время эта отрасль считается наиболее технически отсталой с целым рядом все обостряющихся проблем. Физический и моральный износ существующих центральных тепловых сетей и действующего здесь оборудования, обостряющийся из-за недостаточного финансирования, привёл к кризисному состоянию отечественного теплоснабжения во многих регионах. Низкая энергетическая эффективность большей части индивидуальных теплогенераторов и расточительное использование тепла у конечных потребителей провоцируют колоссальные потери тепловой энергии и приводят к необходимости сжигания огромных «лишних» количеств дорогого органического топлива. В результате средний удельный расход тепловой энергии на отопление жилого фонда в Украине оценивается величиной 600 кВт·ч/(м<sup>2</sup>·год), что в 4–5 раз больше, чем аналогичные показатели для таких «холодных» стран как Швеция, Норвегия и Финляндия. Кроме этого, сжигание «лишнего» топлива создаёт дополнительную нагрузку на природную среду увеличением выбросов вредных и парниковых газов, сбросов плохо очищенных стоков. Лишние энергозатраты и огромные потери приводят к необоснованному удорожанию коммунальных тарифов и услуг.

Если раньше эти проблемы нивелировались низкой стоимостью энергетических ресурсов, то сегодняшней неуклонный рост цен на энергоносители (рис. 1), истощение их мировых запасов делают не только актуальным, но жизненно необходимым поиск новых альтернативных источников тепловой энергии.

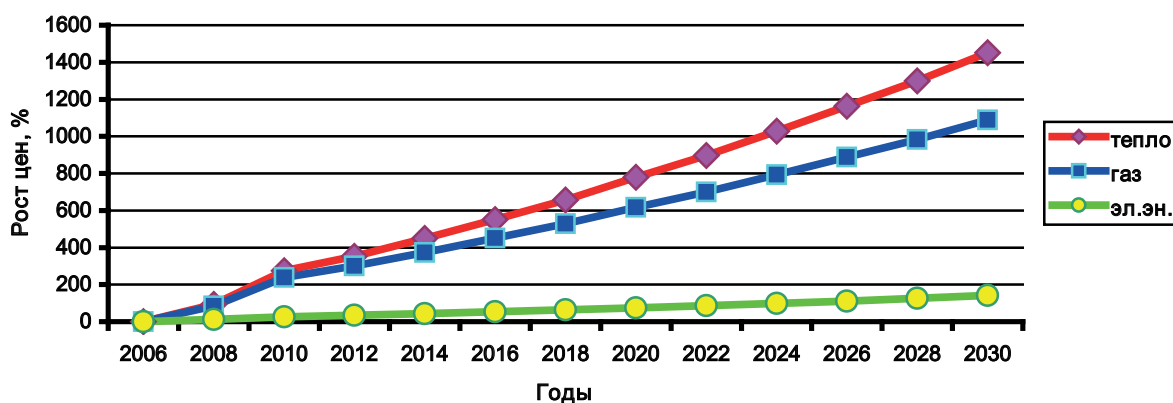


Рис. 1. Прогноз динамики роста цен на энергоносители (счт. TermerSystem, 2007)

Правительства большинства стран мира, извлекая опыт из прошедших энергетических кризисов, заблаговременно начали готовить свою экономику к существованию в условиях дефицита и подорожания топлива, активно внедряя инновационные энергосберегающие технологии. Это позволило, например, Швеции уже в 2005 году снизить до 17,5 % долю использования органического топлива для целей отопления и горячего водоснабжения и, по заявлению министра экономики, к 2020 году планируется полностью перейти на возобновляемые и нетрадиционные источники энергии для генерации коммунального тепла. Пример Швеции в активном проведении политики энергосбережения типичный для большинства европейских стран.

Одним из направлений такой политики является внедрение теплонасосных установок, использующих природные возобновляемые источники энергии (тепло грунта, воздуха, воды) и/или утилизирующих низкопотенциальное «сбросное» тепло промышленных, сельскохозяйственных и социально-бытовых объектов. Достоинства применения теплонасосных установок (ТНУ) неоспоримо доказаны успешной работой миллионов единиц этого оборудования. Широкомасштабное внедрение ТНУ в последние годы в развитых и развивающихся странах позволяет экономить в большом количестве дефицитное и дорогостоящее органическое топливо, снижать загрязнение окружающей среды продуктами сгорания, улучшать условия жизни и быта населения, снижать тарифы на коммунальное тепло и, следовательно, снижать социальное напряжение в обществе.

К сожалению, если в промышленно развитых странах счёт эксплуатируемых ТНУ ведётся на сотни тысяч и миллионы, то Украина только приступает к освоению этой техники [1]. И одной из областей рационального и широкого внедрения теплонасосных технологий может стать, как и во всём мире, жилищно-коммунальная теплоэнергетика.

