

**Пырков В.В.**

**ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КАБЕЛЬНЫЕ  
СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ**

**ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ  
СОПОСТАВЛЕНИЕ**

Киев – 2004 г.

ББК 31.292  
УДК 697:621.365  
П 33

Электрические кабельные системы отопления. Энергетическое сопоставление. –  
К.: ООО "Медиа-Макс", 2004. – 88 с. – ил.

Приведены общие сведения о применении в мире электрических кабельных систем отопления. Даны основные санитарно-гигиенические, экономические и экологические отличия этих систем при технико-экономическом обосновании проектных решений. Рассмотрены общие сведения о европейской методике энергетического сопоставления инженерных систем зданий. Рассчитаны энергетические показатели водяных систем отопления с централизованным и индивидуальным теплоснабжением, электрических систем отопления прямого и аккумуляционного принципов действия, а также комбинации водяных и электрических систем отопления. Представлены примеры энергетического сопоставления водяных систем отопления с электрическими системами отопления.

Предназначена для проектировщиков, преподавателей и студентов специальности "Теплогазоснабжение и вентиляция", индивидуальных застройщиков и собственников жилья.

Автор Пыркков Виктор Васильевич, канд. техн. наук, доцент, советник по научно-техническим вопросам "ДЕ-ВИ Украина" и "Данфосс Т.о.в."

#### МЫ К ВАШИМ УСЛУГАМ

Если у Вас есть вопросы, замечания или пожелания к данной работе, можете обратиться непосредственно к автору – e-mail: [pirkov@yandex.ru](mailto:pirkov@yandex.ru)

к оборудованию электрокабельных систем отопления и его применению – в "ДЕ-ВИ Украина"

#### ООО "ДЕ-ВИ Украина"

Ул. Сосюры, 6, офис 325  
02090, Киев, Украина  
Тел/факс: (+38044) 559-22-36, 559-30-54  
E-mail: [gd@de-vi.com](mailto:gd@de-vi.com)  
[www.devi.ua](http://www.devi.ua)

Сервисный центр (+38044) 417-62-43

Использование приведенной информации без ссылок ЗАПРЕЩЕНО !

Перепечатывание и копирование без согласия ООО "ДЕ-ВИ Украина" ЗАПРЕЩЕНЫ !  
Защищено авторским правом

© ООО "ДЕ-ВИ Украина", 2004

ВСТУПЛЕНИЕ .....	4
1. ЭЛЕКТРООТОПЛЕНИЕ ЗА РУБЕЖОМ .....	6
2. ЭЛЕКТРООТОПЛЕНИЕ В УКРАИНЕ .....	9
3. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ СОПОСТАВЛЕНИЯ ВАРИАНТОВ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ .....	14
3.1. Основные сведения .....	14
3.2. Предпосылки экономической эффективности электроотопления .....	16
3.2.1. Температура помещения .....	16
3.2.2. Автоматическое обеспечение теплового комфорта .....	18
3.2.3. Тепловой комфорт .....	23
3.3. Капитальные затраты .....	25
3.4. Эксплуатационные затраты .....	29
3.4.1. Затраты на энергоносители .....	30
3.4.2. Затраты на текущий и капитальный ремонт .....	36
3.5. Эксплуатационная надежность систем отопления .....	38
3.6. Экологические показатели систем отопления .....	40
3.7. Европейские энергетические показатели инженерных систем здания .....	42
3.7.1. Водяные системы отопления с централизованным теплоснабжением .....	47
3.7.2. Водяные системы отопления с теплообеспечением от крышных котелен .....	51
3.7.3. Электрические системы отопления прямого действия .....	54
3.7.4. Электрические системы отопления аккумуляционного действия .....	57
3.7.5. Комбинированные системы отопления – водяные с централизованным теплоснабжением и электрические кабельные комфортного обогрева помещений .....	60
3.7.6. Водяные системы отопления с тепловыми насосами и солнечными коллекторами .....	63
3.8. Примеры энергетического сопоставления инженерных систем зданий .....	66
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	77
ЛИТЕРАТУРА .....	82

## ВСТУПЛЕНИЕ

В настоящее время в Украине происходит новый этап развития систем микроклимата, заключающийся в повсеместном использовании систем, пришедших из-за рубежа. Применение достояний зарубежного опыта предполагает ревизию и переоценку традиционных взглядов на основные показатели систем отопления, такие как санитарно-гигиенические, экономические, экологические, эстетические... Однако для этого отсутствует отечественная современная научно-популярная литература, восполняющая пробелы в знаниях. В результате зачастую возникают необоснованные домыслы и заблуждения относительно оборудования в частности и систем отопления в целом, зарекомендовавших себя десятилетиями безупречной работы за рубежом.

Хлынувший в Украину поток зарубежного оборудования, систем и технологий обеспечения микроклимата поставили перед специалистами и потребителями дилемму выбора. Для оборудования и технологий предпочтение решено однозначно – в пользу известных мировых производителей. Гораздо сложнее обстоит дело с выбором систем, т.к. он должен быть обоснован экономически.

В отечественной практике проектирования жилых и общественных зданий, в подавляющем большинстве случаев, выбор осуществлялся из подвидов водяных систем отопления и небогатого списка применяемого для них оборудования. Распространенное строительство односерийных зданий сводило к минимуму затраты проектировщика на технико-экономическое сопоставление проектных решений. В то же время в зарубежной практике проектирования, где видно воплощение творчества архитекторов, выбору систем уделяют 5...10 % трудозатрат проектировщика [1]. При этом на 90 % определяют капитальные затраты и пользовательские требования. Информацию о выборе систем предоставляют заказчику в форме отчета. Отчет для небольших проектов может быть составлен в виде таблицы сжатой формы с преимуществами и недостатками вариантов проектных решений. В сложных и больших проектах отчет может занимать сотни страниц со схемами, расчетами, пояснениями и количественными показателями. Примечательно то, что в практику проектирования систем отопления входит обязательное технико-экономическое сопоставление вариантов проектных решений. С этой целью в Германии проведены полномасштабные исследования энергоэффективности инженерных систем зданий. В результате создан норматив [2] с методикой экономической оценки инженерных систем зданий, как проектируемых, так и действующих. Данный норматив является основой создания общеевропейского норматива для стран Европейского Союза.

Украина не имеет аналогичных практических методик. Однако целенаправленный выбор нашей страны в сторону евроинтеграции [3], а также стоимость наших энергоносителей, современных систем и строительных материалов на уровне мировых цен позволяет нам уже сегодня примерять

европейские методики экономического сопоставления проектных решений для дальнейшей их гармонизации либо адаптации [4].

Данная работа не является всеобъемлющей. Ее цель ознакомить читателя с основными аспектами энергоэффективности, возникающими при использовании современных электрических кабельных систем отопления. Показать экономические позиции этих систем среди остальных систем микроклимата. Предоставить методические основы к экономическому обоснованию проектного выбора систем и указать существующие литературные источники для более детального самостоятельного изучения.

Автор признателен представительству компании DEVI в Украине за оказание всесторонней помощи в написании и издании данной работы. Автор всегда открыт к восприятию аргументированной критики, проведению конструктивного диалога и осуществлению профессионального научного сотрудничества.

## 1. ЭЛЕКТРООТОПЛЕНИЕ ЗА РУБЕЖОМ

Массовому применению электроотопления за рубежом способствовал энергетический кризис 1973 года, последовавший после введения арабскими странами эмбарго на экспорт нефти. С того времени в большинстве стран активизировалось создание и применение энергосберегающего оборудования и технологий на основе новых энергоресурсов. Одним из перспективных направлений стало использование электрических систем обеспечения микроклимата помещений, что привело к полной электрификации быта.

Согласно показателям 2000 г. [5], потребление электроэнергии в государствах Европейского Содружества составило около трети от общих затрат конечной энергии в быту и сфере услуг, что в 2,5 раза выше от потребления энергии от теплосетей. В целом на отопление жилых зданий израсходовано 69 % энергетических ресурсов. При этом импорт энергетических ресурсов составил около 50 %, а к 2030 г. прогнозируется его увеличение до 70 %. Безусловно, что жилищный сектор имеет самый большой потенциал для энергосбережения и уменьшения воздействия на окружающую среду. Поэтому ЕС уделяет значительное внимание выбору энергоэффективных инженерных систем зданий.

Распространение того или иного способа использования электроэнергии для отопления в каждой стране решается с учетом местных условий. Прежде всего, – зависит от структуры топливно-энергетического баланса, режима потребления электроэнергии, ее сравнительной стоимости с другими энергоносителями. Однако общими от Средиземноморья до Скандинавии являются усредненные показатели удельной устанавливаемой мощности систем отопления, которые с годами уменьшаются. Если в 70-х годах прошлого столетия для систем непосредственного электроотопления они составляли 25...50 Вт/м<sup>3</sup>, а аккумуляторного – 40...110 Вт/м<sup>3</sup> [6], то сегодня в "теплых домах" они ниже примерно в 2,5 раза [7].

Чрезвычайно высокие темпы применения электроотопления происходили в США. С нескольких процентов в 60-х годах до 70 % в начале 80-х. После отмены государственного регулирования газопотребления и отмены моратория газодобывающих компаний на освоение новых месторождений, с 1985 г. газовое топливо стало доминирующим для отопления зданий. С 90-х годов доля электрического отопления остается стабильно высокой и составляет примерно 30 % [8]. Причиной тому являются меньшие на 20...30 % капитальные и на 30...45 % эксплуатационные затраты в сравнении с водяными системами, получаемыми теплоту от сжигаемого топлива в котлах [6].

В США в основном (70...80 %) распространены системы непосредственного электроотопления резистивного типа. 60 % из них составляют напольные, 20 % – потолочные и 15 % – настенные [6]. В последнее время рассматривается вопрос на переход к электроотоплению небоскребов, как единственно рациональному решению.

В Англии электроотопление применяется давно и является основным

видом систем отопления во всех типах зданий. Способствуют этому непродолжительные понижения наружной температуры воздуха. Стимулированию аккумуляторного электроотопления послужило введение льготных ночных тарифов на электроэнергию. Уже в 60-х годах 50 % новых квартир имели электроотопление полом, половина из них – аккумуляторного принципа действия [6].

Во Франции активное развитие атомной энергетики предопределило применение электроотопления зданий. Атомная энергетика не поддается суточному регулированию отпуска электроэнергии, поэтому преимущество отдается аккумулирующему отоплению. Для достижения установленной мощности системы электроотопления используют сочетание дневного и ночного электропотребления в пропорции 15:85. Доля электроотопления жилых зданий сегодня составляет около 30 % и примерно равна доле атомной энергии в общем балансе страны [6; 9].

Для Скандинавских стран, в частности Норвегии, высокое электропотребление с применением систем отопления прямого действия обусловлено значительными гидроэнергоресурсами с практически неограниченными возможностями суточного регулирования. В середине 80-х количество жилищ с электроотоплением составляло почти 3 млн. [10]. Доля полного электрического отопления индивидуальных домов в Швеции достигает 35 %, а электрического отопления, совмещенного с отоплением дровами, – 14 %. Финляндия была и остается "землей обетованной" электроотопления, используемого в половине миллиона домов [11]. Капитальные затраты на систему электроотопления для типового дома площадью 150 м<sup>2</sup> почти на 40 % ниже, чем на водяную систему с котлом на жидком топливе. Эксплуатационные затраты у этих систем равны. Система с тепловым насосом, работающим на теплоте грунта, требует в 2,1 раза больших капитальных затрат, чем система электроотопления. Однако эксплуатационные затраты снижаются почти в 3 раза. При этом следует учесть, что для стимулирования применения тепловых насосов стоимость электроэнергии при их использовании уменьшена государством в 1,3 раза.

В странах, топливно-энергетический баланс которых определяется тепловыми электростанциями (ТЭС) на экспортируемом топливе, например, Германии, преобладающее развитие получили системы аккумуляторного принципа действия, потребляющие электроэнергию в часы минимума суточного графика электропотребления. Такие системы составили более 95 % электроотапливаемых квартир. С середины 70-х годов в среднем около 30 % новых квартир оборудовалось электроотоплением [6; 9]. Причиной тому послужило уменьшение ночного тарифа на электроэнергию в четыре раза. В результате удалось предотвратить многократные запуски и остановки теплогенераторов на крупных ТЭС, изнашивающие оборудование, и значительно повысить технико-экономические показатели работы энергосистемы в целом.

Таким образом, электроаккумуляторное отопление является неотъемлемой частью энергосистем. Область их применения ограничена

размером ночного провала нагрузок электроэнергии на ТЭС и АЭС в зимний период времени. Для большинства западноевропейских стран он достигает 40 % [10].

Наилучшие показатели в энергосбережении имеет Дания. Сегодня она является главным экспортером энерготехнологий во всем мире, в том числе электрических кабельных нагревательных систем. Это небольшая страна с богатыми природными внутренними энергоресурсами, особенно, такими как нефть и газ. Наличие собственных ресурсов, освоенных в последние десятилетия, предопределило выбор систем отопления зданий. С 1994 г. преимущество отдается централизованному теплоснабжению. Для электроотопления отведена область за пределами сетей тепло- и газоснабжения.

***В экономически развитых странах мира электроотопление занимает одно из ведущих мест среди систем создания микроклимата зданий. Наиболее широко применяемыми являются электрические кабельные системы отопления.***

***Проектный выбор систем электроотопления здания зависит от структуры топливно-энергетического баланса страны, режима потребления электроэнергии, ее сравнительной стоимости с другими энергоносителями.***

## 2. ЭЛЕКТРООТОПЛЕНИЕ В УКРАИНЕ

Активное использование электроотопления в Украине началось после распада СССР с импортом качественно новых технологий и оборудования. Но еще по сей день, у специалистов бытуют устаревшие знания, доставшиеся от скромного опыта применения этих систем либо отсутствия такового вообще. Реанимация этих знаний и отрицательных обобщений, из-за отсутствия непредвзятой информации о мировом опыте, приводит к неаргументированным заключениям специалистов, которые иногда встречаются в публикациях [12].

Проведенные в Украине санитарно-гигиенические исследования о безвредности для человека электрических систем кабельного отопления послужили основанием для создания и введения в действие с июня 2004 г. ДБН "Электрическая кабельная система отопления" [13]. Гораздо сложнее обстоит дело с технико-экономическим обоснованием систем при проектом выборе. У нас не осуществлялось широкомасштабных исследований в этом направлении. Поэтому, при решении данной задачи мы, прежде всего, должны использовать опыт стран с подобной энергетической структурой, и неимеющих значительных собственных газовых и нефтяных месторождений.

Украина является энергодефицитной страной, где на теплоснабжение расходуется около 45 % общего годового объема энергоресурсов [14]. Украина является страной с 50 % долей атомной электроэнергетики. Следовательно, по энергетической зависимости и энергетической структуре мы гораздо больше схожи с ЕС [5], чем с Россией. Применение энергоэффективных технологий в отоплении у нас и ЕС является более актуальной задачей. Таким образом, Украине уже сегодня необходимо устранять имеющиеся перекосы в соотношении между водяными и электрическими системами отопления, а также создавать условия сопоставимости с государствами ЕС.

Особо следует отметить, что в СССР, начиная с середины 80-х г., к 2000 г. предусматривалось примерно в 6 раз увеличить количество систем электроотопления в жилом секторе [10]. К этому году было технико-экономически обосновано применение около 300 тыс. систем аккумуляторного отопления и горячего водоснабжения суммарной мощностью 1...1,3 млн. кВт [15].

Для столь грандиозных задач были задействованы многие НИИ. В результате технико-экономических изысканий подготовлены технико-экономические показатели сопоставимости комбинаций различных систем отопления и горячего водоснабжения. Эти показатели получены для сельской местности и городских микрорайонов в частности, а также для городов в целом [16; 17; 18].

Было установлено, что ТЭС и крупные котельни обеспечивают теплотой половину потребителей. Остальную – дают мелкие котельни, работающие с низким к.п.д. На них в полтора раза занято больше обслуживающего персонала, чем на вместе взятых добыче, переработке, транспортировке топлива и централизованной выработке электро- и теплоты. Осозна-

но также, что фактическая отдача систем центрального водяного отопления значительно ниже, чем считалось ранее. Их реальный к.п.д составляет 30...45%! Теплопотери трубопроводов, как правило, превышают расчетные. Чугунные радиаторы имеют большую теплоемкость и не позволяют вести регулирование, излишне перегревая здание и ухудшая микроклимат. Не учитываются также затраты на транспорт топлива и работу циркуляционных насосов. В то же время существует невостробованная электрическая энергия в ночной период времени. Суточная неравномерность графиков нагрузок энергосистемы в зимнее время, составляет около 30 % и является энергетическим потенциалом страны, которым необходимо воспользоваться для теплоснабжения зданий [10].

ЦНИИЭП инженерного оборудования и институт "Энергосетьпроект" определили целесообразность применения электроотопления в сельской местности центрального района Европейской части СССР на примере двухквартирных жилых домов. Сопоставление приведенных затрат (суммы эксплуатационных затрат и капиталовложений, приведенных к одинаковой размерности) следующее: водяная радиаторная система на угле – 100 % (базовый вариант), на газу – 90 %; водяная потолочно-напольная система на угле – 94 %, на газу – 85 %; электрическая кабельная система – 76 %. Т.е. система электроотопления эффективнее водяной радиаторной системы на 14...24 % и водяной потолочно-напольной – на 9...18 % [16].

Сравнение экономической эффективности применения электроэнергии для теплоснабжения девятиэтажных жилых зданий в 1970 г. было осуществлено ЦНИИЭП инженерного оборудования в районах Центра СССР (Фрязино) с расчетной температурой для отопления минус 25 °С. В качестве источника теплоснабжения рассматривалась ТЭЦ.

Сравниваемые системы отопления:

1. Напольная электрическая кабельная аккумуляционная принципа действующая (потребляющая электроэнергию по льготному ночному тарифу) на компенсацию 75 % теплопотерь и дополнительные электрокалориферы-доводчики (потребляющие электроэнергию в свободном режиме) на компенсацию 25 % теплопотерь;
2. С электрокалориферами (потребляющими электроэнергию в свободном режиме);
3. Водяная централизованная на компенсацию 75 % теплопотерь с электрокалориферами-доводчиками (потребляющими электроэнергию в свободном режиме) на компенсацию 25 % теплопотерь;
4. Водяная централизованная.

В качестве источника горячего водоснабжения рассматривались поквартирные аккумулярующие электроводонагреватели, потребляющие электроэнергию по ночному льготному тарифу.

Аналогичные по сути системы, но с большим количеством комбинаций, рассматривались для микрорайонов Москвы с 9...16 и 12...22 этаж-

ной застройкой [17] в середине 70-х г. При этом сравнительная оценка и выбор оптимального варианта осуществлялись с учетом суммарно приведенных затрат, включающих оборудование тепловых и электрических сетей района и зданий.