По статистическим данным находящийся в эксплуатации жилищный фонд Украины состоит из домов разных периодов строительства: 4,2 % застройки до 1945 года, 51,7 % застройки 1946–1970 годов, 26,3 % застройки 1971–1990 годов и только 17 % застройки последних лет. При этом большинство находящихся в эксплуатации домов Украины не отвечает современным мировым нормативам по сопротивлению теплопередачи ограждающих конструкций. На отопление жилищного фонда ежегодно тратится свыше

70 млн т у.т. Общие тепловые потери через ограждающие конструкции зданий оцениваются величиной более 90 млн. Гкал в год, и нужно сжигать около 14,5 млрд м<sup>3</sup> газа, чтобы их компенсировать. По предварительным оценкам энергопотребление зданий, построенных по старым нормам тепловой защиты, может быть снижено на 50–75 % относительно существующего среднего уровня.

Следует заметить, что вопрос экономии в строительных проектах был актуален всегда.

Однако в эпоху низких цен на органическое топливо экономия происходила в основном за счёт снижения расхода строительных материалов, а вопросы энергетической эффективности оставались на втором плане.

В соответствии с европейской классификацией, здания по уровню энергопотребления можно разделить на четыре категории (рис. 2).

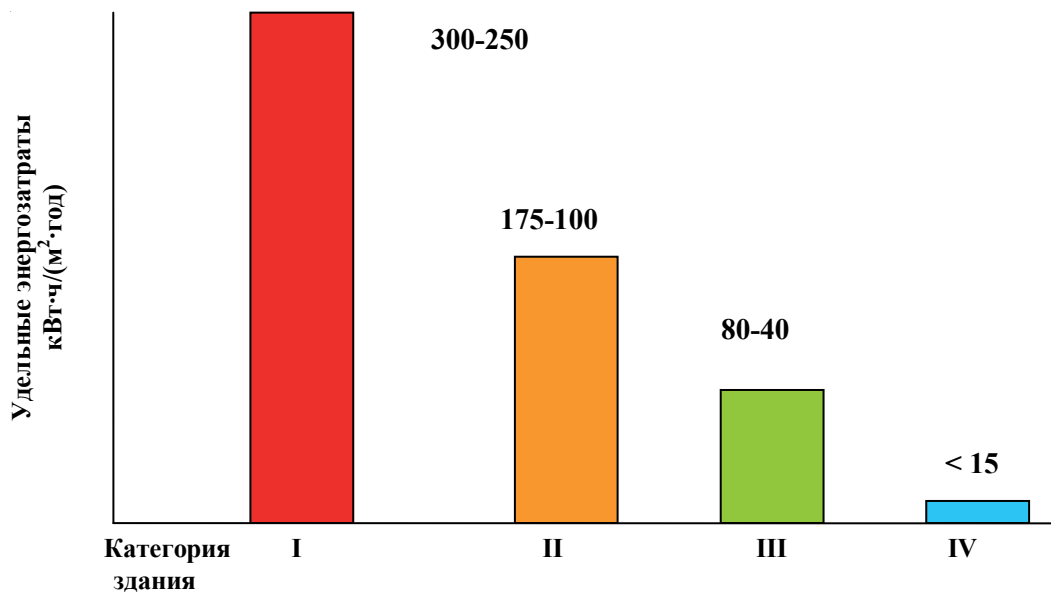


Рис. 2. Классификация зданий по уровню энергопотребления

К первой категории относятся здания застройки до 70-х годов и многие сельские постройки. Расход топлива для поддержания комфортных условий в отопительный период слишком высокий и часто экономически не обоснован. Тепловая защита здания явно недостаточная, чтобы применять энергосберегающие технологии без существенной реконструкции здания.

Ко второй категории относятся типичные жилые здания, построенные после 70-х годов. Тепловая защита для конкурентоспособного внедрения энергосберегающих технологий недостаточна, но установка энергосберегающего оборудования в принципе возможна.

К третьей категории относятся современные здания с низкими потерями энергии, строящиеся с применением эффективных технических решений, новых утеплителей и материалов. Тепловая защита достаточна для внедрения энергосберегающих технологий в системах теплоснабжения и, в частности, теплонасосных технологий.

И, наконец, к четвёртой категории относятся здания со сверхнизкими потерями тепла или, так называемые «пассивные здания», строительство которых только ещё осваивается в Европе.

Напомним, что энергоэффективным считается экологически чистое здание, в котором поддерживается комфортный микроклимат и реализуется комплекс мероприятий, обеспечивающих существенное снижение расхода энергетических, материальных и других ресурсов [2].

Секрет столь низкого энергопотребления энергоэффективных и «пассивных» зданий заключается в высочайшем качестве изготовления, в повышенном уровне утепления наружных строительных ограждений, в оптимизированной отопительной системе, в применении энергосберегающей технологии горячего водоснабжения, а так же в пассивном использовании солнечной энергии, утилизации тепла вытяжного воздуха, канализационных стоков и энергии грунта с применением тепловых насосов. «Пассивный дом» является настолько технически совершенным, что имеет почти нулевое энергопотребление на нужды теплоснабжения.

Уменьшение потребления энергии в зданиях – это не только экономия для государства топливно-энергетических ресурсов и уменьшение зависимости от импорта энергоносителей,

но и прямая выгода для налогоплательщиков, которые смогут меньше платить при повышении цен на энергоносители. Это также решение экологических вопросов в результате уменьшения токсичных выбросов от продуктов сгорания органического топлива. Вот почему выполнение мероприятий по снижению теплопотерь через ограждающие конструкции существующих здания рассматривают сегодня во многих странах как отдельное направление энергосбережения, получившее название «термомодернизация».

Требования к уровню энергопотребления современных строящихся зданий постоянно ужесточаются, и как следует из табл. 1, с приближением к величинам, характерным для энергоэффективного, а в будущем пассивного дома.

Таблица 1  
Требования стандарта ASHRAE 90.1 по снижению энергопотребления зданий

Энергопотребление кВт·ч / (м <sup>2</sup> год)	Год								
	1999	2001	2004	2007	2010	2013	2015	2020	2025
Без учёта потребления электрической энергии пользователями	167,3	163,0	138,0	128,3	96,7	85,3	72,7	56,9	44,2
С учётом потребления электрической энергии пользователями	–	–	223,0	–	154,8	132,7	113,8	75,9	56,9

Современные строительные нормы энергопотребления зданий предъявляют повышенные требования к минимально допустимому значению сопротивления теплопередачи элементов ограждающих конструкций. В таблице 2 приведены значения рекомендуемых термических сопротивлений типовых ограждающих конструкций здания для стран ЕЭС.

Таблица 2  
Требуемые значения коэффициентов сопротивления теплопередаче для типовых жилых и общественных зданий

Страна	Франция	Германия	Дания	Италия	Великобритания	Норвегия	Швеция	Финляндия
Год принятия требований	2005	2009	2006	2010	2010	2007	2008	2010
<b>Коэффициент сопротивления теплопередаче, м<sup>2</sup>·°С/ Вт</b>								
Стены	2,78	3,57	5,00	3,03	5,55	5,56	5,56	5,88
Кровля	5,00	5,00	5,56	3,45	6,67	7,69	7,69	11,11
Окна	0,56	0,77	0,67	0,50	0,67	0,83	0,76	1,0
Пол	3,70	2,86	6,67	3,12	4,76	6,67	6,67	5,88

Как известно, с 1 апреля 2007 года в Украине вступили в силу новые ДБН В.2.6-31-2006 «Тепловая изоляция зданий. Конструкции зданий и сооружений», касающиеся строительной теплотехники. Здесь требования по рекомендуемым термическим сопротивлениям ограждающих конструкций для вновь строящихся зданий приближаются к европейским (табл. 3).

Для приведения показателей по сопротивлению теплопередаче в зданиях старой постройки к нормативным величинам рекомендуется выполнение термомодернизации. Термомодернизация для создания энергоэффективного здания базируется на комплексном, системном подходе, когда здание и его инженерное оборудование рассматривается как единая теплоэнергетическая система, а результат энергоресурсосбережения достигается оптимальным сочетанием архитектурно-строительных, объёмно-планировочных решений, повышением теплозащиты оболочки здания и совершенствованием систем инженерного оборудования.

Таблица 3

Значения приведенного сопротивления теплопередаче элементов здания, строящихся в Украине

Основные элементы здания	Приведенное сопротивление теплопередаче, м <sup>2</sup> ·°С/Вт
Стены	3,28
Окна и балконные двери	0,60
Покрытия и чердачные перекрытия	4,39
Перекрытия над подвалами и подпольями	4,27
Перекрытия над проездами и под эркерами	1,63

Одна из особенностей при проектировании современных энергоэффективных зданий с повышенными требованиями к теплоизоляции ограждающих конструкций и к герметичности оконных и дверных проёмов, заключается в организации достаточного для комфортных условий проживания и работы воздухообмена. Решение проблемы воздухообмена старыми техническими средствами, рассчитанными на свободную инфильтрацию наружного воздуха через многочисленные щели в оконных притворах и в конструкции примыкания стёкол, а также на естественную конвекцию через венткамеры в кухнях, ванных комнатах, санузлах становится уже невозможным и требуется применение новых решений по организации в помещениях контролируемой приточно-вытяжной вентиляции. Следует заметить, что применение современных, энергосберегающих окон, как это ни прискорбно признавать и что все еще продолжает замалчиваться их производителями, несет с собой и существенные проблемы. Причем это многоплановые проблемы, лежащие как в области охраны здоровья людей, так и области сохранности самих зданий. Кратко напомним, что применение таких окон без сопряженных специальных мер по обеспечению контролируемой эффективной вентиляции, ведет к изменению качественного состава воздуха в помещениях (снижается уровень кислорода, повышается содержание углекислого газа, радона и пр.), что отрицательно сказывается и на текущем самочувствии, и на общем состоянии здоровья людей. Кроме того, применение таких окон приводит, как правило, к росту влажности в помещениях, обуславливающей появление и развитие плесени, грибков. Во-первых, отдельные виды грибков токсичны и опасны для здоровья человека и, во-вторых, все виды грибков оказывает разрушительное воздействие на строительные конструкции зданий.

В Европе даже сформировался термин «синдром закрытого здания» и в настоящее время запрещена установка герметичных окон без выполнения специальных мер, обеспечивающих необходимую вентиляцию.