В результате сделаны выводы о нецелесообразности применения в ближайшие 10...15 лет систем полного электроотопления в городах из-за значительного возрастания капиталовложений в городскую электросеть напряжением 10 кВ. Однако следует учесть, что этим же институтом и этими же авторами, сразу после утверждения Госгражданстроем СССР новых нагрузок на электроплиты до 8 кВт вместо 5,5 кВт были заново пересмотрены совместно с МНИИТЭП и ЛПИ им. Калинина технико-экономические расчеты для Москвы и получены следующие выводы [18]:

- комбинированные системы водяного отопления в сочетании с электропроводниками теплоты по величине приведенных затрат равнозначны с централизованными системами водяного отопления от ТЭЦ или районной котельни; дают экономию топлива в энергосистеме до 7 %; могут применяться в квартирах уже в ближайшие годы;
- в крупных городах, аккумулирующее электроотопление может стать оправданным в относительно близком будущем, учитывая его большое значение для заполнения провалов графиков нагрузки энергосистем;
- системы электроотопления, потребляющие энергию в свободном режиме, могут быть экономичны в районах страны с дешевой электроэнергией (например, вблизи АЭС);
- наиболее широкое электротеплоснабжение необходимо в сельских местностях, где электроэнергия, заменяя твердое топливо, исключает затраты населения на заготовку топлива и самообслуживание.

После столь оптимистических прогнозов 70-х, сегодня руководители украинских ТЭЦ, как это ни парадоксально для проектантов-традиционалов централизованных систем водяного отопления, констатируют, что "к сожалению, за последующие 30 лет почти ничего из этого задела не было реализовано" [19].

Теплоэнергетики осознают несовершенство централизованного теплоснабжения от ТЭЦ и районных котелен, которое имеет ряд преимуществ перед децентрализованным, однако не предоставляет необходимого теплового комфорта населению. Одними из основных недостатков централизованных систем является некачественное регулирование – несовершенство температурного графика и запаздывание реагирования теплосетей на изменение температуры наружного воздуха, составляющее около двух суток. В результате – "перетапливаются" либо "недотапливаются" здания. Поэтому население самостоятельно создает тепловой комфорт в помещениях, активно применяя электронагреватели и устрояя тем самым изъяны централизованного водяного отопления. Таким образом, электроотопление

стало неотъемлемым атрибутом теплосетей. Кроме того, электроотопление сегодня становится основным звеном управления системами водяного теплоснабжения. По изменению электропотребления в энергосистеме от включения электронагревателей, вызванного реакцией населения на "недотопы", регулируют отпуск теплоты теплосетями. Такая технология усовершенствованной практики оперативного управления крупными теплофикационными системами в новых экономических условиях разработана теплоэнергетиками Харькова [19].

Активное применение населением Украины электронагревателей с 1993-1994 г., как ответная реакция на недоотпуск теплоты, де-факто преобразовало систему централизованного теплоснабжения с монопольной до одной из составляющих комбинированной системы теплоснабжения городов (совместно с системами отопления на электроэнергию и газе) [19]. Таким образом, население стихийно реализовало технико-экономические разработки 70-х, дополнив систему централизованного теплоснабжения индивидуальными электронагревателями. Установленная мощность электроотопительных приборов сегодня оценивается примерно в 15 % от нагрузки на городскую электросеть в зимний период времени. Но это значительно меньше недоотпуска теплоты теплосетями. Из чего делается вывод о существенной перспективе роста парка электронагревателей в обозримом будущем [19].

Устранение недоотпуска теплоты теплосетями не исправит ситуации, т.к. причина применения электроотопления кроется в индивидуальности теплоощущений каждого человека и возможности их удовлетворения путем регулирования температурных условий системой отопления. Весьма поучителен опыт отказа от централизованного теплоснабжения и применения автономных котелен в жилых многоэтажных зданиях Москвы – крышной, пристроенной и подвальной. При бесспорном уменьшении энергозатрат и возрастании теплового комфорта уровень электродогрева помещений остался высок. Соответственно указанным типам котелен электродогрев помещений составил – 31,4 % (было 49,1 %), 70,1 % (было 80,7 %) и 7,1 % (было 12,5 %) [20]. Таким образом, санитарно-гигиенические условия в квартирах не были достигнуты. Жильцы остались приверженцами комфортного электродогрева помещений, удовлетворяющего их теплоощущения. Причиной тому является переоценка технических возможностей водяных систем этих зданий для решения поставленной задачи. Водяная система без радиаторных терморегуляторов и гидравлического обеспечения их эффективной работы не способна удовлетворить индивидуальные требования потребителей.

Стихийное применение электрорадиаторов и местных кондиционеров для догрева помещений не является лучшим экономическим решением ни для населения, ни для государства. Рассмотрению данного вопроса был посвящен круглый стол "Экология. Ресурсы. Безопасность" (29.10.2002 г.) в Украинском институте исследований окружающей среды и ресурсов при Совете национальной безопасности и обороны Украины на тему: "Обеспечение энергобезопасности Украины электротеплоаккумулирующим отоп-

лением зданий" [21...25]. Участники – представители Верховного Совета, Госстроя, Комитета энергосбережения, Академии наук, Национальной комиссии регулирования электроэнергетики, Главного управления топлива, энергетики и энергосбережения, многих ведущих научных, проектных и учебных заведений. На заседании было отмечено, что Украина уже подготовлена к широкомасштабному применению систем электроотопления и воплощению мирового опыта в создании энергоэффективных зданий.

Для этого созданы все предпосылки:

- приняты новые нормативные сопротивления теплопередачи ограждающих конструкций [26];
- установлены льготные тарифы на электроэнергию, дифференцированные по часам суток [27];
- утверждены государственные нормы проектирования электрических кабельных систем отопления [13];
- созданы многочисленные отечественные и открыты представительства иностранных фирм, применяющие электрические кабельные системы отопления;
- проверена эффективность электрических кабельных систем отопления на значительном количестве малоэтажных зданий (до 5-ти этажей) и проводится по распоряжению Госстроя Украины экспериментальное проектирование жилищного комплекса из трех многоэтажных зданий на Позняках в г. Киеве.

***Электроотопление в Украине является жизненно важной необходимостью создания теплового комфорта и дополнением эффективного существования систем централизованного теплоснабжения.***

***Экономически целесообразная доля системы комфортного напольного электроотопления при совместном использовании с водяной системой центрального отопления составляет примерно 25 % от теплопотерь здания (помещения).***

***Экономически оправданная доля общей мощности аккумуляторных систем электроотопления составляет примерно 30 % суточного электропотребления страны в зимний период года, равного ночному провалу суточного графика электропотребления.***

### 3. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ СОПОСТАВЛЕНИЯ ВАРИАНТОВ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ

#### 3.1. Основные сведения

При проектировании новых, модернизации или реконструкции действующих систем отопления решают одну из технико-экономических задач:

- сопоставление единственного варианта решения с "базовым", как правило, не имеющим энергосберегающих мероприятий;
- сопоставление нескольких вариантов с одинаковым экономическим эффектом между собой и с "базовым" вариантом;
- выявление экономически оптимального варианта решения.

Последняя задача наиболее всеобъемлюща и актуальна при современном многообразии предлагаемых типов и подвидов систем отопления. Ее результат предоставляется заказчику и служит основанием для принятия решения. Принятие окончательного решения по выбору систем не является задачей проектировщика. Это прерогатива заказчика. Проектировщик обязан предоставить все данные, которые брались во внимание при обосновании рекомендаций, необходимые для утверждения решения. Разъяснить преимущества и недостатки систем не только с позиций сметной стоимости, но и эксплуатационных показателей системы на протяжении всего срока эксплуатации объекта, который для современных многоэтажных зданий с железобетонным или металлическим каркасом достигает 100 лет [28; 29].

Экономическую целесообразность применения системы отопления определяют исходя из сравнительной экономической эффективности капитальных вложений. Другими словами – сопоставляют затраты и получаемые от них результаты. Экономически наиболее целесообразным является вариант решения, при котором приведенные затраты являются минимальными. Приведенные затраты состоят из капитальных вложений и эксплуатационных расходов на протяжении всего срока службы здания, приведенных к одной размерности и году ввода в эксплуатацию. Наиболее широко применима формула определения приведенных затрат [29] –

$$\Pi = \sum_{j=n}^{\phi} \alpha K_j + \sum_{j=1}^{\phi} \alpha I_j \rightarrow \min,$$

где  $K_j$  – капитальные вложения, определяемые израсходованной частью сметной стоимостью в  $j$ -том году (если расходование сметной стоимости осуществляется более одного года);  $I_j$  – эксплуатационные затраты в  $j$ -том году;  $\phi$  – год окончания функционирования объекта (срока его действия);  $n$  – год начала монтажа и число лет, отделяющих дополнительные

вложения и затраты от года ввода системы отопления в действие (величины  $\phi$  и  $n$  отсчитывают от года ввода системы в эксплуатацию);  $\alpha$  – коэффициент приведения разновременных затрат к году ввода системы отопления в действие

$$\alpha = 1/(1 + E_{н.п})^j,$$

$E_{н.п}$  – нормативный коэффициент сравнительной эффективности капитальных вложений, принимаемый равным 0,08 (при нормативном сроке окупаемости новой техники и энергосберегающих мероприятиях, равном 12,5 лет).

Данная формула позволяет сравнивать экономичность систем с учетом срока эксплуатации здания и сроков эксплуатации систем микроклимата с точки зрения сегодняшнего дня. Особенностью формулы является то, что она учитывает фактор времени. Он определяет долю затрат от будущих капитальных ремонтов. Эти затраты не учитываются в полном объеме сегодня при сравнении вариантов проектных решений. Поскольку до момента использования этих средств предполагается, что они принесут прибыль.

Однако следует понимать, что при достижении сроков капитального ремонта системы ни потребителя, ни эксплуатирующую организацию, ни домовладельца не утешает мысль о том, что невложенные когда-то средства приносили прибыль. Реалии таковы, что сегодня средств на капитальный ремонт систем нет, хотя пользователь годами осуществлял отчисления.

Рассматриваемая формула приведенных затрат является универсальной для прогнозирования экономической эффективности систем отопления. Подтверждением тому – экономические выводы 70-х годов прошлого столетия о необходимости к 2000 г. широкомасштабного использования электрических систем отопления совместно с водяными (см. р. 2). Но такое прогнозирование осуществимо лишь при плановой экономике – статистическом знании реальности и четком прогнозировании будущего. В экономическом развитии Украины пока нет ни того, ни другого. Существуют лишь тенденции, которые, не давая возможности полного применения данной формулы, позволяют на ее основе определить предпосылки экономического различия систем отопления. Именно в этом ключе будут рассмотрены далее экономические составляющие электрических кабельных систем отопления.

Кроме того, полное технико-экономическое сопоставление систем отопления по этой формуле с учетом затрат от источника энергии до потребителя является громоздким и оправдано лишь для крупных объектов. Зачастую достаточно упрощенных подходов. Основы тех и других, применяемых в мире, рассмотрены далее.

**Традиционные для Украины методы экономического сопоставления инженерных систем здания не возможно реализовать в полной мере из-за отсутствия статистической информации об энергетической эффективности систем и прогнозируемой стоимости энергоносителей на протяжении срока службы здания.**



## 3.2. Предпосылки экономической эффективности электроотопления

### 3.2.1. Температура помещения

Пол помещения со встроенным электрическим нагревающим кабелем относят к классу низкотемпературных конвекционно-лучистых отопительных панелей. Их отличительной особенностью является большая поверхность теплообмена, излучающая тепловой поток и повышающая этим радиационную температуру ограждающих конструкций помещения. Поэтому, согласно [13], в помещениях с напольными электрическими кабельными системами отопления допускается принимать температуру воздуха меньше нормативной [30], но не ниже чем на 3 °С, сохранив оптимальную температуру помещения.

Под оптимальной температурой помещения  $t_{su}$  подразумевают комплексный показатель радиационной температуры помещения  $t_r$  и температуры воздуха в помещении  $t_p$ , позволяющий прогнозировать удовлетворенность тепловым комфортом не менее 90 % людей. Для большинства помещений этот показатель определяют уравнением:

$$t_{su} \approx (t_r + t_p) / 2.$$

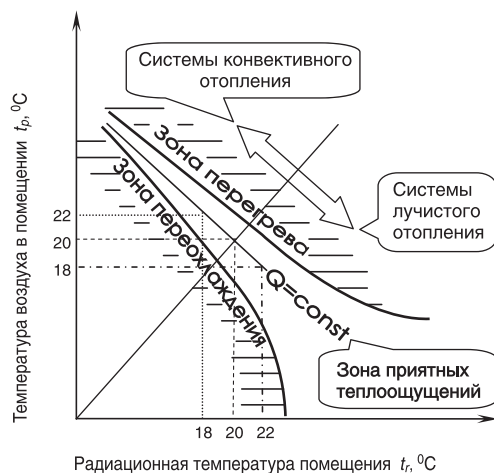


Рис. 1. Влияние температурных условий помещения на теплоощущения человека

экономии энергоресурсов лучистыми и конвективно-лучистыми системами отопления. Такими системами обеспечивается тепловой комфорт в помещении при меньших температурах воздуха. Например, в помещении с электрической кабельной системой отопления человек ощущает тепловой комфорт при температуре воздуха  $t_p = 18$  °С и средней температуре

физиологический смысл уравнения заключается в поддержании стабильного теплообмена между человеком и окружающей средой ( $Q = const$ ). Для человека, выполняющего легкую работу, данное уравнение представлено в графическом виде на рис. 1 [31].

Учет совместного влияния температуры воздуха и средней температуры ограждающих конструкций (радиационной температуры) на теплоощущения человека дает возможность дополнительной

внутренней поверхности ограждений  $t_r = 22$  °С. В то время как в помещении с традиционной водяной системой отопления аналогичные теплоощущения человека (на том же уровне  $t_{su} = 20$  °С) воспринимаются при температуре воздуха  $t_p = 22$  °С, т.к. температура ограждений в нем примерно равна  $t_r = 18$  °С. Разница между температурами воздуха в рассматриваемых помещениях составляет  $22 - 18 = 4$  °С.

Получаемое уменьшение разности температур воздуха снаружи и внутри помещения в результате применения электрических кабельных систем отопления, сокращает теплотери в холодный период года с удаляемым вентиляционным воздухом и через наружные ограждающие конструкции. При этом доля первой составляющей теплотерь возрастает, а второй – уменьшается при увеличении теплозащиты здания [12]. Поскольку при наличии теплого пола за счет лучистого теплообмена происходит нагрев внутренних поверхностей остальных ограждений, компенсируя конвективный недогрев от снижения температуры воздуха в помещении. В целом теплотери через наружные ограждения современных теплозащищенных зданий не зависят от применяемой системы отопления.

Снижение температуры воздуха в помещении с лучисто-конвективной системой отопления по сравнению с конвективной системой определяют по [32]. В среднем для жилых помещений оно примерно равно 2 °С. Таким образом, при одинаковых теплоощущениях в помещениях с разными системами отопления, лучисто-конвективная система облегчает дыхание человека, создавая чуть прохладную температуру воздуха. Качество воздуха, воспринимаемое человеком, оценивается как более высокое, а ощущаемая свежесть – приятной. Этот вывод сделан на основании последних исследований современных зданий с "нездоровым" синдромом, где нормативно обеспечен тепловой комфорт, но недостаточное конвективное и испарительное охлаждение респираторного тракта человека, в особенности носа, приводит к восприятию воздуха, как спертого, душного и некачественного. Производительность труда в таких помещениях снижается на 6,5 %. Это приводит к экономическим потерям, превышающим совокупные капитальные и эксплуатационные затраты на обслуживание здания. Применение систем микроклимата с умеренной температурой воздуха является задачей XXI века, тем более что они способствуют экономии энергоресурсов [33].

**Напольные электрические кабельные системы отопления обеспечивают тепловой комфорт в помещении при меньшей, примерно на 2 °С, температуре воздуха по сравнению с традиционными водяными системами отопления.**

**Достижимое снижение температуры воздуха в помещении улучшает его качество, воспринимаемое человеком, а также уменьшает теплотери с удаляемым вентиляционным воздухом.**

### 3.2.2. Автоматическое обеспечение теплового комфорта

В государствах Европейского Содружества обеспечивают комфортные тепловые условия согласно графику на рис. 2, который является нормативным [34]. В его основу положены исследования О. Фангера по теплоощущению большинства людей при разнообразных видах деятельности – сне, отдыхе, умственной работе, физической работе разной интенсивности – с учетом теплоизоляционных свойств одежды и различных температурных условий в помещении.

Зависимость теплового состояния организма человека от вида деятельности определена через его тепловыделение. Этот процесс оценивают показателем "met" (метаболизм - выделение теплоты организмом). Например, активность тепловыделения человека, находящегося в расслабленном состоянии либо в наклонном положении характеризуется  $0,8 \text{ met} = 46 \text{ Вт/м}^2$  (соответственно отображены на левой и правой шкалах графика); в положении сидя –  $1 \text{ met} = 58 \text{ Вт/м}^2$ ; в сидячем положении при выполнении офисной работы или домашней работы –  $1,2 \text{ met} = 70 \text{ Вт/м}^2$ ...

Теплоизоляционные свойства одежды характеризуют показателем "clo" (clothes – одежда). Так, например, рабочая одежда из легкого нижнего белья, носок, рубашки, брюк, костюма и туфель составляет  $1 \text{ clo} = 0,155 \text{ м}^2\text{К/Вт}$  (соответственно отображены на нижней и верхней шкалах графика).

Субъективная оценка психологического теплоощущения человека характеризуется шкалой ожидаемых значений теплоощущений PMV (predicted mean vote) от минус 3 (холодно) до плюс 3 (жарко). Нормальные теплоощущения оценены  $\text{PMV} = 0$ , которым соответствует график на рис. 2.

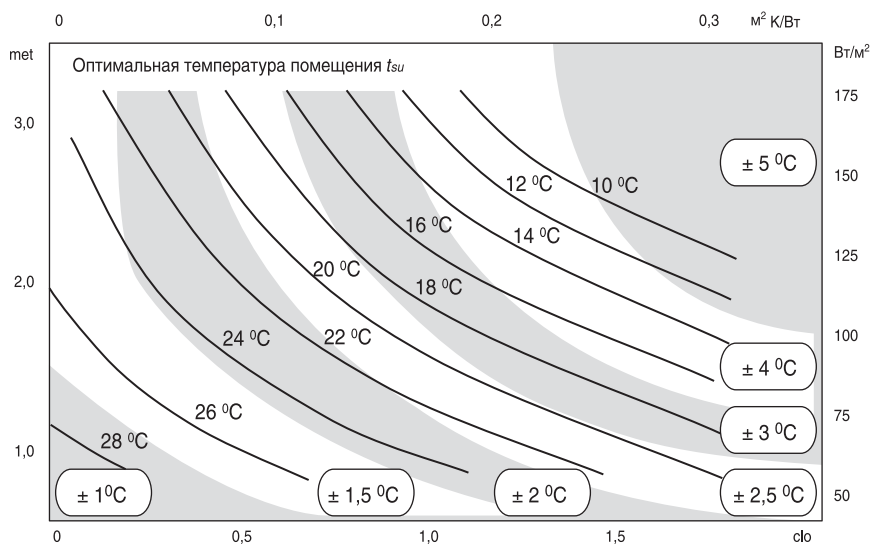


Рис. 2. Зависимость оптимальной температуры помещения (при  $\text{PMV}=0$ ) от одежды и активности человека

Особенность представленного графика, в отличие от отечественной практики нормирования микроклимата, состоит в установленных дифференцированных допустимых отклонениях для температур помещения, удовлетворяющих санитарно-гигиеническим условиям теплового комфорта. Например, при температуре помещения  $t_{su} = 22 \text{ }^\circ\text{C}$  максимально допустимое отклонение составляет  $\pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ . Чем оно меньше, тем лучшие условия теплового комфорта и тем больший энергосберегающий эффект.