В последние годы проявилась проблема запотевания и обледенения нижней части энергоэффективных оконных конструкций (ЭОК). В этой проблеме попробовали разобраться специалисты Службы Качества ООО «Самарские Оконные Конструкции» [3]. Их расчётные и экспериментальные исследования показали, что реальная воздухопроницаемость деревянных окон с двойным остеклением в отдельных переплетах («старого советского» деревянного блока) почти в 12 раз выше, чем для оконных конструкций из ПВХ профилей системы SOK с двухкамерными стеклопакетами.

Рассмотрим пример достаточности вентиляции воздуха на конкретной жилой комнате площадью 14 м<sup>2</sup>: Площадь стандартного окна составляет 1,5 x 1,5 = 2,25 м<sup>2</sup> Требуемый расход наружного воздуха для жилых помещений Согласно СНиП 2.04.05-91 «Отопление, вентиляция и кондиционирование» для комнаты площадью 14 м<sup>2</sup> составляет:

$14 \times 3 = 42 \text{ м}^3 / \text{час}$  . Инфильтрация воздуха через деревянные окна с двойным остеклением в отдельных переплетах составляет  $20 \times 2,25 \sim 45 \text{ м}^3 / \text{час}$  .

Инфильтрация воздуха через оконные конструкции из ПВХ профилей системы SOK с двухкамерными стеклопакетами составит  $1,73 \times 2,25 = 3,9 \text{ м}^3/\text{час}$

Как видно из простого расчета при установке ЭОК необходимо регулярное проветривание помещения.

Нужно разработать и согласовать на самом высоком уровне (возможно, в правительстве Украины) нормативный документ, который бы однозначно указывал - из-за чего происходят такие негативные изменения температурно-влажностного режима в помещениях и кто должен нести за это ответственность. Такой документ позволит решить большинство проблем производителей энергоэффективных оконных конструкций, а простым потребителям – не страдать в зимние морозы от дефицита тепла и наслаждаться всеми преимуществами энергоэффективных окон, которые обещала реклама.

С другой стороны, широкое применение систем контролируемого воздухообмена на базе приточно-вытяжных вентиляционных систем, создаёт благоприятные технические возможности для организации утилизации тепловых выбросов.

Если центральные рекуператоры тепла, пусть и в ограниченных количествах, но применялись еще в советские времена и на сегодня более-менее известны, то децентрализованные рекуператоры, устанавливаемые в отдельных помещениях, по объективным причинам не были востребованы, а потому не известны не только потребителям, но и специалистам, работающим в соответствующих областях техники. Пожалуй, наиболее отработанными конструкциями децентрализованных рекуператоров на сегодняшний день можно считать установки типа ТеФо, разработанные в ООО «Теплообмен», Севастополь [4].

В 2001 году в Никулино-2 (Москва) построен 16-этажный энергоэффективный экспериментальный дом, в котором для горячего водоснабжения применены грунтовые тепловые насосы и рекуператоры, утилизирующие тепло вытяжного вентиляционного воздуха. [5] Общее теплотребление дома по сравнению с домами типовой серии сокращено на 32 %. Опыт распространяется как на строительство новых домов, так и на реконструкцию существующих.

Что касается строительства «пассивных домов», то несколько проектов уже реализовано в Германии, Дании, Швейцарии. В России и Белоруссии осуществляются государственные программы проектирования и строительства домов с низким энергопотреблением, частично использующих элементы «пассивных зданий».

В Украине пока декларируется идея о строительстве «пассивных зданий», но не построено ни единого здания даже «низкоэнергоёмкого» с энергопотреблением  $70 \div 80 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^2\cdot\text{год})$ . «Пассивные» и дома с нулевым энергопотреблением – это дома будущего, а пока через стены построенных в Украине зданий в течение одного отопительного периода выбрасывается в атмосферу 41 млн. Гкал тепла, для выработки которого в котлах приходится сжигать почти 6,5 млрд.м<sup>3</sup> природного газа. Оценки показывают, что энергопотребление зданий, построенных по старым нормам тепловой защиты, может быть снижено на 50÷75% относительно существующего среднего уровня. Сочетание новых технологий, использующей альтернативные виды энергии, с усовершенствованием теплового состояния зданий открывают новые, не использованные в украинском градостроении, возможности энергосбережения. В то же время, не справедливо требовать декларируемых высокоэффективных результатов от применения теплонасосных технологий на зданиях с повышенными удельными теплотерями.

Использование тепловых насосов предъявляет серьёзные требования к теплоизоляции зданий. Например, в Германии при внедрении теплонасосных технологий норматив удельных теплотерь установлен на уровне  $60 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^2\cdot\text{год})$ . Интересно заметить, что часто упоминающаяся, как самая большая в Европе, дотация на кВт установленной теплонасосной мощности в количестве 140 евро в Германии не выплачивается, если тепловой насос будет установлен в здании с большими теплотерями, чем нормативные.

Рассмотрим на конкретном примере типового детского сада некоторые особенности, возникающие при разработке проекта модернизации системы теплоснабжения внедрением теплонасосной технологии. Целью модернизации является создание эффективной, энергосберегающей системы комбинированного отопления, горячего водоснабжения, кондиционирования и вентиляции, обеспечивающих комфортный и здоровый микроклимат и позволяющей вывести детский садик из числа энергорасточительных дотируемых объектов.

Анализ проведен для типового детского сада в первой климатической зоне постройки начало 70-х годов. Садик представляет собой два отдельно расположенных двухэтажных здания, соединенные галереей. Наружные ограждающие конструкции здания выполнены из белого силикатного кирпича толщиной 380 мм, внутренняя штукатурка – из цементно-песчаного раствора толщиной 20 мм. Перекрытия над не отапливаемым техническим подвалом – железобетонные плиты толщиной 160 мм. Полы в спальнях и групповых комнатах – щитовой паркет толщиной 30 мм, подготовка под полы – один слой мягкой ДВП толщиной 10 мм на горячей мастике. Полы первого этажа утеплены матами из минеральной ваты, толщиной 50 мм, обёрнутыми полиэтиленовой плёнкой. Перекрытие над вторым этажом – пустотелые железобетонные плиты толщиной 160 мм. Светопрозрачные проёмы здания детского сада – двойное остекление в отдельных деревянных рамах с толщиной стекла 4 мм.

Поэтажный план помещений приведен на рис. 3.

Натурные экспериментальные оценки теплового состояния помещений садика, проведенные в течении отопительного сезона 2008-2009г.г. показали, что, например, при температуре наружного воздуха минус 3<sup>0</sup>С, температура в подводящем трубопроводе системы отопления была ниже 55<sup>0</sup>С. Температура пола в групповых комнатах 1-го этажа находилась на уровне 10÷12<sup>0</sup>С, что не соответствует санитарно-гигиеническим нормам.



Рис. 3. План помещений и расположение рекомендуемого вида отопления

Температура внутренней поверхности наружных стен составила 9–10 °С. Температура воздуха во внутренних помещениях не превышала уровень 15–17 °С, что значительно ниже допустимой для детских дошкольных учреждений. Почти на таком же уровне была и температура в помещениях второго этажа. Самая низкая температура воздуха зафиксирована в переходе между корпусами 11–13 °С. Такие условия вынуждали воспитателей пользоваться в спальнях комнатах и залах для занятий дополнительными электрическими или масляными подогревателями (рис. 4), иногда в нарушение противопожарных требований.

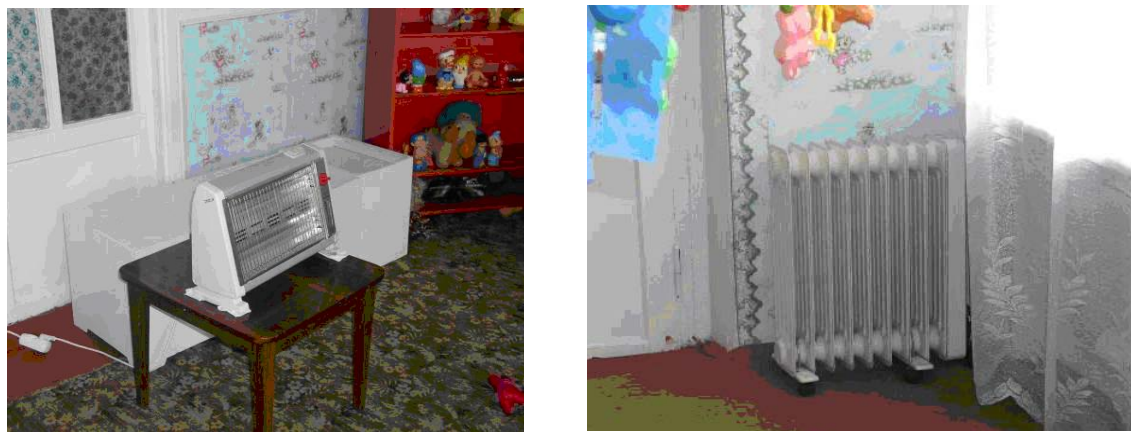


Рис. 4. Дополнительные источники обогрева помещений.

Расчётный анализ показал, что ограждающие конструкции здания по своим теплофизическим параметрам не соответствуют современным требованиям тепловой защиты. Коэффициент термического сопротивления существующего строения  $R = 0,7 \text{ м}^2\text{К/Вт}$  ниже нормативной величины коэффициента для I-ой климатической зоны. Светопрозрачные конструкции из-за своей изношенности также не отвечают современным энергосберегающим требованиям.

Расчёты тепловых потерь через ограждающие конструкции, затраты на подогрев инфильтрационного воздуха и на горячее водоснабжение дали следующие результаты:

Теплопотери по 1-му этажу 64,45 кВт, по второму этажу 82,04 кВт, суммарные теплопотери 146,49 кВт. Удельные тепловые потери за отопительный период составляют 294,5 кВт·ч/(м<sup>2</sup>·год).

Таким образом, экспериментальные и расчётные исследования показали, что система отопления от центральной котельной не обеспечивала требуемый для комфортного и здорового состояния температурный режим в помещениях детского сада.