В Украине для водяных систем отопления применяют терморегуляторы прямого действия с зоной пропорциональности 2K (разницей температуры в два градуса Кельвина). Это означает, что при повышении температуры воздуха в помещении на  $2 \text{ }^\circ\text{C}$ , относительно установленной потребителем на терморегуляторе, терморегулятор автоматически перекроет проход теплоносителя в отопительный прибор [31]. Время срабатывания терморегулятора не должно превышать 40 мин. [35]. У самых лучших конструкций терморегуляторов водяных систем отопления, которыми являются газоконденсатные, это время составляет около 12...15 мин. В отличие от них, электрические терморегуляторы электрических кабельных систем отопления отключают систему мгновенно при повышении температуры воздуха на  $0,5 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $0,5\text{K}$ ). Достичь таких показателей водяными системами невозможно, т.к. при уменьшении зоны пропорциональности значительно возрастают гидравлические потери и, соответственно им в кубической степени, увеличивается потребляемая мощность насоса; а уменьшение времени срабатывания ниже 3...5 мин. ведет к гидравлической нестабильности системы и вероятности шумообразования.

Снижение температуры воздуха на  $2 \text{ }^\circ\text{C}$  в помещении с электрической кабельной системой отопления и электронным терморегулятором по сравнению с водяной системой и терморегулятором прямого действия на радиаторе дает 10...13 % экономического эффекта для условий Украины [36].

Сопоставление энергоэффективности систем отопления от точности поддержания температуры воздуха в помещении осуществляют по нормативу [2]. Сравнительные характеристики различных систем отопления и конструкций терморегуляторов представлены в табл. 1. Коэффициент затрат первичной энергии  $e_{ce}$  безразмерен и показывает относительное возрастание расхода первичной энергии, вызванное техническим несовершенством регулирования температуры воздуха в помещении терморегулятором системы отопления. Дополнительные затраты  $q_{ce}$  соотносят это увеличение к добавочному годовому теплоснабжению системы отопления, отнесенному к единице отапливаемой площади помещения (подробнее см. в п.р. 3. 7).

Основой затрат энергии, приведенных в таблице, являются тепловые потери помещения, которые возникают в процессе регулирования теплообменных приборов. Так, если регулятор поддерживает разницу в  $2 \text{ }^\circ\text{C}$  относительно установленной на  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  температуры воздуха, то перегрев помещения до  $22 \text{ }^\circ\text{C}$  является дополнительными затратами энергии. Чем меньше поддерживаемая разность температур, тем меньше эти затраты

**Таблица 1.** Затраты энергии на регулирование терморегуляторами

Система	Регулятор	Коэффициент затрат первичной энергии $e_{ce}$ при удельных теплопотерях здания $q_h$ , кВт×ч/(м²год)						Дополнительные удельные затраты теплоты $q_{ce}$ , кВт×ч/(м²год)
		40	50	60	70	80	90	
<b>1. Водяная</b> с преобладающим размещением плоских отопительных приборов у наружной стены	Терморегуляторы и другие П-регуляторы с зоной пропорциональности 2К	1,08	1,07	1,06	1,05	1,04	1,04	3,3
	То же, с 1К	1,03	1,02	1,02	1,02	1,01	1,01	1,1
	Электронные регуляторы (с ПИ либо сравнимым законом регулирования)	1,02	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	0,7
	Электронные регуляторы с функцией оптимизации (на открытое окно либо присутствие человека)	1,01	1,01	1,01	1,01	1,00	1,00	0,4
<b>2. Водяная</b> с преобладающим размещением плоских отопительных приборов у внутренней стены	Все вышеперечисленные	+0,03	+0,02	+0,02	+0,02	+0,01	+0,01	+1,1
<b>3. Водяная</b> напольная либо с другими отопительными панелями	Двухпозиционные регуляторы для отдельных помещений с зоной пропорциональности 2К	1,08	1,07	1,06	1,05	1,04	1,04	3,3
	То же, с 0,5К	1,03	1,02	1,02	1,02	1,01	1,01	1,1
	Электронные регуляторы (с ПИ либо сравнимым законом регулирования)	1,02	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	0,7
	Электронные регуляторы с функцией оптимизации (на открытое окно либо присутствие человека)	1,01	1,01	1,01	1,01	1,00	1,00	0,4
<b>4. Электрическая непосредственного действия</b> с преобладающим расположением отопительных приборов у наружной стены	Электронные регуляторы для отдельных помещений	1,02	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	0,7
<b>5. Электрическая аккумуляторного действия</b> с преобладающим расположением отопительных приборов у наружной стены	То же	1,11	1,09	1,07	1,06	1,06	1,06	4,4*
<b>6. Электрическая прямого либо аккумуляторного действия</b> с преобладающим расположением отопительных приборов у внутренней стены	То же	+0,03	+0,02	+0,02	+0,02	+0,01	+0,01	+1,1

\*Примечание: с учетом затрат энергии конструктивно встроенным вентилятором, равных 0,5 кВт×ч/м²год.

(см. в табл. 1 значения  $q_{ce}$  для регуляторов системы 1, поддерживающих разницу температур 2 °С и 1 °С). Однако уменьшение этой разницы ниже 1 °С при использовании пропорциональных регуляторов (П-регуляторов, воздействующих на отопительный прибор пропорционально отклонению температуры воздуха в помещении) и двухпозиционных регуляторов (регулирующих по закону – "включено-выключено") не приводит к экономии энергии (сравни соответственно  $e_{ce}$  и  $q_{ce}$  при 1 °С и 0,5 °С в системе 1 и 2).

Уменьшению затрат способствуют электронные регуляторы. Особенно с дополнительными функциями оптимизации на открытое окно либо присутствие человека (см. значения  $q_{ce}$  для различных регуляторов системы 1). Так, по сравнению с электронными пропорционально-интегральными регуляторами (ПИ-регуляторами, воздействующими на отопительный прибор пропорционально отклонению температуры воздуха в помещении и интегралу времени отклонения), затраты ниже в 0,7/0,4 = 1,75 раза. По сравнению с П-регуляторами, поддерживающими разницу температур в 2 °С, – в 3,3/0,4 = 8,25 раза.

Достоинством электронных регуляторов является примерное сохранение затрат первичной энергии, выражаемых коэффициентом  $e_{ce}$ . Так, у электронного регулятора с функцией оптимизации (см. значения  $e_{ce}$  для этих регуляторов в системах 1 и 3 при различных удельных теплопотерях здания  $q_h$ ) коэффициент  $e_{ce}$  изменяется от 1,01 (при  $q_h = 90$  кВт×ч/(м²год)) до 1,02 (при  $q_h = 40$  кВт×ч/(м²год)). В то время как у терморегулятора, поддерживающего перепад температуры 2 °С, – соответственно от 1,04 до 1,08. По этим значениям определяют удельные дополнительные затраты энергии  $q_{ce} = e_{ce}q_h - q_h$ , вызванные процессом регулирования теплообменного прибора (температуры воздуха в помещении). Чем меньше  $e_{ce}$ , тем ниже затраты энергии  $q_{ce}$  и тем экономичнее система отопления.

В последнем столбце таблицы указаны удельные годовые затраты теплоты, отнесенные к одному метру квадратному помещения. Они рассчитаны по среднему значению рассматриваемого диапазона теплопотерь  $q_h = (40 + 90)/2 = 65$  кВт×ч/(м²год) и по коэффициенту  $e_{ce}$ , соответствующему этим теплопотерям и конструкции терморегулятора.

Определение  $q_{ce}$  для теплообменных приборов, расположенных у внутренней стены помещения, осуществляют по  $q_{ce}$  для прибора у внешней стены с выбранной конструкцией регулятора и типом системы отопления, прибавляя к нему 1,1 кВт×ч/(м²год). Эти дополнительные теплопотери вызваны запаздыванием реагирования регулятора, т.к. он находится в более стабильной температурной зоне помещения и в меньшей мере подвержен восприятию температурной обстановки в помещении. Аналогично определяют и  $e_{ce}$  для тех же приборов. Так, например, для системы 6 при  $q_h = 90$  кВт×ч/(м²год) с электрическими нагревателями прямого действия к значению  $e_{ce} = 1,01$  системы 4 прибавляют 0,01. В результате для рассматриваемой системы  $e_{ce} = 1,01 + 0,01 = 1,02$ , а  $q_{ce} = (e_{ce}q_h - q_h) + 1,1 = (1,02 \times 90 - 90) = 2,9$  кВт×ч/(м²год). Это означает, что для обеспечения теплового комфорта в помещении принятой системой отопления к расчетным удельным теплопотерям  $q_h = 90$  кВт×ч/(м²год) следует прибавить

дополнительные затраты энергии 2,9 кВт×ч/(м<sup>2</sup>год) на регулирование терморегулятором.

Определение  $q_{ce}$  для теплообменного прибора с вентилятором осуществляется по  $q_{ce}$  для прибора с выбранной конструкцией регулятора и типом системы отопления, прибавляя к нему 1,1 кВт×ч/(м<sup>2</sup>год). Так представлены данные для системы 5, включающей аккумуляционный электроконвектор со встроенным вентилятором.

Особое внимание заслуживает тот факт, что значения дополнительных потерь от регулирования отопительных приборов, расположенных у наружных стен, и напольных отопительных панелей одинаковы (см. значения  $q_{ce}$  для регуляторов системы 1 и 3, поддерживающих разницу температур 2 °С). Различие в их конструкции не влияет на потери при регулировании. Проведенные экспериментальные исследования для составления новых немецких стандартов не обнаружили никакого различия между двумя системами [12]. Поэтому недоверие к системам напольного отопления из-за недостаточной регулируемости являются беспочвенны. В этих системах процессу автоматического регулирования способствует саморегулирование.

Процесс саморегулирования напольных систем отопления основан на изменении коэффициента теплоотдачи пола при изменении температуры воздуха в помещении. Так, при уменьшении разницы температур пола и воздуха на 1 °С из-за дополнительных теплопоступлений коэффициент теплоотдачи пола понижается примерно на 25 %. Увеличение этой разницы на 1 °С из-за дополнительных теплопотерь повышает коэффициент теплоотдачи пола примерно на 20 % (при начальной температуре пола 26 °С и воздуха – 20 °С) [37]. Здесь следует отметить, что процессы саморегулирования напольных водяных и электрических систем теплотехнически одинаковы, но отличаются в техническом обеспечении. В водяных – происходит изменение температуры обратной воды и последующее корректирование температуры подающей воды в смесительном узле. При этом насос работает постоянно и потребляет электроэнергию, равную 5...10 % мощности системы отопления. Это равно примерно 3,5 % от суммарного электропотребления здания, что для такой страны как Германия составляет 15 млрд кВт×ч/год [38]. У электрических – при повышении температуры пола, отслеживаемой датчиком температуры воздуха, осуществляется достаточно быстрое отключение системы, обеспечивая дополнительное энергосбережение.

Энергосбережение при регулировании сопоставляемых вариантов проектных решений определяют по последнему столбцу табл. 1. Сравнение, например, водяных систем отопления 1 и 3, поддерживающих разницу температур в 2 °С, с электрическими системами непосредственного действия 4 показывает, что электрические требуют в  $3,3/0,7 = 4,71$  раза меньших затрат при регулировании. Напольные электрические системы аккумуляционного действия по сравнению с этими водяными системами требуют незначительно больших затрат энергии на регулирование – в  $(4,4 - 0,5)/3,3 = 1,18$  раза.

**Таким образом, можно сделать следующие выводы:**

- **нет разницы в дополнительных затратах энергии на регулирование отопительных приборов и отопительных панелей;**
- **системы электроотопления прямого действия по сравнению с водяными системами отопления имеют меньшие дополнительные затраты энергии на регулирование;**
- **системы аккумуляционного электроотопления по сравнению с водяными системами отопления незначительно увеличивают затраты на регулирование;**
- **электронные регуляторы имеют наименьшие дополнительные затраты энергии на регулирование;**
- **регулирование напольного водяного отопления, по сравнению с напольным электроотоплением, требует больших затрат энергии за счет работы смесительных насосов.**

### 3.2.3. Тепловой комфорт

Существующие нормативы теплового комфорта определяют температурные условия в помещениях с однотипной группой людей – здоровых, больных, взрослых, пожилых, детей... Эти условия для каждой группы несколько различны. Так, в жилых домах температура воздуха должна быть 20...22 °С, а в дошкольных учреждениях – 21...23 °С [39]. Подстраивать температуру воздуха в помещении под теплоощущения представителя группы можно любой современной системой отопления, так как она обязана иметь терморегулятор. Но совмещать условия теплового комфорта для различных представителей групп может только система напольного отопления.

Нормативом [34] регламентированы условия температурного комфорта, обеспечивающие оптимальную температуру помещения, – температура пола 19...26 °С (при напольном отоплении допускается 29 °С, в то время как в Украине – 28 °С [13]) и температуру воздуха 22±2 °С. Идеальные условия температуры помещения [40] создаются при соответствующем сочетании радиационной температуры и температуры воздуха из приведенных диапазонов (см. п. 3.2.1). В Украине идеальные условия закреплены нормативом [41] для игровых комнат детских дошкольных учреждений, где обязательным является нагрев пола напольной системой отопления до температуры 23 °С, и вовсе не предусмотрены нормативом [42] для жилых помещений. Следовательно, водяные системы отопления с радиаторами не обеспечивают идеальных условий теплового комфорта прежде всего для самой болеющей в зимний период группы населения – детей. Забота о состоянии их здоровья всецело возлагается на родителей. Единственно возможным решением данной проблемы в существующих квартирах с водяными системами отопления является применение электрообогреваемых

теплых полов. Они не требуют несанкционированного вмешательства родителей в конструктивное исполнение водяной системы (например, увеличения отопительного прибора), что только ухудшает ее работу, т.к. она в большинстве случаев для этого не предусмотрена.

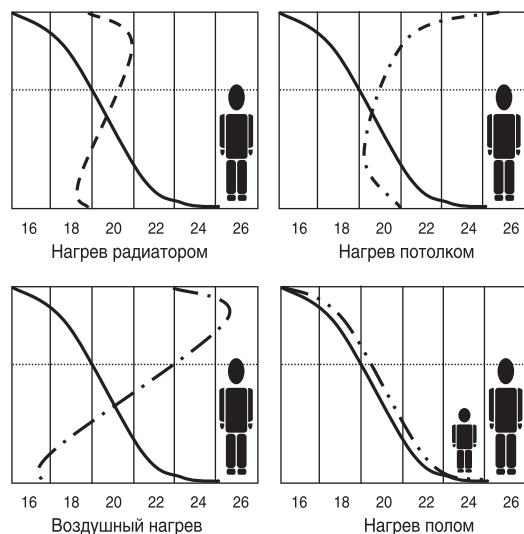


Рис. 3. Влияние способа отопления на распределение температуры воздуха по высоте помещения

помещения с напольным отоплением. Это в два раза больше от рассмотренной в п. 3.2.1 разницы температур воздуха в помещениях с отопительными приборами и отопительными панелями. Уменьшение температуры воздуха в верхней зоне уменьшает теплопотери помещения на 8...12 % за счет снижения теплопотерь с удаляемым вентиляционным воздухом. Здесь следует отметить, что удаление воздуха из верхней зоны помещений является нормируемым [44].

Еще больший перегрев верхней зоны происходит при использовании конвекторов, потолочных конвективно-лучистых панелей, решеток воздушного отопления либо фенкойлов. Отрицательной особенностью этих систем является образование циркуляционных потоков прохладного воздуха у пола. Так, при наружной температуре воздуха около минус 19 °С, температура воздуха в помещении на уровне ног может достигать примерно 13 °С [45]. Для человека это весьма ощутимо. Снижение температуры воздуха на уровне лодыжек на 2 °С относительно температуры у головы при подвижности воздуха более 0,35 м/с приводит к ощущению дискомфорта у 20 % людей [1]. Безусловно, ни о каком тепловом комфорте уже не может идти речь, тем более для детей. Вынужденное устранение дискомфорта завышением температуры воздуха приводит к перерасходу

Примерное распределение температуры воздуха по высоте помещений с различными системами отопления показано на рис. 3 [43]. На всех графиках сплошной линией изображено идеальное распределение. Температура у ног человека должна быть примерно 26 °С, а у головы – примерно 20 °С.

При использовании радиаторов для отопления перегревается верхняя зона помещения. Под потолком создается так называемая "тепловая подушка", в которой температура воздуха на 4 °С выше, чем в верхней зоне

тепловой энергии и снижает качество ощущаемого воздуха. В противоположность этому – помещения с напольным отоплением. Ноги находятся в тепле, а температура воздуха для детей чуть выше, чем для взрослых из-за разности в росте. Таким образом обеспечиваются нормативные требования теплового комфорта для различных возрастных групп людей. Учитываются новейшие направления обеспечения качества воздуха – в зоне дыхания людей воздух должен быть прохладным, а у ног теплым [33].

Обеспечение теплового комфорта в жилом помещении кроме психологического аспекта имеет экономические показатели, оцениваемые социальными результатами, – прежде всего снижением заболеваемости [29].

Более глубокий экономический анализ влияния степени комфорта на социальные результаты включает уменьшение годовых затрат на содержание существующих и строительство новых больниц и поликлиник; эффект от уменьшения текучести кадров; эффект от снижения числа прогулов. Методики их расчета представлены в [29; 33]. Однако доминирующим фактором является повышение производительности труда, оцениваемое в 5...10 % [33].

**Напольные системы отопления обеспечивают тепловой комфорт для разных возрастных групп населения – детей и взрослых.**

**Напольные системы отопления создают близкое к идеальному распределению температур воздуха в помещении – тепло у ног и прохладно в зоне дыхания человека.**

**Улучшение теплового комфорта в помещении создает социально-экономический эффект за счет снижения заболеваемости людей. Доминирующим фактором улучшения теплового комфорта в рабочих помещениях является повышение производительности труда.**

### 3.3. Капитальные затраты

Комплексный подход технико-экономического обоснования систем электрического теплоснабжения рассмотрен в 1970...1980-х г. в работах [13; 17; 18; 46; 47]. При этом сопоставлялись затраты на обустройство как внутренних, так и наружных сетей с учетом стоимостных показателей источника энергоснабжения. Системы отопления рассматривались совместно с системами горячего водоснабжения и электроснабжения. Для снижения нагрузок в электросети предусматривалось блокирование электроотопления с электроплитами; использование двухступенчатых электроводонагревателей, у которых пиковая ступень заблокирована с электроплитами; применение аккумуляционного отопления и аккумуляционного горячего водоснабжения. В результате для жилых зданий в центральных регионах СССР были сделаны важные выводы об экономичности следующих систем электроотопления:

- комбинированной системы отопления, где водяная базовая система обеспечивает температуру воздуха в помещении 13...14 °С, а электрическая прямого действия догревает помещение до комфортной температуры;
- электротеплоаккумулирующей системы отопления при наличии дифференцированных по времени суток тарифов на электроэнергию;
- системы электроотопления прямого действия за пределами охвата территории крупными ТЭЦ.