Для выбора системы отопления при модернизации теплоснабжения сада проведен технико-экономический анализ целесообразности применения различных видов теплогенераторов (табл. 4).

Результаты, представленные в таблице относятся к уровню цен на 01.02.07 (верхнее значение) и на начало 2011 года (нижнее значение).

Анализ полученных в таблице 4 результатов показывает, при нынешнем уровне цен на теплоносители предпочтение традиционным видам отопления могут составить только теплонасосные установки. Однако, для конкурентоспособного применения теплонасосного отопления на рассматриваемом объекте, необходимо выполнить этап термомодернизации.

Зарубежный опыт показывает, что прежде, чем принимать решение об утеплении наружных стен, следует определить остаточный ресурс по теплозащите. В ряде эксплуатируемых зданий (например, для зданий с кирпичными стенами) не имеет смысла производить полномасштабные работы с применением эффективных утеплителей. Иногда достаточно лишь заменить окна, поскольку 40% тепла теряется именно через них. В зависимости от толщины наружных стен кирпичного здания в одних случаях производится только их косметический ремонт и покраска,



в других устраивается теплоизоляция типа «Синтеко». В панельном здании тоже заменяют окна, но обязательно дополнительно утепляют стены, решая тем самым и проблему стыков.

Таблица 4

Сравнение стоимости производства  $1 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$  тепла

Тип тепло-генератора	Теплота сгорания топлива	Цена единицы топлива	Условия сопоставления	Стоимость $1 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$ тепловой энергии	Достоинства и недостатки рассматриваемой системы отопления
Газовый котёл	Природный газ 28-38 МДж/м <sup>3</sup>	0,980 грн/м <sup>3</sup> 3,0 грн/м <sup>3</sup>	Средний КПД за отопительный сезон $\eta = 85\%$ Теплотворная способность принята для Шебелинского газа 35,46 МДж/ м <sup>3</sup>	0,136 грн. 0,36 грн.	Удобно, чисто. Стоимость эксплуатации растёт с увеличением тарифа на газ
Газовый котёл	Природный газ 28-38 МДж/м <sup>3</sup>	0,980 грн/м <sup>3</sup> 3,0 грн/м <sup>3</sup>	Средний КПД за отопительный сезон $\eta = 85\%$ Теплотворная способность принята для Шебелинского газа 35,46 МДж/ м <sup>3</sup>	0,136 грн. 0,36 грн.	Удобно, чисто. Стоимость эксплуатации растёт с увеличением тарифа на газ
Жидкотопливный котёл	Дизтопливо 40 МДж/л	3,5 грн/л 7,5 грн/л	Средний КПД за отопительный сезон $\eta = 87\%$	0,37 грн. 0,78 грн.	Требуется ёмкости для хранения, стоимость эксплуатации растёт как и в 1 случае
Электрический котёл	Электроэнергия	0,24 грн/кВт·ч 0,7 грн/кВт·ч	Средний КПД за отопительный сезон $\eta = 97\%$	0,2474 грн. 0,722 грн.	Удобно, экологично. Дорого.
Угольный котёл	Донецкий уголь 20,26 МДж/кг	650 грн/т 1500 грн/т	Средний КПД за отопительный сезон $\eta = 70\%$	0,125 грн. 0,38 грн	Большой объём работ с доставкой топлива, вывозом отходов, проблемы с экологией
Тепловой насос	Электроэнергия	0,24 грн/кВт·ч 0,7 грн/ кВт·ч	Средний COP за отопительный сезон 3,0	0,08 грн. 0,23 грн.	Удобно, экологично, энергетически эффективно, безопасно, полная автоматизация

Исходя из соображений экономической целесообразности, то есть из будущей экономии на эксплуатационных затратах, потребитель сам решает, до какого значения сопротивления теплопередаче надо выполнить работы по утеплению наружных стен. Исследования показывают, что в некоторых случаях экономически целесообразно иметь сопротивление теплопередаче ниже нормативного, т.к. даже при коэффициенте сопротивления теплопередаче около  $2,0 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$  можно создавать достаточно комфортные условия для проживания, а заменив окна, можно говорить и об экономии тепла.

Чтобы сократить потери тепла через стены, нужно их покрыть теплоизоляционным слоем и защитить этот слой от воздействия атмосферных осадков и ветра. Потери тепла могут быть уменьшены в 2,5 раза. Замена старого окна с двойными деревянными рамами на современное окно с двухкамерным стеклопакетом уменьшит потери тепла приблизительно на 27 %. Чтобы утеплить крышу, достаточно увеличить толщину слоя тепловой изоляции. При этом тепловые потери можно сократить почти втрое. Ещё одна встречающаяся при модернизации старых зданий необходимость – это замена мягких плоских кровель на скатные. Практика показывает, что ремонтировать существующие крыши с рубероидным покрытием бесполезно, поскольку малейший дефект, возникший в процессе ремонта и эксплуатации, вызывает неизбежные протечки. Липецкая фирма «Эксергия» предлагает вариант замены мягкой кровли на скатные кровли из оцинкованного профиля, позволяющего продлить срок безремонтной службы кровли до 30 лет (для сравнения долговечность кровельного покрытия из современных битумно-полимерных материалов – 15 лет)

Для снижения потерь тепла через ограждающие конструкции здания рассматриваемого детского садика предлагаются два конструктивных решения по тепловой защите.

Первый вариант предполагает утепление здания прошивными матами из минеральной ваты толщиной 100 мм по фасаду здания и установкой металлопластиковых окон с двойными стеклопакетами из обычных стёкол типа 4M1-6-4M1-6-4M1. Камеры между пакетами заполняются воздухом. Такой стеклопакет имеет коэффициент термического сопротивления  $R_0 = 0,52 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ .

Минеральная вата при плотности  $100 \text{ кг}/\text{м}^3$  имеет коэффициент теплопроводности  $0,064 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ . Вата устанавливается снаружи. Толщина теплоизолирующего слоя рассчитывалась из условия обеспечения нормированного для данной климатической зоны коэффициента термического сопротивления  $R_0 = 2,24 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$  для объектов, которые подлежат реконструкции. В результате применения данного варианта тепловой защиты здания, потери тепла через ограждающие конструкции снизились до  $98,83 \text{ кВт}$ .

Второй вариант конструкции тепловой защиты здания заключается в применении теплоизолирующих плит П-30 URSA с толщиной 60 мм и металлопластиковых окон с двойным стеклопакетом на основе энергосберегающего стекла типа “i” и заполнением камер 100% аргоном 4M1-16-4M1-16-4i. Данная конструкция окон имеет коэффициент термического сопротивления  $R_0 = 0,82 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ .

Второй вариант термомодернизации позволяет уменьшить тепловые потери здания до  $78,77 \text{ кВт}$  и при этом удельные затраты становятся равными  $166 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ .

Осуществление предложенных вариантов тепловой защиты здания детского садика приведет к снижению тепловых потерь через ограждающие конструкции здания по первому варианту на  $47,66 \text{ кВт}$ ; по второму варианту на  $67,72 \text{ кВт}$ . Полученные результаты свидетельствуют об экономической целесообразности установки теплового насоса для нужд отопления, горячего водоснабжения и кондиционирования здания детского сада после термомодернизации.

Очевидно, что применение тепловых насосов особенно эффективно в случае использования воздушных систем с использованием фанкойлов или напольного водяного отопления, для которых приемлемая температура теплоносителя  $30 \div 40 \text{ }^\circ\text{C}$ . В проекте теплый пол предполагается установить в спальнях и комнатах игр и занятий и фанкойлы в служебных комнатах обслуживающего персонала (см. рис. 2).

Приняв второй вариант термомодернизации стоимость требуемых материалов и работ оценивается по уровню цен на 2010 год в  $479650 \text{ грн}$ . Окупаемость термомодернизации

составит около 5,7 года. Кроме того, что здесь самое главное, мощность теплового насоса по бивалентному варианту исполнения снижается почти в 2 раза, что влечёт снижение капитальных и эксплуатационных затрат.

Теплонасосная система отопления утепленного здания детского сада включает следующие элементы:

- тепловой насос тепловой мощностью 70 кВт;
- бивалентный электроподогреватель 20 кВт;
- бак аккумулятор ёмкостью 2000 л;
- водогрейка мощностью 26 кВт;

– система сбора низкопотенциального тепла (при выполнении грунтового коллектора должно быть уложено около 6000 м пластиковой трубы в грунте на глубине 1,5–2 м);

- отопительные приборы (тёплые полы и фанкойлы);
- циркуляционные насосы и запорно-регулирующая арматура;
- контрольно-измерительные приборы и средства автоматики.

Система позволяет автоматически поддерживать комфортные условия в помещениях независимо от погодных условий, гарантируя при этом минимум энергетических затрат. Опыт показывает, что при отоплении теплонасосной системой с тёплыми водяными полами экономится до 18 % средств на оплату отопления и при этом обеспечиваются наиболее благоприятные условия для комфорта человека – тепло подаётся на уровне ног.

Система льготного тарифа, когда во время снижения нагрузки в энергосети, потребителю отпускается электроэнергия по сниженному тарифу, позволяет при правильном построении отопительных схем и применении тепловых аккумуляторов накопить тепловую энергию в ночное время и затем использовать её в дневное время. Энергосбережению способствует и обеспечение в инженерных системах зданий учёта и авторегулирования процессов теплоснабжения и теплопотребления. Перечисленные совершенствования позволят сократить непроизводительный расход тепла на 15÷20% и, конечно, являются обязательными, прежде чем приступать к внедрению энергосберегающих технологий с использованием нетрадиционных возобновляемых источников энергии (НВИЭ).

Непривязывая капиталовложения на термомодернизацию к оценке конкурентоспособности теплонасосной системы отопления (рассматривая её как отдельный вариант энергосбережения), на рисунке 5 представлено сравнение окупаемости двух видов отопления : от газового котла и от ТНУ по бивалентной схеме. Показано, что установка теплонасосной технологии отопления на здании после термомодернизации позволяет снизить окупаемость с 4,5 лет до 2,6 лет. Кроме этого, снижаются капитальные затраты в ТНУ.