В то же время (1970...1980-х г.) было отмечено, что капитальные затраты на эти системы по сравнению с централизованными водяными системами от ТЭЦ превышают в 1,35...1,6 раза. Причем наибольшая относительная величина капиталовложений приходится на трансформаторные подстанции – около 64...78 % [17]. Используя сегодня данные, необходимо учитывать происшедшие изменения в водяных системах отопления.

Современные системы водяного отопления не идут ни в какое сравнение по капитальным затратам со своими предшественниками. Они стали двухтрубными. Оборудуются радиаторными терморегуляторами, автоматическими регуляторами перепада давления, регулируемыми клапанами, поквартирными расходомерами, автоматизированным индивидуальным тепловым пунктом с насосами, регулятором перепада давления, регулятором по погодным условиям, тепломером... Поэтому капитальные затраты на их устройство по сравнению с электрическими системами стали выше на 20...45 % [6; 11]. Безусловно, сопоставление систем по капитальным затратам можно осуществить только для конкретных однотипных зданий на основании сметной стоимости. Но следует учесть, что в современных методиках расчета такое сопоставление не является определяющим фактором технико-экономического обоснования проектного выбора систем [1]. Определяющими факторами стали эффективность энергопотребления и экологичность.

С позиций сегодняшнего дня, после введения в Украине последних нормативов по теплопередаче ограждающих конструкций [26], тепловые нагрузки на новые и реконструируемые здания уменьшились в несколько раз. Соответственно, снизилось и потребление энергии системами отопления. Но, несмотря на это, при сопоставлении капитальных затрат на различные системы следует учитывать требования украинской нормы [48] о повышении уровня теплозащиты зданий с электроотоплением вдвое над контрольными показателями по [26]. Поэтому, сравнивая здания с различными уровнями теплозащиты, необходимо учитывать уменьшение капитальных затрат на систему электроотопления в здании с более высоким уровнем теплозащиты и увеличение капитальных затрат на само здание.

По данным ЦНИИЭП увеличение капитальных затрат на дополнительное утепление здания равно 0,6 руб. (в старых ценах) на 1 м<sup>2</sup> жилой площади. Сокращение теплопотерь в зависимости от этажности составляет 30 %. Более высокие показатели энергоэффективности получают при рекуперации теплоты удаляемого вентиляционного воздуха в здании с уси-

ленной теплоизоляцией. Экономия расхода электроэнергии системой электроотопления в этом случае достигает 40...50 % [10; 16; 28].

При сопоставлении капитальных затрат дополнительно включают стоимость занимаемой площади вспомогательным оборудованием. Например, стоимость площади теплового пункта, крышной либо любой другой котельни, бойлерной и т.п. оценивают как стоимость аренды помещений, стоимость парковки автомобилей...

В офисных зданиях с электрическими напольными кабельными системами отопления немаловажным является предоставляемая возможность арендаторам учета индивидуальным электросчетчиком теплотребления занимаемой площади. Также предоставляемая возможность изменения обслуживаемой площади этим счетчиком при расширении, субаренде... Такая возможность исключает порочную практику двойной оплаты арендаторами за предоставляемые услуги в обеспечении микроклимата помещений: первый раз – за якобы качественное отопление, являющееся предметом договора, второй раз – по установленному арендодателем электросчетчику за потребляемую электроэнергию электрорадиаторами, местными кондиционерами при недогреве помещений либо неучитываемому арендодателем дополнительному теплосуппленению от офисной техники. Минимальную стоимость такой возможности можно оценить стоимостью теплосуппленения от офисной техники. Максимальную – капитальной стоимостью замены старой водяной системы на новую, т.к. старая система не способна предоставить эту возможность.

Особенно важным является учет последующего увеличения исходных капитальных затрат, вызванных заменой системы после окончания ее срока службы. Ожидаемый срок службы современного здания составляет 50...100 лет [28; 29; 51], системы электроотопления – 50...70 лет [49], водяного отопления – 25...35 лет [29; 50]. Продолжительность эксплуатации отдельных элементов систем до капитального ремонта либо замены еще меньше. Эти сроки эксплуатации представлены в табл. 2 [51; 52].

По приведенным данным однозначное преимущество имеют электрические кабельные системы отопления, представляющие собой внутриквартирную скрытую электросеть. Кроме того, при их использовании отпадает необходимость в центральных системах горячего водоснабжения, теплоснабжения, газоснабжения, у которых срок эксплуатации элементов весьма незначителен. Следует учесть, что для замены системы осуществляют ее демонтаж. Стоимость демонтажа санитарно-технического и электротехнического оборудования, систем отопления и вентиляции принимают равной 40 %, а внешних сетей тепло- и газоснабжения – 60 % от стоимости их монтажа [53]. В свою очередь стоимость монтажа внутренних инженерных систем здания зачастую составляет 20...25 % сметной стоимости этих систем.

Современное оборудование, безусловно, имеет несколько лучшие эксплуатационные характеристики, чем указанные в табл. 2. Зачастую они определяются количеством циклов (открыто-закрыто либо включено-выключено). Так, по европейским нормам для радиаторных терморегуляторов

**Таблица 2.** Сроки эксплуатации элементов систем инженерного оборудования зданий

Элементы инженерных систем зданий	Продолжительность эксплуатации до капитального ремонта (замены), лет	
	жилые здания	здания и объекты коммунального и социально-культурного назначения
<b>Центральное отопление</b>		
Радиаторы чугунные (стальные) при закрытых схемах	40(30)	35(25)
Калориферы стальные	15	10
Конвекторы	35	25
Стояки при закрытых схемах	30	25
Домовые магистрали при закрытых схемах	20	12
Задвижки, вентили, трехходовые краны	10	8
Изоляция трубопроводов	10	10
Котлы отопительные:	20...25	20...25
Насосы	8	8
Оборудование химводооподготовки	30	30
Расширительные баки	30	30
Тепловые пункты	20	20
<b>Наружные инженерные сети</b>		
Теплопровод	20	20
Дворовой газопровод	20	20
<b>Газовое оборудование</b>		
Внутридомовые трубопроводы	20	20
Водогрейные колонки	10	7
<b>Горячее водоснабжение</b>		
Трубопровод горячей воды из газовых оцинкованных труб (газовых черных труб) при закрытой схеме теплоснабжения	20(10)	15(8)
Полотенцесушители из труб:		
– черных	15	12
– никелированных	10	15
Задвижки, вентили и краны	10...15	8...12
Изоляция трубопроводов	10	10
<b>Электрооборудование</b>		
Внутриквартирные сети при скрытой проводке	40	40

водяных систем – не менее  $5 \times 10^3$  [35], а для электронных терморегуляторов систем электроотопления – не менее  $10^6$  [54]. В то же время, особенно для электронных терморегуляторов, определяющим фактором срока службы чаще является моральный, а не физический износ.

При сопоставлении водяных и электрических систем отопления очевидны технические преимущества использования электричества как единого энергоносителя – выше срок эксплуатации системы электроотопления; меньше количество элементов систем отопления и горячего водоснабжения; отсутствие систем газоснабжения и теплоснабжения. Кроме того, чем меньше составляющих элементов системы, тем выше ее надежность функционирования. Ниже возможные капитальные затраты на ликвидацию аварий и ее последствий.

При сравнении сроков службы систем отопления учитывают степень обеспечения ими теплового комфорта. Принято считать, что системы, создающие лучший тепловой комфорт, имеют меньший моральный износ. Поэтому срок службы напольной электрической кабельной системы отопления допускается увеличивать на 5...10 лет [50], который с учетом данных табл. 2 и без учета современных технических достижений составит не менее 45...50 лет.

*Первоначальные капитальные затраты на электрические кабельные системы отопления и традиционные водяные системы отопления сравнимы между собой и не являются определяющими при их технико-экономическом сопоставлении.*

*При использовании электрических кабельных систем отопления высвобождается площадь помещений, занимаемая дополнительным оборудованием водяных систем, которую оценивают стоимостью аренды.*

*Электрические кабельные системы отопления в офисных зданиях, в отличие от водяных систем, позволяют осуществлять реальную оплату за отопление арендуемой площади, а также изменять размеры арендуемой площади, учитываемой индивидуальным электросчетчиком.*

*Срок службы элементов электрических кабельных систем отопления значительно выше, чем у водяных.*

*Срок службы электрических кабельных систем отопления, в отличие от водяных, сопоставим со сроком службы зданий.*

### 3.4. Эксплуатационные затраты

Определяющим показателем экономичности систем отопления являются затраты в процессе ее эксплуатации. За год они превышают половину стоимости системы [50]. Рассчитывают эксплуатационные затраты по формуле [29]:

$$\sum I = T + \mathcal{E} + B + P_k + P_m + \mathcal{Z} + Y,$$

где  $T$  – затраты на топливо или тепловую энергию, получаемую от ТЭЦ;  $\mathcal{E}$  – затраты на электроэнергию;  $B$  – отчисления на восстановление основных фондов;  $P_k$  и  $P_m$  – затраты на их капитальный и текущий ремонт, а также межремонтное обслуживание;  $\mathcal{Z}$  – заработная плата обслуживающего персонала;  $Y$  – затраты на управление, технику безопасности, охрану труда и др.

Наибольшая составляющая этих затрат приходится на оплату энергоносителей.

### 3.4.1. Затраты на энергоносители

Срок эксплуатации современных зданий может достигать ста лет. Поэтому при экономическом сопоставлении энергоносителей для систем отопления зданий следует учитывать не только сегодняшние тарифы на них, но и прогнозировать изменение соотношений между ними. Несмотря на сложность задачи, разработана программа "Энергетической стратегии Украины на период до 2030 года и дальнейшую перспективу" [55]. Важная роль в энергетическом балансе отводится АЭС. Уже сегодня на них производится почти 50 % [24] всей электроэнергии и значительно повышаются темпы прироста по сравнению с ТЭЦ.

В структуре себестоимости электроэнергии топливная составляющая достигает 85...90 %, что несколько выше, чем в западных странах – 60...70% [56]. Это означает, что пропорции между энергоносителями сегодня примерно установились и определяются балансом как внутригосударственных, так и межгосударственных интересов. Поэтому выбор перспективных энергоносителей определяется государством.

Проследить изменение стоимостных пропорций между энергоносителями на протяжении последних 23 лет можно, например, по платежкам за квартиру. Общая площадь – 68 м<sup>2</sup>. Проживает 2 чел. Дом – 9-ти этажный на Оболони в г. Киеве. Теплоснабжение – централизованное. В квартире имеется только счетчик электроэнергии. Сравнение представлено в табл. 3.

**Таблица 3.** Изменение стоимости коммунальных услуг за 23 года

Услуга	Стоимость в месяц		Отношение стоимостей 2003/1981
	за IX м. 1981 г., руб.	за IX м. 2003 г., грн.	
Отопление	2,27	66,80	29,4
Горячее водоснабжение	1,32	24,00	18,2
Вода (среднее по дому – 13,38 м <sup>3</sup> /чел.)	0,88	15,00	17,0
Газ	0,30	3,72	12,4
Электроэнергия (120 кВт)	4,80	18,72	3,9

В результате сопоставления стоимости коммунальных услуг, несмотря на отсутствие в расчетах обменного курса, что не изменяет общей закономерности, очевидны следующие выводы:

- наименьшее стоимостное изменение претерпели тарифы за электроэнергию;
- ранее оплата за электроэнергию превышала оплату за отопление в 4,80/2,27 = 2,11 раза; сегодня наоборот – стоимость услуги за отопление превышает оплату за электроэнергию в 66,80/18,72 = 3,57.

Наличие в современных зданиях поквартирных счетчиков всех видов коммунальных услуг в значительной мере упрощает сопоставление различных систем отопления по стоимости этих услуг, делая их более ре-

алистичными. При сопоставлении водяных систем отопления с электрическими следует воспользоваться преимуществами многозонных счетчиков учета потребления электроэнергии.

Немаловажным стимулом применения электроэнергии для аккумуляторного электроотопления и горячего водоснабжения является введение в Украине двух- и трехставочных тарифов на электрическую энергию, дифференцированных по времени суток. Ставка тарифа каждого периода для жилых зданий определяется путем умножения установленного рыночного тарифа  $T_s$  на коэффициент [27] –

для двухставочного тарифа:

- $k = 0,7$  с 23.00 до 7.00;
- $k = 1,0$  с 7.00 до 23.00;

для трехставочного тарифа:

- $k = 0,4$  с 23.00 до 7.00;
- $k = 1,0$  с 7.00 до 8.00, с 11.00 до 20.00 и с 22.00 до 23.00;
- $k = 1,5$  с 8.00 до 11.00 и с 20.00 до 22.00.

Применение трехставочного тарифа допустимо для расчетов за всю потребляемую электроэнергию. Это не всегда устраивает потребителей со значительным дневным электропотреблением. Для таких случаев нормативно допустимо одновременное применение двух многозонных счетчиков для многоквартирных (более двух квартир) домов – общего трехзонного счетчика на отопление и горячее водоснабжение всех квартир, а также поквартирных двухзонных счетчиков для учета потребления остальной электробытовой техники.

По стоимости услуг теплосети и стоимости электроэнергии представляется возможность определения целесообразности замены централизованного водяного отопления на электрическое децентрализованное для конкретной квартиры многоэтажного дома (табл. 3). Определим на какие средние за отопительный период удельные теплотехники  $q$ , Вт/м<sup>2</sup>, хватит денег, затрачиваемых в год на водяное отопление

$$q = \frac{12T_o}{24nA} \cdot \frac{1000}{kT_s} \cdot \frac{(t_p - t_{ext})}{(t_p - t_{o,n})},$$

где 12 – количество месяцев в году, оплачиваемых за отопление;  $T_o$  – стоимость услуги за водяное отопление квартиры, грн./мес.; 24 – количество часов в сутках, ч;  $n$  – отопительный период, дней (для Киева – 187 дней);  $A$  – общая площадь квартиры, м<sup>2</sup>; 1000 – переводной коэффициент из кВт в Вт;  $k$  – тарифный коэффициент на электроэнергию;  $T_s$  – тариф на электроэнергию, грн./(кВт×ч);  $t_p$  – расчетная температура воздуха в помещении, °С (для систем напольного отопления равна 18 °С);  $t_{ext}$  – расчетная температура наружного воздуха, °С (для Киева – минус 22 °С);  $t_{o,n}$  – средняя температура наружного воздуха за отопительный период, °С (для Киева – минус 1,1 °С).



Первый множитель уравнения определяет по стоимости услуги централизованного водяного отопления квартиры за календарный год стоимость отопления квадратного метра за один час отопительного периода. Второй множитель, исходя из этой стоимости и стоимости электроэнергии, устанавливает эквивалентное по стоимости водяному отоплению удельное количество потребляемой электроэнергии электроотоплением. Т.к. коэффициент преобразования электрической энергии в тепловую энергию примерно равен единице, полученное потребление электроэнергии характеризует средние за отопительный период удельные теплотери квартиры, оплачиваемые потребителем. Третий множитель приводит эти теплотери, соответствующие средней температуре наружного воздуха за отопительный период, к расчетным условиям системы отопления, соответствующим температуре холодной пятидневки наружного воздуха. Это дает возможность сопоставления полученных результатов с контрольными удельными показателями теплотери зданий.

Результаты расчетов по приведенной формуле для некоторых сочетаний инженерного оборудования жилого дома представлены в табл. 4. Стоимость услуг на отопления взята по табл. 3, а тариф на электроэнергию 12 коп./(кВт×ч) по табл. 5. В скобках табл. 4 указаны значения для зданий с газовыми плитами, где тариф за электроэнергию – 15,6 коп./(кВт×ч) (по табл. 5).

Дальнейшее сопоставление результатов расчета в последнем столбце производим с учетом года постройки рассматриваемого здания (1980 г.) по контрольному показателю удельного теплового потока через ограждения для жилых зданий  $q = 81 \text{ Вт/м}^2$  [57]. Для аналогичного здания, построенного после 1993 г., этот показатель уменьшен нормативом [48] –  $q = 52 \text{ Вт/м}^2$ . Здесь следует также отметить, что здания разных годов постройки имеют разные теплозащитные свойства. Однако стоимость услуг, предоставляемая теплосетями, устанавливается одинаковой по всему городу за  $1 \text{ м}^2$  общей отапливаемой площади без учета реальных теплоизоляционных свойств здания в целом и квартиры в частности. Это, из-за отсутствия у подавляющего большинства зданий поквартирных счетчиков учета теплоты, позволяет коммунальщикам манипулировать средствами потребителей по своему усмотрению. При наличии систем электроотопления такое исключается. Кроме того, при сопоставлении не учтены экономические преимущества электрического децентрализованного горячего водоснабжения, где исключаются теплотери в трубопроводах и затраты энергии на циркуляцию воды. По существующим тарифам для зданий без поквартирных счетчиков горячей воды оплата осуществляется исходя из среднесуточного расхода на одного человека, равного 110 л. В то время как в 80-х годах прошлого столетия она не превышала 50 л. [47]. А сегодня по европейским нормам – равна 23 л. [2]!

Целесообразность замены водяного централизованного отопления многоэтажных зданий электрическим отоплением по сложившиеся на сегодняшний день стоимости коммунальной услуг в г. Киеве такова:

Таблица 4.

Сочетание инженерного оборудования жилого дома	Тариф на электроэнергию				Удельные теплотери $q$ , Вт/м <sup>2</sup>
	вид тарифа	коэф. к	тариф, коп./(кВт×ч)	стоимость, коп./(кВт×ч)	
1. Система аккумуляторного кабельного электроотопления. Поквартирные счетчики – однозонные	одно-ставочный	1,0 (1,0)	12,0 (15,6)	12,00 (15,60)	45 (35)
2. Система аккумуляторного кабельного электроотопления. Поквартирные счетчики – двухзонные	двух-ставочный	0,7 (0,7)	12,0 (15,6)	8,40 (10,92)	65 (50)
3. Система аккумуляторного кабельного электроотопления. Общий счетчик на здание – трехзонный	трех-ставочный	0,4 (0,4)	12,0 (15,6)	4,80 (6,24)	115 (88)
4. Система аккумуляторного кабельного электроотопления на компенсацию 75 % теплотери и электрокалориферы-доводчики – на 25 %. Общий счетчик на здание – трехзонный	трех-ставочный	0,4 (0,4)	12,0 (15,6)	$[0,75 \times 0,4 + 0,25(8/24)0,4 + 0,25(11/24)1,0 + 0,25(5/24)1,5]12,0 = 5,41$  $[0,75 \times 0,4 + 0,25(8/24)0,4 + 0,25(11/24)1,0 + 0,25(5/24)1,5]15,6 = (7,04)$	102 (78)
5. Система прямого кабельного электроотопления. Поквартирные счетчики – однозонные	одно-ставочный	1,0 (1,0)	12,0 (15,6)	12,00 (15,60)	45 (35)
6. Система прямого кабельного электроотопления. Поквартирные счетчики – двухзонные	двух-ставочный	0,7; 1,0 (0,7; 1,0)	12,0 (15,6)	$[(8/24)0,7 + (16/24)1,0]12,0 = 10,80$  $[(8/24)0,7 + (16/24)1,0]15,6 = (14,04)$	51 (39)
7. Система прямого кабельного электроотопления. Общий счетчик на здание – трехзонный	трех-ставочный	0,4; 1,0; 1,5 (0,4; 1,0; 1,5)	12,0 (15,6)	$[(8/24)0,4 + (11/24)1,0 + (5/24)1,5]12,0 = 10,85$  $[(8/24)0,4 + (11/24)1,0 + (5/24)1,5]15,6 = (14,11)$	51 (39)

- аккумуляторные электрические системы отопления с трехставочным тарифом экономичнее водяных систем отопления даже в неутепленных зданиях постройки 1980-х годов. При этом в зданиях с электроплитами экономия денежных средств в оплате коммунальных услуг составит  $100(88 - 81)/81 = 8 \%$ , а в зданиях с электроплитами –  $100(115 - 81)/81 = 42 \%$ ;
- аккумуляторные электрические системы отопления с трехставочным тарифом экономичнее водяных систем отопления в зданиях постройки после 1993-го года. Экономия денежных средств в зданиях с газо-

выми плитами –  $100(88 - 52)/52 = 69\%$ , а в зданиях с электроплитами –  $100(115 - 52)/52 = 121\%$ ;

- аккумуляторные электрические системы отопления с двухставочным тарифом сопоставимы с водяными системами отопления в зданиях постройки после 1993-го года. Экономия денежных средств в зданиях с электроплитами –  $100(65 - 52)/52 = 25\%$ . В зданиях с газовыми плитами сравниваемые варианты систем отопления равноэкономичны. Увеличение оплаты на  $100(52 - 50)/52 = 4\%$  вполне компенсируется экономией за счет снижения теплопотерь в удаляемом вентиляционном воздухе (см. п. 3.2.3);
- аккумуляторные электрические системы отопления с одноставочным тарифом становятся равноэкономичными с водяными системами в дополнительно теплозащищенных современных зданиях;
- аккумуляторные электрические системы отопления на компенсацию 75 % теплопотерь и электрокалориферы-доводчики на компенсацию 25 % теплопотерь, оплачиваемые по трехставочному тарифу, экономичнее водяных систем отопления в зданиях постройки после 1993 г. Экономия средств в зданиях с газовыми плитами оснащенных газовыми плитами на –  $100(78 - 52)/52 = 50\%$ , а с электроплитами – на  $100(102 - 52)/52 = 96\%$ ;
- электрические системы отопления прямого действия с одноставочным тарифом равноэкономичны с водяными системами в дополнительно теплозащищенных современных зданиях;
- электрические системы отопления прямого действия с двух- либо трехставочным тарифом равноэкономичны с водяными системами отопления в зданиях постройки после 1993-го г., оснащенных электроплитами. Расхождение в оплате –  $100(52 - 51)/52 = 2\%$ ;
- электрические системы отопления прямого действия с двух- либо трехставочным тарифом равноэкономичны с водяными системами в дополнительно теплозащищенных современных зданиях, оснащенных газовыми плитами.

Данные выводы осуществлены лишь по стоимости услуг без учета дополнительных факторов экономии энергоресурсов, рассмотренных в п. 3.2.1...3.2.3. Но даже в этом случае очевидны экономические преимущества электрических систем отопления по сравнению с водяными. Кроме того, качество предоставляемого комфорта системами электроотопления выше. В расчетах принималась температура внутреннего воздуха  $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , соответствующая оптимальным санитарно-гигиеническим условиям при напольном электроотоплении, а при водяном отоплении радиаторами – допустимым. Расчеты выполнены также по максимальным тарифам на электроэнергию. При меньших тарифах, представленных в табл. 5 [58; 59], область экономичности электроотопления возрастает.

Таблица 5.

Тарифы на электроэнергию

Категория потребителей	Тариф $T_{\text{э}}$ , коп./кВт·ч
1. Население	15,6
1.1. Население, проживающее в сельской местности	14,4
1.2. Население, проживающее в домах оборудованных электроплитами (в т.ч. в сельской местности)	12,0
2. Населенные пункты	15,1
2.1. Населенные пункты в сельской местности	13,9
2.2. Населенные пункты с домами, оборудованными электроплитами (в т.ч. в сельской местности)	11,5

Для зданий, находящихся за пределами территории охвата теплосетями, но расположенных в зоне действия газовых сетей, выбор энергоносителя осуществляют на основании сопоставления систем инженерного оборудования зданий на электричестве и на газе. Тарифы на газ приведены в табл. 6 [60].

Таблица 6.

Тарифы на природный газ для бытовых нужд населения

Учет газопотребления	Стоимость, коп./м <sup>3</sup>
Газовыми счетчиками	17,5
По нормам газопотребления (при отсутствии газовых счетчиков)	19,0

Сопоставление затрат на энергоносители только по их стоимости и теплотворной способности является весьма упрощенным подходом, так как не принимаются во внимание энергоэффективность систем и трансформации одного вида энергии в другой. Иногда учитывают лишь среднегодовой коэффициент полезного действия источника теплоты, который для котлов на угле либо газе равен – 0,8, а при электроотоплении – 1 [8]. В отечественной практике экономических расчетов [29] дополнительно учитывают потери энергии на неточность регулирования теплоотдачи отопительных приборов (5 %) и потери теплоты наружными теплопроводами (15...20 %). Наиболее комплексный на сегодняшний день подход для экономического сопоставления систем с определением энергозатрат на всех этапах преобразования первичной энергии в тепловую энергию представлен в нормативе [2]. При этом системы отопления рассматриваются в совокупности с системами горячего водоснабжения и вентиляции, с учетом основных конструктивных особенностей (подробнее см. в п.р. 3.7).

В основу норматива [2] положены затраты первичной энергии на преобразование теплотворной способности топлива в конечный вид энергии в виде теплоты или электричества. На европейских тепловых электростанциях коэффициент затрат первичной энергии для газа либо угля принят равным

1,1, а электроэнергии – 3,0. Соотношение  $3,0/1,1 = 2,73$  несколько выше среднего показателя затрат условного топлива на отпуск электроэнергии по Украине, равного 2,3, и по Киевуэнерго – 2,6 [24]. Этот коэффициент показывает во сколько раз меньше необходимо сжечь топлива для получения тепловой энергии по отношению к сжигаемому топливу для получения электроэнергии. Однако такой подход ориентирован на страны с основным производством электроэнергии на тепловых электростанциях. Для Украины он не учитывает долю и себестоимость электроэнергии, вырабатываемую атомными станциями. В энергетическом балансе Украины эта доля составляет примерно 50 %, а себестоимость производства 1 кВт·ч электроэнергии примерно в два раза ниже, чем на тепловых электростанциях [24].

Если применить методику [2] для Украины, то для обособленной теплоэлектростанции следует вводить поправочный коэффициент  $2,3/2,73 = 0,84$ . Для единой энергосистемы, объединяющей ТЭЦ и АЭС, необходимо учитывать долю ядерной энергетики (коэффициент – 0,5) и относительную дешевизну ее электроэнергии (коэффициент – 2). Тогда поправочный коэффициент –  $(0,5 \times 2,3/1 + 0,5 \times 2,3/2)/2,73 = 0,63$ .

Подробнее сопоставление затрат первичной энергии при сравнении вариантов проектных решений по нормативу [2] с учетом энергетических условий Украины осуществлено в п.р. 3.7 и 3.8. При этом системы отопления рассматриваются совокупно с системами горячего водоснабжения и вентиляции.

***По существующим тарифам на коммунальные услуги с учетом многотарифных тарифов на электроэнергию электрические кабельные системы отопления вполне конкурентоспособны с водяными системами отопления, а в современных зданиях даже имеют существенные преимущества в оплате коммунальных услуг за отопление.***

***Сравнение затрат на энергоносители по их стоимости и теплотопотребия здания, без комплексного рассмотрения эффективности системы отопления, эффективности преобразования первичной энергии в тепловую энергию, без взаимовлияния всех инженерных систем здания... является весьма упрощенным. Однако позволяет потребителю ощутить реальную экономию средств в оплате коммунальных услуг.***

### 3.4.2. Затраты на текущий и капитальный ремонт

Отчисления на полное восстановление водяных и электрических систем отопления при сравнении не учитывают. Поскольку их срок службы превышает 30 лет. При этом считается, что до момента замены отслужившего оборудования либо системы эти отчисления в течение длительного периода расходуются на другие нужды, принося прибыль, которая может превысить необходимые затраты [29].

Затраты на ремонты и обслуживание систем отопления за весь период эксплуатации жилых и гражданских зданий при сопоставлении вариантов проектных решений на стадии технического проекта, принимают по усредненным показателям [29]:

- для систем воздушного отопления – 8 % стоимости системы;
- для систем водяного отопления с радиаторами – 6 % стоимости системы (из них 2 % на капитальный и 4 % на текущий ремонты [52]);
- для котлов – 5 % стоимости котельни;
- для систем отопления с напольными либо другими отопительными панелями – 4 % стоимости системы (из них 1,5 % на капитальный и 2 % на текущий ремонты [52]).

Сопоставление приведенных результатов показывает, что электрические кабельные системы требуют в  $6/4 = 1,5$  раза меньше затрат на текущий и капитальный ремонты, чем системы водяного отопления. Кроме того, устраняется необходимость в обслуживании котельни, газового оборудования и систем.

Техническое обслуживание зданий включает работы по контролю технического состояния, поддержания работоспособности или исправности, наладке и регулировке, подготовке к сезонной эксплуатации системы... Контроль технического состояния систем осуществляют путем проведения плановых и внеплановых осмотров. Количество осмотров – как минимум один раз осенью при подготовке к отопительному периоду. Однако оборудование водяных систем отопления и газоиспользующее оборудование требуют дополнительных осмотров, которые в конечном итоге отражаются в экономических затратах. Сопоставление периодичности проведения осмотров различных систем представлено в табл. 7 [51].

**Таблица 7.** Периодичность осмотров элементов инженерных систем зданий и объектов

Элементы инженерных систем	Периодичность осмотров, мес.	Примечания	
1. Газоходы от котлов и газовых водонагревателей	3	–	
2. Вентиляционные каналы в помещениях с газовыми приборами	3	–	
3. Системы центрального отопления:	3...6	Осмотр проводится в отопительный период	
• в квартирах и основных функциональных помещениях объектов коммунального и социально-культурного назначения	2		–
• на чердаках, в подвалах (подпольях)	2		–
• на лестницах	2		–
4. Тепловые вводы, котлы и котельное оборудование	2	–	
5. Электрооборудование:			
• скрытая электропроводка;	6	–	
• кухонные плиты	6	–	
6. Вентиляционные каналы	12	–	

Затраты на заработную плату персонала и отчисления на управление, технику безопасности, охрану труда и др. напрямую зависят от количества систем и периодичности их обслуживания. При использовании единого энергоносителя – электроэнергии – устраняются затраты на обслуживание тепловых сетей, котельного оборудования, газовых сетей и оборудования, дымовых газоходов; уменьшаются затраты на обслуживание вентиляционных каналов; упрощается учет потребления энергоресурсов.

**Затраты на текущий и капитальный ремонт, заработную плату персонала и отчисления на управление... при использовании электрических кабельных систем отопления в 1,5 раза ниже, чем для водяных систем с радиаторами.**

**При едином энергоносителе – электричестве – значительно уменьшаются либо устраняются затраты на другие системы инженерного оборудования здания.**

### 3.5. Эксплуатационная надежность систем отопления

Надежность – сохранение во времени эксплуатационных качеств системы в целом или ее элементов в частности. С экономической точки зрения она определяется отклонением прямых фактических затрат на систему от их расчетных величин. В тоже время, существуют и косвенные затраты, которые зачастую значительно превышают прямые затраты. Они связаны с ликвидацией последствий, вызванных ненадежностью системы – дополнительными затратами на ремонты помещений и восстановление материальных ценностей при разгерметизации водяных систем; на ликвидацию пожаров и последствий взрывов при использовании газовых систем...

Оценивают надежность систем отопления и ее элементов вероятностью безотказной работы  $P$  в течение заданного времени эксплуатации  $x$ . Выражают ее в долях единицы.

Определяют надежность системы по надежности составляющих элементов. При параллельном включении  $n$  элементов с одинаковой надежностью  $P_1(x)$  общую надежность системы определяют по формуле [29]:

$$P(x) = 1 - [1 - P_1(x)]^n,$$

при последовательном включении элементов системы –

$$P(x) = P_1(x)P_2(x) \dots P_n(x).$$

Для сопоставления систем отопления по надежности составляют схемы взаимного расположения их оборудования, исключая связующие элементы из неподвижных составляющих, – трубопроводы, нагревающие электрокабели, отопительные приборы... У двухтрубных систем водяного отопления с централизованным теплоснабжением схема по ходу движения теплоносителя примерно следующая (поквартирная двухтрубная схема):

- отключающий клапан на входе в здание → регулятор давления → тепломер → регулятор температуры → насос → регулирующий клапан системы → отключающие клапаны стояков (параллельно) → отключающие клапаны квартир (параллельно) → горячеводные счетчики (параллельно) → терморегуляторы (параллельно) → регуляторы перепада давления либо регулирующие клапаны (параллельно) → отключающие клапаны стояков (параллельно) → отключающий клапан системы → отключающий клапан на выходе из здания.

Системы кабельного электроотопления имеют примерно такую схему:

- автомат защиты отключения на входе в здание → автомат на входе в квартиру → счетчик → автомат защитного отключения (параллельно) → реле тока утечки (параллельно) → терморегуляторы (параллельно) → магнитный пускатель (параллельно).

При параллельном подключении элементов надежность звена в рассмотренной цепи подключения стремится к единице. Такие звенья исключают из рассмотрения, упрощая схему. Но, в любом случае количество последовательных звеньев у электрических кабельных систем отопления значительно меньше, что приводит к увеличению их надежности. Для современной системы отопления, например, по нормативу [61] надежность должна быть не ниже 0,92. Принимая такую надежность для децентрализованных систем кабельного электроотопления каждой квартиры (помещения), общая надежность электроотопления здания, состоящего всего лишь из двух квартир (помещений), уже будет равна 0,98. Во многоквартирном здании с такими системами надежность примерно равна 1,0. Таким образом, разница в надежности отопления зданий водяными и электрическими системами достигает  $100(1,0 - 0,92) = 8\%$ .

**Электрические системы отопления обеспечивают повышение надежности отопления зданий по сравнению с водяными системами на 8 %.**

### 3.6. Экологические показатели систем отопления

Современные акценты в оценке повседневного влияния вредных веществ на организм человека смещаются во внутрь среды его обитания. Проведенные обследования в городах и пригородах США двумя десятками исследовательских организаций [63] показали, что наибольший контакт человека с вредными веществами происходит в помещении, в котором он проживает. Причем причиной зачастую становится неосознанная пагубность выбора пути жизнедеятельности и обустройства быта. Доля контакта с некоторыми веществами в быту достигает 79 %. В то время как влияние этих веществ от наибольших источников выбросов (автомобилей и промышленности) оценивается соответственно в 18 % и 3 %.

При обустройстве быта следует делать выбор с осознанием его последствий, в том числе и систем отопления с котлами, сжигающими топливо. Исследование загрязнения воздуха в квартирах зафиксировало превышение допустимых концентраций по семи токсичным органическим соединениям – полициклическим ароматическим углеводородам, образующимся при неполном сгорании топлива в кухонных плитах и бытовых генераторах теплоты. Эти вещества вызывают рак у животных, и, как считают, способствуют раку у людей. Кроме того, образуется угарный газ. Даже небольшое его количество избавляет кровь от кислорода, что особо опасно для людей с сердечными заболеваниями и детей в возрасте от 6 до 10 лет. А присутствующий в продуктах сгорания диоксид азота затрудняет дыхание.

Подобные исследования проведены также в Украине Полтавским техническим университетом [64]. Установлено, что в целом газовые плиты соответствуют нормативам – к.п.д. не менее 59 %. Однако, при уменьшении тепловой мощности плиты на 20...25 % наблюдается резкое повышение угарного газа, при этом появляется канцерогенные вещества – формальдегид и тяжелые углеводороды. Увеличивается концентрация диоксида азота, который по токсичности в 60 раз превышает угарный газ. Но, даже при паспортных условиях эксплуатации в течение 15...20 мин работы газовой плиты концентрация вредных веществ на кухне достигает 85...90 % нормативной величины.

Один из путей улучшения воздуха в помещениях с газовыми приборами – увеличение объема удаляемого воздуха примерно в 5 раз, относительно нормативной величины (например, по [61] для электроплит он составляет 60 м³/ч, для газовых четырехконфорочных плит – 120 м³/ч, а по [42] – соответственно 60 м³/ч и 90 м³/ч). При этом во столько же увеличатся теплопотери с удаляемым вентиляционным воздухом, что следует учитывать при сопоставлении помещений с газовыми плитами и водяным отоплением с помещениями при полной электрификации быта. Здесь следует особо отметить, что даже при увеличении объемов удаляемого воздуха из помещений с источниками горения не происходит полного устранения загрязняющих веществ. Во первых, вследствие турбулентного переноса немалая часть загрязняющих веществ дрейфует противоположно направлению дви-

жения удаляемого воздуха [65]. Во вторых, выбрасываемые без очистки вблизи здания вещества за счет инфильтрации попадают обратно в помещения. Способствуют этому зоны аэродинамической тени, образующиеся с заветренной стороны зданий (рис. 4). Вихревые структуры в них переносят вредные вещества от источников выбросов к форточкам, балконам...

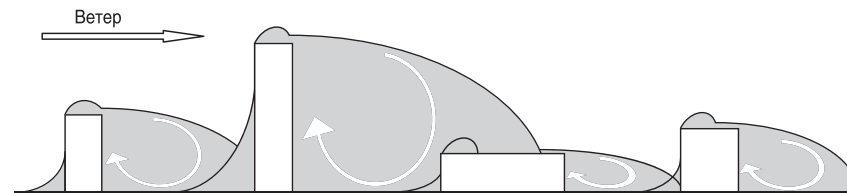


Рис. 4. Образование ветровой тени у смежных зданий [66]

Экологические расчеты [67] загрязнения приземного слоя атмосферы в микрорайоне с котельной, крышными котельными и индивидуальными котлами ведущих мировых производителей приводят к неутешительным результатам. При этом вовсе не утешает тот факт, что используются котлы с высоким к.п.д. Ведь в приземном слое атмосферы при децентрализованном теплоснабжении газовыми котлами содержание окислов азота превышает на 25 % предельно-допустимую концентрацию. С увеличением высоты загрязнение воздуха резко увеличивается, превышая норму в 2,5 раза уже на уровне второго этажа. Основной причиной этому являются сложные условия рассеивания вредных веществ в приземном слое при наличии построек, деревьев...

Рассеивание вредных веществ в атмосфере осуществляется увеличением высоты устья выбросов вредных веществ (рис. 5) и созданием санитарно-защитной зоны вокруг него.