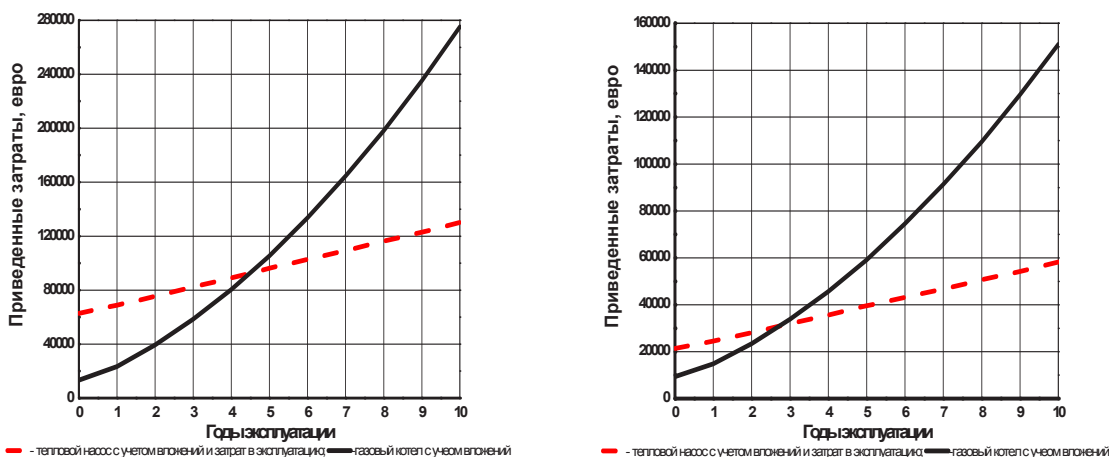


Рис. 5. Сравнение вариантов систем отопления здания детского сада газовым котел и ТНУ «воздух-вода»:

а) без термомодернизации; б) с термомодернизацией.

Установка тепловых насосов не абсолютная панацея энергосбережения. Мы неоднократно подчеркивали в своих публикациях [2, 6], что конкурентоспособность тепловых насосов зависит от большого количества факторов и только тщательно выполненные технико-экономические расчеты позволяют определить целесообразность их использования, взамен традиционных теплогенераторов.

#### Список литературы

1. Мацевитый Ю. М., Чиркин Н. Б., Богданович Л. С., Клепанда А.С. О рациональном использовании теплонасосных технологий в экономике Украины //Энергосбережение• Энергетика• Энергоаудит.– 2007, № 3.
2. Шойхет Б. М. Концепция энергоэффективного здания. Европейский опыт//М. АВОК-ПРЕСС, 2007.
3. Гольдинов В. К. Почему энергоэффективные окна плачут?- /http: // www.tybet.ru.
4. Барон В. Г. Експлуатація децентралізованих рекуператорів тепла вентиляційного повітря ТЕФО у зимовий період – ЭСКО № 2, 2011.
5. Васильев Г. П. Энергоэффективный жилой дом в Москве.// М., АВОК, 1999, № 4.
6. Рымаров В., Лушин К., Латушкин А., Смирнов В. Воздухопроницаемость окон и материалов наружных стен. Влияние на газовый режим помещения – (<http://www.winews.ru>)
7. Барон В.Г. Рекуператор тепла вентиляционного воздуха – эффективное энергосбережение или неоправданное расточительство. ЭСКО № 2, 2011.
8. Бродач М. М. Теплоэнергетическая оптимизация ориентации и размеров здания. Научные труды НИИСФ. Тепловой режим и долговечность зданий, М., 1987.
9. Табунщиков Ю. А., Хромец Д. Ю., Матросов Ю. А. Тепловая защита ограждающих конструкций зданий и сооружений, М., Стройиздат, 1986.
10. Табунщиков Ю. А., Бродач М. М., Шилкин Н. В. Энергоэффективные здания, // М., АВОК-ПРЕСС, 2003.
11. Гершкович В.Ф. Что нового в украинских нормах проектирования систем отопления и вентиляции жилых домов. // Электронный журнал энергосервисной компании «Экологические системы», 2007, № 9.

## SOME PECULIARITIES OF DESIGNING AND OPERATION OF HEAT PUMP SYSTEMS FOR HEAT AND COOLING SUPPLY.

### Part 3. Level of power consumption for buildings and competitive capacity of heat pump technologies

N. B. CHIRKIN, Cand. Tech.Scie., EU.V. SHERSTOV  
A. S. KLEPANDA, Cand. Tech.Scie., V. A. NESVITAJLO, Cand. Tech.Scie

*Demonstrational building in several countries proved that modern technologies and building materials allow building constructions with almost zero consumption of primary energy by life support systems. This paper gives consideration by the concrete example of how much the invested money into thermo-modernization of old buildings operating correspond to energy saving efficiency and how it influences on competitive capacity of heat pumps' application as generators of communal heat.*

*Поступила в редакцию 14.05 2011 г.*