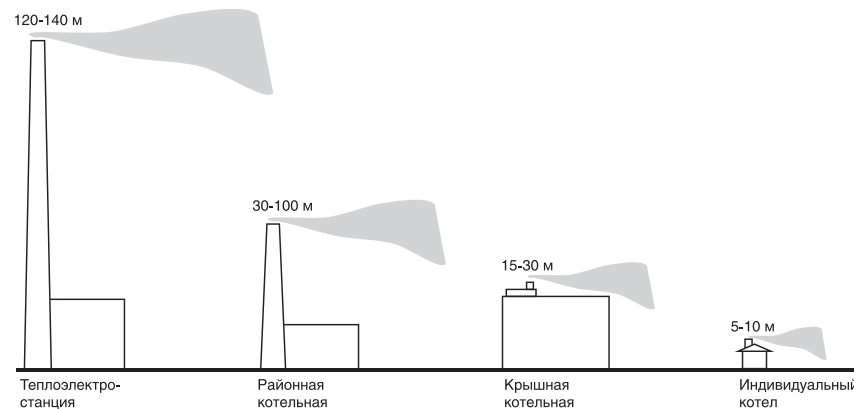


Рис. 5. Рассеивание вредных веществ в атмосферу от источников теплоты

В полной мере очистка выбросов и рассеивание вредных веществ в атмосферу реализуется на ТЭЦ. Их помимо всего выносят в промзоны либо на окраины городов. Хуже обстоит дело с районными котельными, где дымовая труба окружена жилой застройкой. Ужаснее всего – с децентрализованными котлами, когда продукты сгорания топлива витают вокруг зданий и попадают вовнутрь помещений. Поэтому применение децентрализованного теплоснабжения с котлами, основанными на сгорании топлива, должно быть экологически обоснованным. Решающую роль при этом должно играть понимание потребителей того, что загрязнение атмосферы ограничивается и контролируется соответствующими ведомствами, в то время как внутри жилого помещения эти вопросы следует решать самостоятельно. Безусловно, в экологическом аспекте системы электроотопления имеют значительные преимущества по сравнению с системами отопления, источником теплоты которых являются котлы со сжиганием топлива.

**Использование в быту устройств, сжигающих топливо, приводит к значительному загрязнению воздуха как снаружи, так и внутри помещения.**

**При полной электрификации быта устраняются одни из основных источников загрязнения помещений канцерогенными веществами – газовые плиты, водогрейные колонки, котлы, камины.**

### 3.7. Европейские энергетические показатели инженерных систем здания

В декабре 2002 г. утверждена "Директива ЕС по энергетическим показателям зданий". Государства-участники ЕС обязаны воплотить ее в национальные законы до 2006 г., закрепив минимальные требования по энергоэффективности зданий. Директива состоит из документа 1 – "Конечное потребление энергии" и документа 2 – "Потребление энергии в жилых зданиях стран ЕС". Ее внедрение предполагает разработку интегральной нормы с требованиями к системам отопления, горячего водоснабжения, кондиционирования, вентиляции и встроенным осветительным приборам. Норма должна оперировать простыми коэффициентами, упрощающими сертификацию вновь строящихся и существующих зданий. Результатом директивы станет энергетическая паспортизация зданий, дающая объективную информацию конечным пользователям и инвесторам об эффективности использования энергии, а также способствующая стимулированию повышения энергоэффективности зданий и их рыночной привлекательности.

Общим критерием оценки энергоэффективности здания принято первичное энергопотребление. Поскольку решающее значение имеют не ка-

питальные затраты и расход энергии у потребителя в виде тонн угля, метров кубических газа, киловатт электричества..., а фактическое потребление первичной энергии, которую использовали для производства соответствующей конечной энергии. Этим учитывают потери энергии, как у поставщиков, так и у потребителей. Такой подход инициирован Германией, Францией и Голландией. Он стал основополагающим для всех стран ЕС.

В рамках создания указанного законопроекта Германия разработала предписания по инженерным системам здания, в основу которых положены коэффициенты затрат первичной энергии  $e_p$  при различных сочетаниях этих систем в целом и их компонентов в отдельности. По этим коэффициентам в нормативе [2] уже на стадии проектирования здания путем технико-экономического сопоставления проектных решений определяют наиболее энергетически благоприятный вариант. Чем ниже коэффициент затрат первичной энергии  $e_p$ , тем выше эффективность использования первичной энергии в инженерных системах здания, тем ниже выброс в атмосферу энергообусловленного газа  $CO_2$ .

Основой указанного норматива является энергетическая цепь трансформации первичной энергии в конечную (рис. 6). Она разделена на звенья – потери энергии при производстве, аккумулировании, распределении, передаче потребителю и потери у потребителя. Значимость каждого звена определена годовыми удельными энергопотерями  $q$  (затратами  $Q$  с соответственной индексацией, отнесенными к квадратному метру полезной отапливаемой площади здания  $A_N$ ) и соответствующими коэффициентами затрат первичной энергии (классифицированными по видам основных элементов инженерного оборудования здания – систем отопления, вентиляции и горячего водоснабжения). При этом отдельно учтены дополнительные затраты энергии на функционирование каждого звена, например, – электроэнергии на насосы, автоматическое регулирование... Составление единой цепи из всевозможных сочетаний звеньев приводит к определению результирующих годовых конечных удельных энергопотерь и коэффициента затрат первичной энергии здания. Такой подход позволяет выбирать оптимальные решения при проектировании и реконструкции зданий, как по системам, так и по отдельным ее элементам. Кроме того, дает возможность сопоставлять эффективность этих систем в зданиях с разнообразными теплоизоляционными характеристиками и различной отапливаемой площадью.

В потерях энергии при производстве учитывают энергетический показатель топлива. При этом затраты на электрическую энергию относительно, например, к газу на теплоэлектростанциях соотносят как 3,0 к 1,1, что не учитывает особенности энергосистем со значительной долей атомной энергетики (подробнее см. п. 3.4.1). Эффективность котлов рассмотрена с учетом применяемого топлива, мощности (отнесенной к полезной отапливаемой площади здания), температурного режима эксплуатации (постоянного, низкотемпературного, конденсационного), перепада температур теплоносителя. Здесь также учтены потери энергии при ее передаче от производителя к зданию, например, в теплосетях.

Аккумуляция энергии учитывают только в водяных системах отопления и горячего водоснабжения. Для аккумуляционного и прямого электроотопления накопление энергии в строительных конструкциях не требует дополнительной энергии, то есть учитывается коэффициентом, равным 0,0.

При распределении энергии учитывают ее потери в насосах (регулируемых и нерегулируемых) а также в горизонтальных и вертикальных трубопроводах внутри и за пределами тепловой оболочки здания с учетом температуры теплоносителя. Для систем электроотопления они равны 0,0,



Рис. 6. Энергетический баланс отопления, вентиляции и горячего водоснабжения здания:  
 $Q_{TW}$ ,  $Q_L$  и  $Q_H$  – годовые затраты теплоты соответственно на горячее водоснабжение, вентиляцию и отопление;  $Q_{tw}$  – годовая потребность теплоты на горячее водоснабжение;  $Q_h$  – годовая потребность теплоты на отопление;  $Q_{h,TW}$ ,  $Q_{h,L}$  и  $Q_{h,H}$  – доля в годовой потребности теплоты на отопление теплопоступлений соответственно от систем горячего водоснабжения, вентиляции и отопления;  $Q_{g,s,d,ce}$  – годовые энергопотери соответственно индексам на производство, аккумуляцию, распределение и передачу теплоты

т.к. теплота от нагревательных кабелей поступает непосредственно в обогреваемое помещение. Учитывается также тепловая энергия трубопроводов и воды горячего водоснабжения, поступающая в помещение (см. рис. 6).

Потери при передаче энергии потребителю учитывают по типу применяемых отопительных приборов и уровню их автоматического регулирования. Преимущества регулирования систем электроотопления см. в табл. 1.

Потери энергии у потребителя разделяют на потери системой горячего водоснабжения и совокупные потери в системах отопления и вентиляции. Следует также отметить, что для систем горячего водоснабжения и вентиляции рассмотрена эффективность применения тепловых насосов, солнечных коллекторов, регенераторов.

Показатели сопоставления систем приведены к общим условиям, представленным в табл. 8. Температурные параметры внутри здания и начало отопительного периода вполне сравнимы с условиями в Украине. Верхние значения рассматриваемого диапазона требуемых удельных тепловых нагрузок зданий соизмеримы с контрольными удельными показателями для III и IV температурных зон Украины. В целом эти показатели у нас примерно в 2...2,5 раза выше. Завышена у нас также и кратность воздухообмена в 1,0/0,4 = 2,5 раза, повышающая теплотери с удаляемым вентиляционным воздухом. Несмотря на указанные различия, норматив [2], с незначительной доработкой, может быть адаптирован для условий Украины, и стать основой технико-экономического сопоставления инженерных систем зданий при выборе проектных решений и энергетическом аудите. Он позволит также составить общее мнение специалистов и потребителей об эффективности различных систем в целом и ее элементов в частности.

Таблица 8. Граничные условия сопоставления инженерных систем здания

Параметр	Значение
Средняя внутренняя температура воздуха в здании	19 °C
Удельное требуемое теплотребление системой горячего водоснабжения $q_{tw}$	12,5 кВт×ч/(м²год)
Кратность воздухообмена	0,4 ч <sup>-1</sup>
Граничная температура отопительного периода	10 °C
Продолжительность отопительного периода	185 дней
Требуемая удельная тепловая нагрузка здания (отопление и вентиляция) $q_h$	40...90 кВт×ч/(м²год)

В расчетах все удельные показатели тепловой энергии  $q$  приведены к условной полезной отапливаемой площади здания  $A_N$ , м², определяемой по формуле:

$$A_N = 0,32 V_e,$$

где  $V_e$  – внутренний объем здания, ограниченный его теплопередающими поверхностями (тепловой оболочкой), м³.

Применение условной отапливаемой площади позволяет осуществлять расчеты энергетической эффективности систем по удельным показателям теплового потока, а также сопоставлять их между собой, независимо от междуэтажной высоты зданий.

В конечном итоге определение первичной энергии  $Q_p$ , кВт×ч/год, потребляемой инженерными системами зданий, сводится к простой формуле:

$$Q_p = e_p(q_h + q_{tw})A_N = e_p(q_h + 12,5)A_N,$$

где  $e_p$  – коэффициент затрат первичной энергии;  $q_h$  – требуемая удельная тепловая нагрузка здания (отопление и вентиляция), кВт×ч/(м²×год);  $q_{tw}$  – удельный требуемый показатель расхода теплоты на горячее водоснабжение, кВт×ч/(м²×год);  $A_N$  – полезная отапливаемая площадь здания, м².

Требуемые показатели теплового потока  $q_h$  и  $q_{tw}$  – нормативные показатели, которые должны быть обеспечены у потребителя. Аналогом  $q_h$  в украинском нормативе [48] является показатель удельного теплового потока для отопления жилых и общественных зданий, определяемый теплототерями здания. Поэтому далее по тексту  $q_h$  – удельные теплототери здания. Удельный требуемый показатель расхода теплоты на горячее водоснабжение  $q_{tw}$ , согласно европейским нормам, принят равным 12,5 кВт×ч/(м²×год) из расчета 23 л/(чел×день) с температурой 50 °С, что в несколько раз больше, чем у нас.

Сопоставление проектных решений здания при различной степени теплозащиты осуществляют по потребляемой первичной энергии  $Q_p$ . При одинаковой теплозащите, но различных вариантах инженерных систем, его достаточно выполнить по коэффициенту затрат первичной энергии  $e_p$ , т.к. удельные теплототери здания  $q_h$  в этом случае остаются постоянными.

В указанном нормативе применено три варианта расчетов – по формулам, по таблицам с усредненными показателями и по графикам. Для определения области применения электрических систем отопления и их технико-экономическом сопоставлении с традиционными системами наглядным является третий вариант, который представлен в последующих пунктах (3.7.1...3.7.6) данного подраздела. Применение полученных результатов для условий Украины осуществлено в п.р. 3.8.

**Европейская методика технико-экономического сравнения инженерного оборудования зданий основана на совместном рассмотрении систем отопления, вентиляции и горячего водоснабжения с учетом их основных конструктивных особенностей.**

**Определяющим критерием оценки инженерных систем здания является потребление первичной энергии.**

**Европейская методика технико-экономического сравнения инженерного оборудования зданий может быть адаптирована для Украины с учетом доли атомной энергетики в энергосистеме страны.**

### 3.7.1. Водяные системы отопления с централизованным теплоснабжением

Энергетические показатели зданий с системами естественной вентиляции, централизованного водяного отопления и горячего водоснабжения (табл. 9), представлены в табл. 10 и 11, а также на рис. 7 и 8. Диаграммы и таблицы по форме, содержанию и очередности размещения соответствуют нормативу [2]. Отличием расчетов является лишь учитываемая доля теплопотерь в теплосети. Она принята равной 10 % от суммарной тепловой нагрузки на отопление и горячее водоснабжение. Для условий Украины эти диаграммы и таблицы являются идеалом, к которому следует стремиться. Тем не менее, возьмем их для дальнейшего сравнения с электроотоплением, дабы избежать нареканий в предвзятости. Реальные энергетические показатели рассмотренных инженерных систем зданий в Украине лишь по потерям в теплосетях можно смело завышать, как минимум, на 10...15 %.

Характеристики рассматриваемой водяной системы отопления представлены в табл. 9. Схемное решение системы отопления не имеет значения. Система может быть вертикальной либо горизонтальной, однотрубной либо двухтрубной, с верхней либо с нижней разводкой магистральных трубопроводов. Но, распределительные горизонтальные трубопроводы, в отличие от вертикальных, должны быть расположены вне пределов отапливаемой оболочки здания – в неотапливаемых подвалах, технических этажах, чердаках... Система горячего водоснабжения принята с циркуляцией. Следует отметить, что для европейских зданий характерны системы с циркуляционным трубопроводом на каждый стояк, в то время как у нас иногда он может объединять несколько стояков. Кроме того, в последние годы, для сокращения энергопотерь при циркуляции горячей воды начали устанавливать на циркуляционных трубопроводах терморегуляторы, что не отражено в норме [2]. Система вентиляции – естественная с организацией удаления воздуха через каналы из верхней зоны помещений.

**Таблица 9.** Характеристики элементов инженерных систем здания

<b>Отопление:</b>	<p><i>передача:</i> радиаторы с терморегуляторами 2К;</p> <p><i>аккумуляция:</i> отсутствует;</p> <p><i>распределение:</i> расчетный перепад температур теплоносителя – 90/70 °С; распределительные горизонтальные трубопроводы вне тепловой оболочки здания; распределительные вертикальные трубопроводы внутри тепловой оболочки здания; регулируемый насос;</p> <p><i>производство:</i> котлы с постоянным температурным режимом</p>
<b>Горячее водоснабжение:</b>	<p><i>аккумуляция:</i> отсутствует;</p> <p><i>распределение:</i> распределительные горизонтальные трубопроводы вне тепловой оболочки здания; с рециркуляцией;</p> <p><i>производство:</i> котлы с постоянным температурным режимом</p>
<b>Вентиляция:</b>	<p><i>передача:</i> отсутствует;</p> <p><i>распределение:</i> естественное;</p> <p><i>производство:</i> отсутствует</p>



Результатом расчетов по схеме на рис. 6 являются коэффициенты затрат первичной энергии  $e_p$ , представленные в табл. 10, которые используют для окончательного определения потребляемой первичной энергии  $Q_p$ . Коэффициенты  $e_p$  получены с учетом коэффициентов преобразования энергии применяемых энергоносителей в первичную энергию. Для энергии природного газа, передаваемой теплоносителю-воде систем отопления и горячего водоснабжения, – 1,1; для электроэнергии, потребляемой насосами, средствами автоматики... этих систем, – 3,0. Здесь не учитывались особенности энергетической системы Украины, рассмотренные в п. 3.4.1.

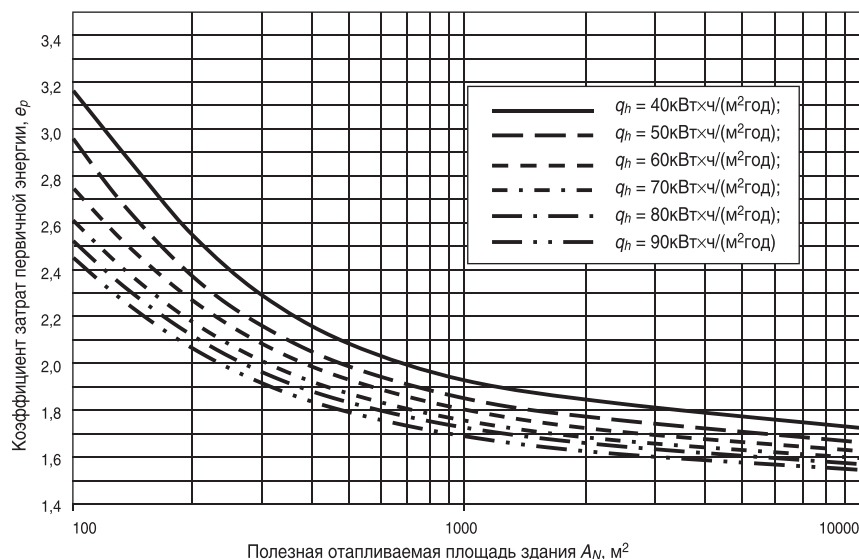


Рис. 7. Зависимость коэффициента затрат первичной энергии от характеристик здания

Таблица 10. Коэффициент затрат первичной энергии  $e_p$

Удельные тепловые потери здания $q_h$ , кВт·ч/(м²·год)	Полезная отапливаемая площадь здания $A_N$ , м²										
	100	150	200	300	500	750	1000	1500	2500	5000	10000
	Коэффициент затрат первичной энергии $e_p$										
40	3,17	2,74	2,52	2,31	2,09	2,00	1,94	1,93	1,81	1,75	1,72
50	2,93	2,56	2,37	2,18	1,99	1,92	1,88	1,85	1,75	1,69	1,67
60	2,75	2,43	2,26	2,10	1,92	1,85	1,82	1,79	1,70	1,65	1,63
70	2,62	2,33	2,18	2,03	1,87	1,81	1,78	1,74	1,66	1,62	1,60
80	2,52	2,25	2,11	1,97	1,83	1,77	1,74	1,71	1,63	1,59	1,58
90	2,44	2,19	2,06	1,93	1,79	1,74	1,71	1,68	1,61	1,57	1,56

Графическому представлению табл. 10 соответствует рис. 7, по которому прослеживаются общие закономерности изменения коэффициента затрат первичной энергии  $e_p$  от удельных тепловых потерь  $q_h$  здания и его полезной отапливаемой площади  $A_N$ . Характерной чертой централизованного теплоснабжения является нелинейность изменения коэффициента затрат первичной энергии от полезной отапливаемой площади. Чем меньше площадь здания, тем менее экономичны и более экологически опасны являются его инженерные системы.

Эффективность использования централизованного теплоснабжения возрастает с увеличением полезной отапливаемой площади здания. Коэффициент затрат первичной энергии  $e_p$  (табл. 10) плавно (рис. 7) уменьшается от  $3,17/1,72 = 1,84$  раза для зданий с наименьшими тепловыми потерями до  $2,44/1,56 = 1,56$  раза для зданий с наибольшими тепловыми потерями в рассматриваемом диапазоне. По мере утепления зданий коэффициент затрат первичной энергии (рис. 7) равномерно увеличивается при равномерном уменьшении удельных тепловых затрат здания (рис. 8). При этом возрастает доля удельных дополнительных затрат энергии в общих энергетических затратах здания.

Результаты табл. 10 получены на основании удельных энергетических затрат зданий, приведенных в табл. 11. Удельные энергетические затраты здания состоят из удельных дополнительных затрат энергии  $q_{HE.E}$  и удельных затрат тепловой энергии  $q_{WE.E}$ . Затраты  $q_{HE.E}$  обусловлены непосредственными затратами электроэнергии на работу оборудования (насосов и котлов) систем отопления и горячего водоснабжения здания. Затраты  $q_{WE.E}$  определяют непосредственный расход тепловой энергии на системы отопления и горячего водоснабжения здания. Графическому представлению табл. 11 соответствует рис. 8, по которому прослеживаются общие закономерности изменения удельных затрат тепловой энергии  $q_{WE.E}$  от удельных тепловых потерь  $q_h$  здания и его полезной отапливаемой площади  $A_N$ . Зачастую сопоставление систем отопления осуществляют по затратам тепловой либо электрической энергии непосредственно у потребителя, равным удельным тепловым потерям здания  $q_h$ . Это ошибочный подход, поскольку для компенсации тепловых потерь здания с централизованным теплоснабжением исходные затраты энергии возрастают, причем нелинейно от его отапливаемой площади, чему свидетельствуют данные табл. 11 и рис. 8.

Из приведенных таблиц и графиков видно, что для обеспечения требуемых нормируемых показателей у потребителя конечные тепловые затраты могут возрасти в несколько раз, соответственно увеличивая затраты первичной энергии. Так, если для здания площадью  $A_N = 100$  м² (табл. 11) с удельными тепловыми потерями  $q_h = 40$  кВт·ч/(м²·год) и удельным требуемым теплоснабжением на горячее водоснабжение  $q_{tw} = 12,5$  кВт·ч/(м²·год) необходимо  $q_h + q_{tw} = 40 + 12,5 = 52,5$  кВт·ч/(м²·год), то в конечном итоге следует затратить первичной энергии –  $128,16 \times 1,1 \times 1,1 = 155,1$  кВт·ч/(м²·год), где 1,1 – потери в теплосети и 1,1 – коэффициент преобразования энергии

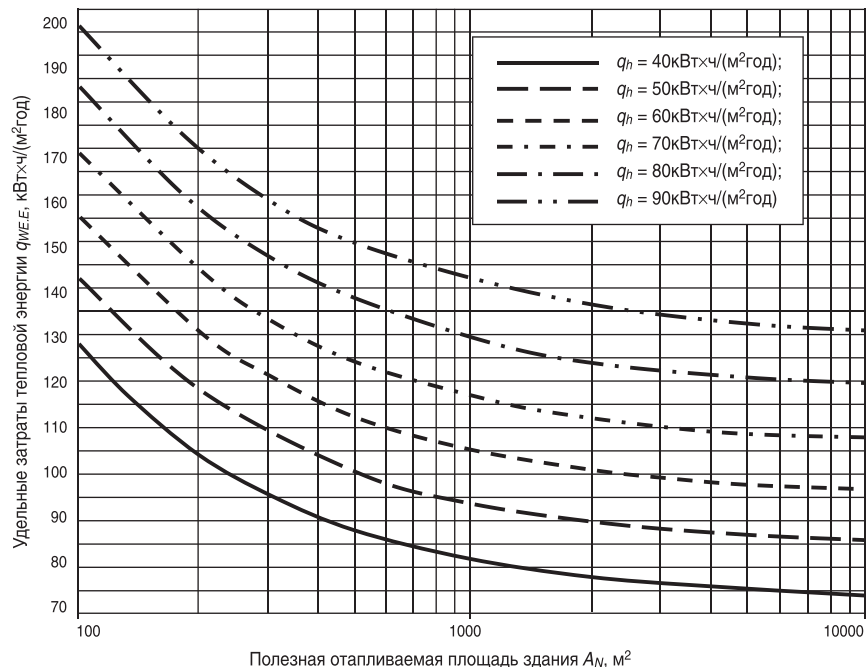


Рис. 8. Зависимость тепловых затрат здания от теплотерь и отапливаемой площади

Таблица 11. Удельные энергетические затраты здания

Удельные теплотери здания $q_h$ , кВт·ч/(м²·год)	Полезная отапливаемая площадь здания $A_n$ , м²										
	100	150	200	300	500	750	1000	1500	2500	5000	10000
	Удельные дополнительные затраты энергии $q_{HE,E}$ , кВт·ч/(м²·год)										
	3,92	2,84	2,31	1,75	1,27	1,02	0,87	0,72	0,59	0,46	0,38
Удельные затраты тепловой энергии $q_{WE,E}$ , кВт·ч/(м²·год)											
40	128,16	111,83	104,20	95,81	87,67	84,31	82,18	79,68	77,07	74,87	73,54
50	141,50	125,13	117,20	108,50	99,86	96,41	94,18	93,64	88,68	86,27	85,39
60	155,32	138,43	130,20	121,20	112,07	108,51	106,18	103,30	100,30	97,67	96,79
70	169,10	151,73	143,20	133,90	124,27	120,61	118,18	115,10	110,90	109,07	108,19
80	182,90	165,03	156,20	146,60	136,47	132,71	130,18	126,90	123,50	120,47	119,59
90	196,70	178,33	169,20	159,30	148,67	144,81	142,18	138,70	135,10	131,87	130,99

сжигаемого газа для нагрева теплоносителя-воды в первичную энергию. К этому следует ещё добавить удельные дополнительные затраты электроэнергии на работу насосов  $q_{HE,E} = 3,92$  кВт·ч/(м² год), которые с учетом

коэффициента преобразования в первичную энергию, равного 3, будут эквивалентны затратам –  $3,92 \times 3 = 11,7$  кВт·ч/(м² год). Суммарные удельные затраты первичной энергии составят  $155,1 + 11,7 = 166,8$  кВт·ч/(м² год). Соотнеся их к требуемым затратам тепловой энергии, определяют коэффициент затрат первичной энергии  $166,9/52,5 = 3,17$  (табл. 10). Это означает, во сколько раз отличаются затраты первичной энергии в виде сжигаемого газа по сравнению с требуемыми затратами тепловой энергии у потребителя. Конечные затраты первичной энергии составят  $Q_p = e_p(q_h + q_{tw})A_n = 3,17(40 + 12,5)100 = 16,64$  МВт·ч/год.

**Коэффициент затрат первичной энергии  $e_p$  в зданиях с водяными системами, получающими энергию от теплотети, изменяется в диапазоне от 1,56 до 3,17. Эти значения показывают во сколько раз затраты энергии выше от требуемых показателей теплопотребления у потребителя.**

**С учетом состояния теплотетей и изношенности котельного оборудования в Украине коэффициент затрат первичной энергии превышает указанные значения, как минимум, на 10...15 %.**

### 3.7.2. Водяные системы отопления с теплообеспечением от крышных котелен

Энергетические показатели зданий с естественной вентиляцией и с крышными, встроенными либо пристроенными котельнями для теплоснабжения систем водяного отопления и горячего водоснабжения (табл. 12) представлены в табл. 13 и 14, а также на рис. 9 и 10.

В примененной методике расчета [2] для здания с крышной, встроенной либо пристроенной котельней учитывается экономия тепловой энергии по

Таблица 12. Характеристики элементов инженерных систем здания

<b>Отопление:</b>	<p><i>передача:</i> радиаторы с терморегуляторами 2К;</p> <p><i>аккумуляция:</i> отсутствует;</p> <p><i>распределение:</i> расчетный перепад температур теплоносителя – 90/70 °С; распределительные горизонтальные трубопроводы вне тепловой оболочки здания; распределительные вертикальные трубопроводы внутри тепловой оболочки здания; регулируемый насос;</p> <p><i>производство:</i> котлы низкотемпературные</p>
<b>Горячее водоснабжение:</b>	<p><i>аккумуляция:</i> косвенно нагреваемый накопитель вне тепловой оболочки здания;</p> <p><i>распределение:</i> распределительные горизонтальные трубопроводы вне тепловой оболочки здания; с рециркуляцией;</p> <p><i>производство:</i> котлы с постоянным температурным режимом</p>
<b>Вентиляция:</b>	<p><i>передача:</i> отсутствует;</p> <p><i>распределение:</i> естественное;</p> <p><i>производство:</i> отсутствует</p>

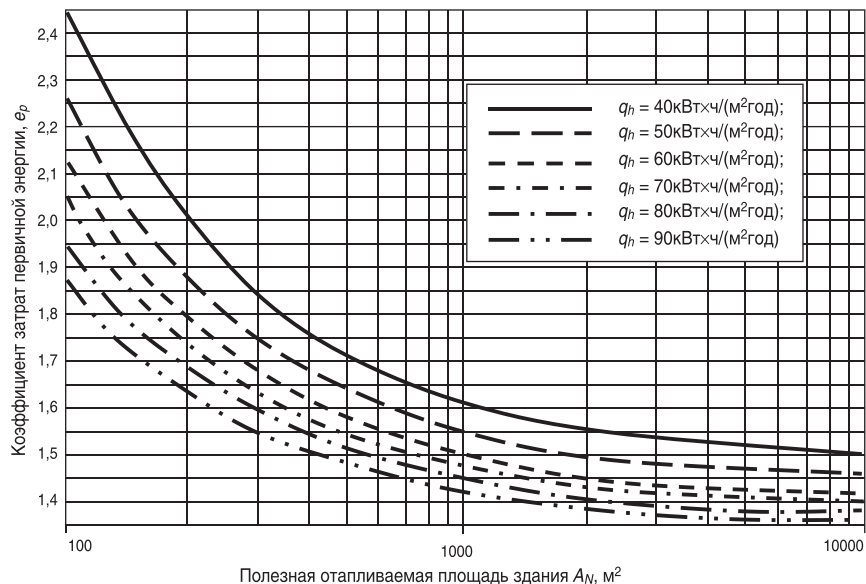


Рис. 9. Зависимость коэффициента затрат первичной энергии от характеристик здания

**Таблица 13.** Коэффициент затрат первичной энергии  $e_p$

Удельные теплотери здания $q_n$ , кВт·ч/(м²·год)	Полезная отапливаемая площадь здания $A_N$ , м²										
	100	150	200	300	500	750	1000	1500	2500	5000	10000
	Коэффициент затрат первичной энергии $e_p$										
40	2,45	2,16	2,01	1,84	1,72	1,66	1,61	1,59	1,55	1,53	1,50
50	2,26	2,01	1,89	1,75	1,64	1,59	1,55	1,53	1,49	1,47	1,46
60	2,12	1,91	1,80	1,68	1,58	1,54	1,50	1,48	1,45	1,44	1,42
70	2,07	1,83	1,73	1,62	1,54	1,50	1,47	1,45	1,41	1,41	1,40
80	1,94	1,77	1,68	1,60	1,51	1,47	1,44	1,42	1,40	1,38	1,38
90	1,87	1,72	1,64	1,55	1,48	1,45	1,42	1,40	1,38	1,37	1,36

сравнению со зданием, подключенным к теплосети (см. п. 3.7.1), за счет лучших энергетических показателей низкотемпературных котлов и отсутствия теплофикационных трубопроводов за пределами здания. В то же время незначительно возрастают дополнительные энергопотери на косвенный подогрев баков-аккумуляторов в системе горячего водоснабжения, располагаемых вне пределов тепловой оболочки здания (в подвале, техническом этаже...). Достижимое уменьшение потребления первичной энергии находится в диапазоне от  $100(1,56 - 1,36)/1,36 = 15\%$  до  $100(3,17 - 2,45)/3,17 = 23\%$ .

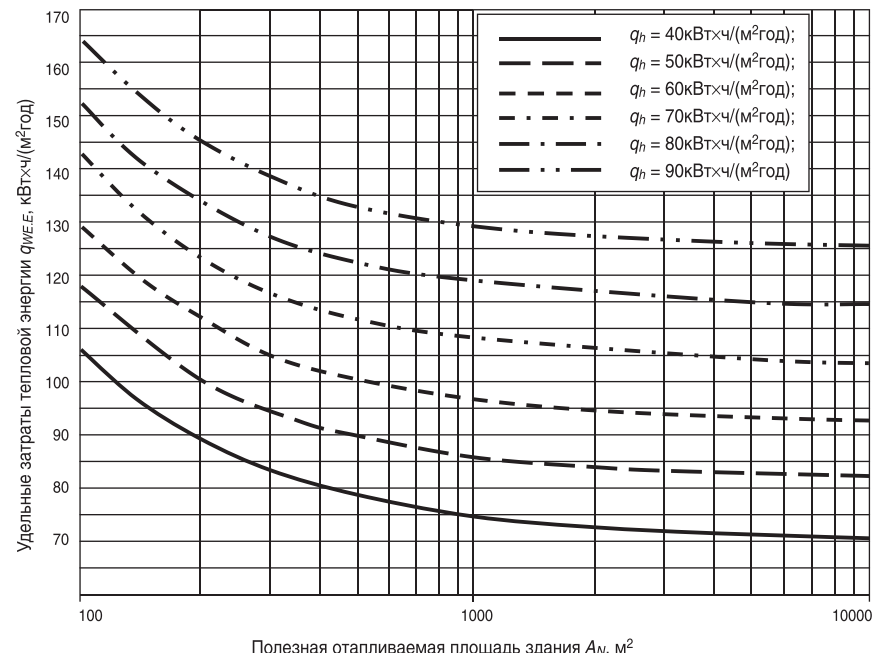


Рис. 10. Зависимость тепловых затрат здания от теплотерь и отапливаемой площади

**Таблица 14.** Удельные энергетические затраты здания

Удельные теплотери здания $q_n$ , кВт·ч/(м²·год)	Полезная отапливаемая площадь здания $A_N$ , м²										
	100	150	200	300	500	750	1000	1500	2500	5000	10000
	Удельные дополнительные затраты энергии $q_{HE,E}$ , кВт·ч/(м²·год)										
	4,03	2,92	2,38	1,80	1,31	1,05	0,90	0,75	0,62	0,50	0,42
Удельные затраты тепловой энергии $q_{WE,E}$ , кВт·ч/(м²·год)											
40	106,32	94,92	89,21	83,10	78,37	76,28	74,54	73,54	72,22	71,46	70,50
50	117,47	106,32	100,74	94,29	89,46	87,39	85,54	84,64	83,13	82,36	81,83
60	128,97	117,72	112,03	105,50	100,58	98,52	96,55	95,64	94,03	93,26	93,20
70	144,15	129,12	123,62	116,70	111,68	109,66	107,55	106,63	104,20	104,10	103,62
80	151,97	140,57	135,13	127,90	122,78	119,79	118,55	117,63	115,85	115,06	114,52
90	163,47	151,92	145,93	139,10	133,82	131,92	129,56	128,63	126,75	125,95	125,41

**Коэффициент затрат первичной энергии  $e_p$  в зданиях с водяными системами, получающими энергию от крышной, встроенной либо пристроенной котельни, находится в диапазоне от 1,36 до 2,45, что лучше, чем у зданий с централизованным теплоснабжением на 15...23 %.**

### 3.7.3. Электрические системы отопления прямого действия

Энергетические показатели зданий с единым энергоносителем-электричеством для систем отопления, горячего водоснабжения и вентиляции (табл. 15) представлены в табл. 16 и 17, а также на рис. 11 и 12.

**Таблица 15.** Характеристики элементов инженерных систем здания

<b>Отопление:</b>	<i>передача:</i>	непосредственное преобразование электроэнергии в тепловую энергию;
	<i>аккумуляция:</i>	отсутствует;
	<i>распределение:</i>	отсутствует;
	<i>производство:</i>	децентрализованное электроотопление
<b>Горячее водоснабжение:</b>	<i>аккумуляция:</i>	электроподогреваемый бак ночного накопления;
	<i>распределение:</i>	отсутствует;
	<i>производство:</i>	квартирный электронагреватель
<b>Вентиляция:</b>	<i>передача:</i>	отсутствует;
	<i>распределение:</i>	забор воздуха из помещений без отдельной регулировки, но с центральным предрегулированием в тепловой оболочке здания; центральное устройство подачи и удаления воздуха; кратность воздухообмена – 0,6 ч <sup>-1</sup> ; центробежный вентилятор;
	<i>производство:</i>	тепловой насос с передачей теплоты в тепловую оболочку здания; регенерация теплоты – 60 %

Сопоставление данных в табл. 11 и 14 с 17 показывает, что удельные затраты тепловой энергии в зданиях с электроотоплением практически не зависят от отапливаемой площади. В тоже время они существенно ниже, чем у зданий с водяными системами. Так, по сравнению со зданиями с централизованным теплоснабжением уменьшение теплопотребления находится в пределах от  $130,99/67,44 = 1,94$  раза до  $128,16/33,23 = 3,86$  раз. По сравнению со зданиями с крышными, а также встроенными и пристроенными котельнями – от  $125,44/67,44 = 1,85$  раза до  $106,32/33,23 = 2,35$  раз. Такая эффективность электроотопления вызвана, прежде всего, отсутствием трубопроводов и, соответственно, энергопотерь в них; более высокими возможностями терморегулирования помещений (см. табл. 1); наличием системы регенерации теплоты удаляемого вентиляционного воздуха. Здесь следует отметить, что дополнительное снижение энергопотерь с удаляемым вентиляционным воздухом (см. п. 3.2.1 и п. 3.2.3) нормативом [2] не учитывается.

Особенностью полученных результатов для систем с регенерацией теплоты удаляемого воздуха является нарушение очередности кривых, характеризующих коэффициент затрат первичной энергии  $e_p$  (сравни рис. 11 с рис. 7 и рис. 9). Это происходит из-за возрастания роли регенерации теплоты при улучшении теплозащитных свойств здания. Однако в целом такая особенность не существенна, т.к. в рассматриваемом диапазоне теплопотерь и отапливаемой площади здания различие в  $e_p$  составляет  $\pm 5\%$  относительного среднего значения  $(2,13 + 1,93)/2 = 2,03$ .

Характерной чертой полной электрификации быта является равномерность изменения удельных тепловых затрат здания (см. кривые на

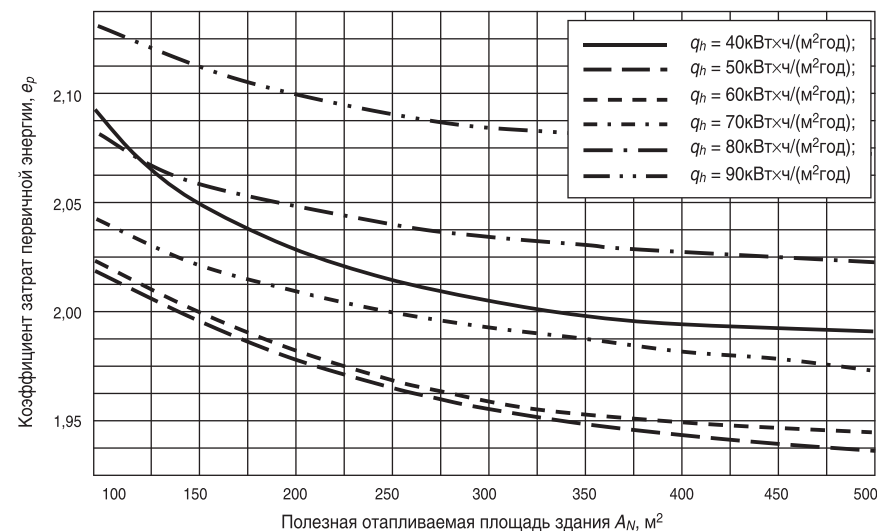


Рис. 11. Зависимость коэффициента затрат первичной энергии от характеристик здания

**Таблица 16.** Коэффициент затрат первичной энергии  $e_p$

Удельные теплопотери здания $q_h$ , кВт·ч/(м <sup>2</sup> ·год)	Полезная отапливаемая площадь здания $A_n$ , м <sup>2</sup>										
	100	150	200	300	500	750	1000	1500	2500	5000	10000
	Коэффициент затрат первичной энергии $e_p$										
40	2,09	2,07	2,05	2,04	2,03	2,02	2,01	1,99	1,99	1,99	1,98
50	2,02	2,01	1,99	1,98	1,97	1,97	1,96	1,95	1,94	1,94	1,93
60	2,02	2,01	1,99	1,98	1,98	1,97	1,96	1,96	1,95	1,95	1,94
70	2,04	2,03	2,02	2,01	2,01	2,00	2,00	1,99	1,98	1,98	1,97
80	2,08	2,06	2,05	2,05	2,05	2,04	2,04	2,03	2,02	2,02	2,02
90	2,13	2,12	2,11	2,10	2,10	2,09	2,09	2,08	2,08	2,08	2,07

рис. 12 с рис. 8 и 10). Причиной тому – децентрализация отопления и горячего водоснабжения, при которой характеристики оборудования остаются постоянными. Постоянными остаются также и удельные дополнительные затраты энергии  $q_{HE.E}$  на это оборудование (см. табл. 17 с табл. 11 и табл. 14).

Особое внимание заслуживают удельные затраты тепловой энергии  $q_{WE.E}$ , представленные в табл. 17. Они, хотя и включают затраты на отопление и горячее водоснабжение, имеют меньшие значения, чем удельные теплопотери здания  $q_h$  (см. каждую строчку таблицы). Такая закономерность происходит вследствие работы вентиляционного регенератора.

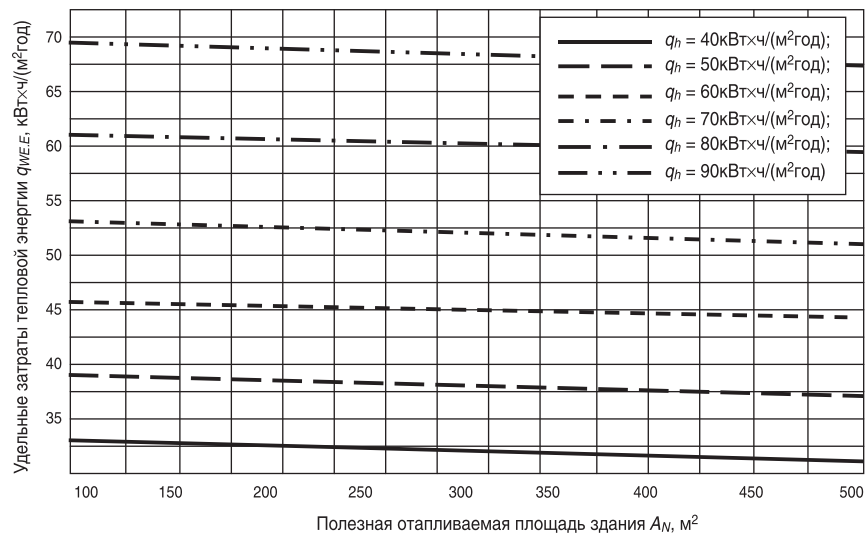


Рис. 12. Зависимость тепловых затрат здания от теплопотерь и отапливаемой площади

**Таблица 17.** Удельные энергозатраты здания

Удельные теплопотери здания $q_n$ , кВт·ч/(м²·год)	Полезная отапливаемая площадь здания $A_n$ , м²										
	100	150	200	300	500	750	1000	1500	2500	5000	10000
	Удельные дополнительные затраты энергии $q_{HE,E}$ , кВт·ч/(м²·год)										
	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33
Удельные затраты тепловой энергии $q_{WE,E}$ , кВт·ч/(м²·год)											
40	33,23	32,92	32,51	32,36	32,20	32,04	31,89	31,46	31,54	31,44	31,31
50	38,84	38,53	38,12	37,97	37,81	37,65	37,50	37,27	37,15	37,03	36,92
60	45,52	45,21	44,80	44,65	44,49	44,32	44,18	43,95	43,93	43,71	43,59
70	52,92	52,62	52,21	52,06	51,90	51,73	51,59	51,36	51,23	51,22	51,00
80	60,81	60,20	60,04	59,94	59,78	59,68	59,47	59,24	59,12	59,00	58,89
90	69,36	69,05	68,64	68,49	68,33	68,17	68,02	67,79	67,67	67,65	67,44

Он отбирает теплоту от удаляемого вентиляционного воздуха и возвращает ее обратно в помещение.

Коэффициент затрат первичной энергии для рассматриваемого сочетания инженерных систем здания находится в диапазоне 1,93...2,13. Столь высокие значения при довольно низких удельных затратах тепловой энергии объясняются тем, что такие виды топлива, как газ или уголь, в первичной энергии учитываются в [2] с коэффициентом 1,1, а электроэнергия – 3,0. Если применить методику [2] для Украины, то с учетом доли атомных

станций данные табл. 16 следует умножить на поправочный коэффициент 0,63 (см. п. 3.4.1). Но, невзирая даже на это, сравнение табл. 10 и 13 с 16 показывает, что энергетические показатели рассматриваемых электросистем при определенном сочетании площадей и нормативных удельных теплопотерь зданий сопоставимы, а для зданий небольшой площади даже лучше, чем у водяных инженерных систем. Особенно относительно систем с централизованным теплоснабжением.

Если коэффициент использования первичной энергии по табл. 16 выше, чем в табл. 10 или 13, это вовсе не свидетельствует о неэкономичности электросистем. Поскольку нормативом [2] не учитываются дополнительные энергоэкономичные факторы, присущие этим системам, и специфика технического состояния теплосетей и энергооборудования в Украине. Кроме того, решающую экономическую целесообразность применения тех или иных систем формируют тарифы на энергоносители. В особенности – тарифы на электроэнергию, дифференцированные по часам суток, которые уменьшают стоимость первичной энергии на соответствующий коэффициент (см. п. 3.4.1).

**Затраты первичной энергии у сочетания инженерных электросистем здания – прямого электроотопления, аккумуляционного горячего водоснабжения и регенеративной вентиляции – меньше до 50 % для небольших и выше до 30 % для больших зданий с водяными системами отопления (параметры теплоносителя 90/70), что в среднем делает их энергетически равными.**

**Для условий Украины с учетом доли и себестоимости электроэнергии, вырабатываемой атомными станциями, коэффициент затрат первичной энергии системами электроотопления по методике [2], следует умножать на 0,63.**

### 3.7.4. Электрические системы отопления аккумуляционного действия

Энергетические показатели зданий с аккумуляционным электроотоплением в сочетании с аккумуляционным горячим водоснабжением и регенеративной вентиляцией (табл. 18) представлены в табл. 19 и 20, а также на рис. 13 и 14.

Сопоставление данных табл. 16 и 19 подтверждает, что коэффициент затрат первичной энергии у систем электроотопления с аккумуляционным принципом действия незначительно выше (примерно на 8 %), чем у систем электроотопления прямого действия. Это вызвано различием эффективности регулирования систем (см. табл. 1).

**Таблица 18.** Характеристики элементов инженерных систем здания

<b>Отопление:</b>	<i>передача:</i>	непосредственное преобразование электроэнергии в тепловую энергию;
	<i>аккумулирование:</i>	в ограждающих конструкциях здания (полу);
	<i>распределение:</i>	отсутствует;
	<i>производство:</i>	децентрализованное электроотопление
<b>Горячее водо-снабжение:</b>	<i>аккумулирование:</i>	электроподогреваемый бак ночного накопления;
	<i>распределение:</i>	отсутствует;
	<i>производство:</i>	квартирный электронагреватель
<b>Вентиляция:</b>	<i>передача:</i>	отсутствует;
	<i>распределение:</i>	забор воздуха из помещений без отдельной регулировки, но с центральным предрегулированием в тепловой оболочке здания; центральное устройство подачи и удаления воздуха; кратность воздухообмена – 0,6 ч <sup>-1</sup> ; центробежный вентилятор;
	<i>производство:</i>	тепловой насос с передачей теплоты в тепловую оболочку здания; регенерация теплоты – 60 %

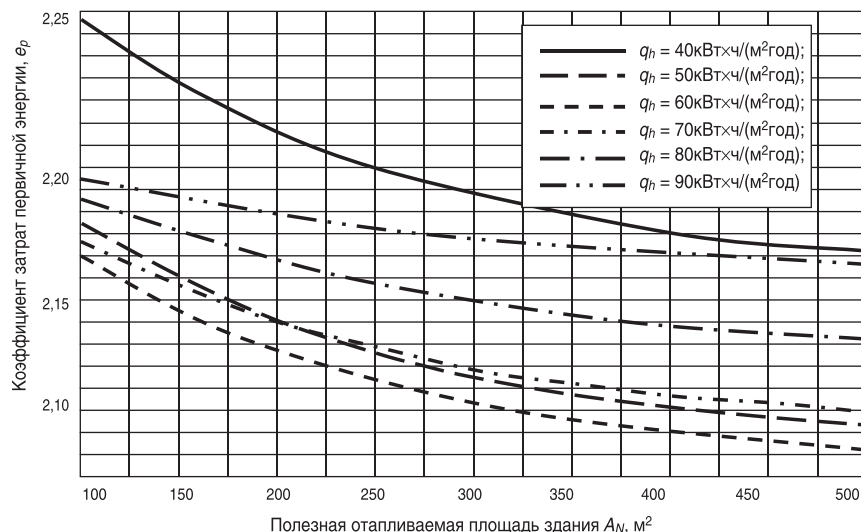


Рис. 13. Зависимость коэффициента затрат первичной энергии от характеристик здания

**Таблица 19.** Коэффициент затрат первичной энергии  $e_p$

Удельные теплопотери здания $q_h$ , кВт·ч/(м <sup>2</sup> ·год)	Полезная отапливаемая площадь здания $A_n$ , м <sup>2</sup>										
	100	120	150	170	200	250	300	350	400	450	500
	Коэффициент затрат первичной энергии $e_p$										
40	2,27	2,25	2,23	2,22	2,21	2,20	2,19	2,17	2,17	2,17	2,16
50	2,18	2,16	2,14	2,13	2,13	2,12	2,11	2,10	2,10	2,09	2,08
60	2,16	2,14	2,12	2,12	2,11	2,10	2,10	2,09	2,09	2,08	2,07
70	2,16	2,15	2,13	2,13	2,12	2,12	2,11	2,10	2,10	2,10	2,09
80	2,18	2,16	2,16	2,16	2,16	2,15	2,14	2,13	2,13	2,12	2,12
90	2,22	2,22	2,20	2,19	2,19	2,16	2,18	2,17	2,17	2,17	2,16

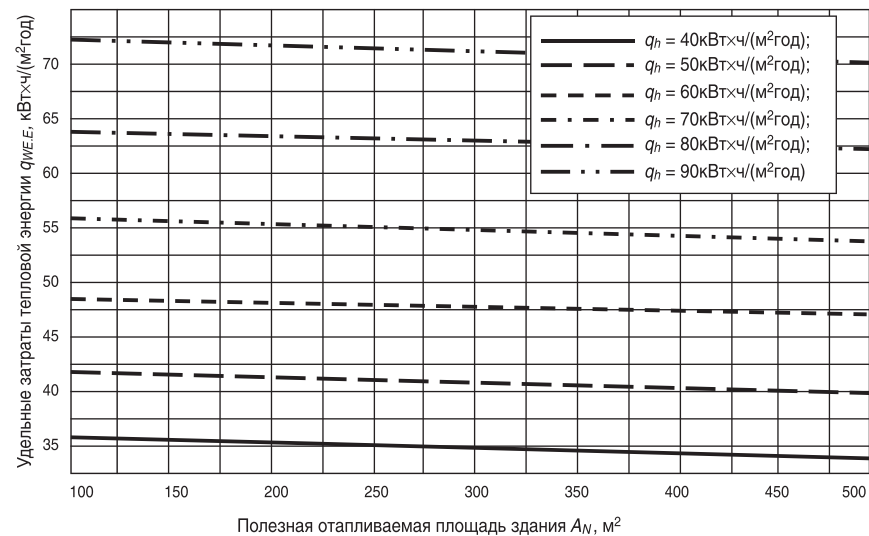


Рис. 14. Зависимость тепловых затрат здания от теплопотери и отапливаемой площади

**Таблица 20.** Удельные энергозатраты здания

Удельные теплопотери здания $q_h$ , кВт·ч/(м <sup>2</sup> ·год)	Полезная отапливаемая площадь здания $A_n$ , м <sup>2</sup>										
	100	120	150	170	200	250	300	350	400	450	500
	Удельные дополнительные затраты энергии $q_{HE,E}$ , кВт·ч/(м <sup>2</sup> ·год)										
	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33
Удельные затраты тепловой энергии $q_{WE,E}$ , кВт·ч/(м <sup>2</sup> ·год)											
40	36,43	36,12	35,71	35,56	35,40	35,24	35,09	34,66	34,74	34,64	34,51
50	42,04	41,73	41,32	41,17	41,01	40,85	40,70	40,47	40,35	40,23	40,12
60	48,72	48,41	48,00	47,85	47,69	47,52	47,38	47,15	47,13	46,91	46,79
70	56,12	55,82	55,41	55,26	55,10	54,93	54,79	54,56	54,43	54,42	54,20
80	64,01	63,40	63,24	63,14	63,08	62,88	62,67	62,44	62,32	62,20	62,09
90	72,56	72,25	71,84	71,69	71,53	70,37	71,22	70,99	70,87	70,85	70,64

Данные табл. 10, 13 и 19 свидетельствуют о том, что системы аккумуляторного принципа действия вполне равноэффективны по затратам первичной энергии с водяными системами отопления. Например, среднее превышение использования первичной энергией по сравнению с водяными системами, потребляющими теплоту от крышной котельни, составляет  $100(2,10 - 1,50)/2,10 = 30\%$ . Это значение вполне равнозначно разнице в принятых при сравнении низших значениях потерь энергии для водяных и высших – для электрических систем отопления, чтобы избежать нареканий в предвзятости. Разница в 30 % является несущественной, так как

вполне перекрывается преимуществами электроотопления и недостатками теплоэнергосистемы Украины, рассмотренными ранее. Тем более, что многоставочные тарифы на электроэнергию, как минимум двухставочные, уменьшают стоимость первичной энергии на 30 %.

**Коэффициент затрат первичной энергии аккумуляционных систем электроотопления лишь на 8 % выше, чем у систем электроотопления прямого действия, и в среднем одинаков с коэффициентом для водяных систем отопления.**

**Для условий Украины коэффициент затрат первичной энергии систем электроотопления, определяемый по методике [2], следует умножить на 0,63 (см. п. 4.3.1).**

### 3.7.5. Комбинированные системы отопления – водяные с централизованным теплоснабжением и электрические кабельные комфортного догрева помещений

Энергетические показатели зданий с комбинированными системами отопления (водяной на компенсацию 75 % теплопотерь и электрической кабельной напольной – на 25 % теплопотерь) (табл. 21) представлены в табл. 22 и 23, а также на рис. 15 и 16.

**Таблица 21.** Характеристики элементов инженерных систем здания

<b>Отопление:</b>	<i>передача:</i>	радиаторами с терморегуляторами на 2К и отдельно регулируемые напольными панелями с нагревательным электрокабелем;
	<i>аккумуляция:</i>	отсутствует;
	<i>распределение:</i>	расчетный перепад температур теплоносителя – 90/70 °С; распределительные горизонтальные трубопроводы вне тепловой оболочки здания; распределительные вертикальные трубопроводы внутри тепловой оболочки здания; регулируемый насос;
	<i>производство:</i>	котлы с постоянным температурным режимом
<b>Горячее водоснабжение:</b>	<i>аккумуляция:</i>	отсутствует;
	<i>распределение:</i>	распределительные горизонтальные трубопроводы вне тепловой оболочки здания; с рециркуляцией;
	<i>производство:</i>	котлы с постоянным температурным режимом
<b>Вентиляция:</b>	<i>передача:</i>	отсутствует;
	<i>распределение:</i>	естественное;
	<i>производство:</i>	отсутствует

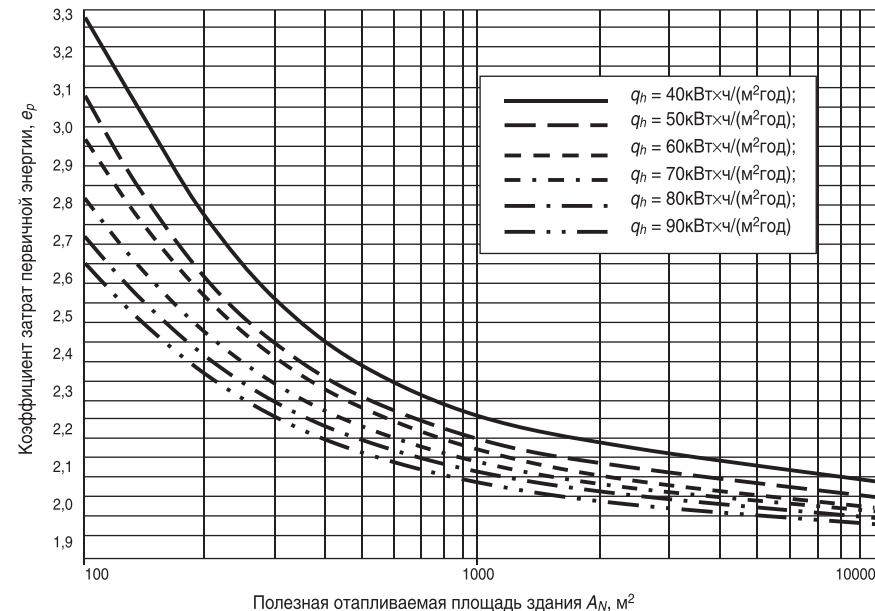


Рис. 15. Зависимость коэффициента затрат первичной энергии от характеристик здания

**Таблица 22.** Коэффициент затрат первичной энергии  $e_p$

Удельные теплопотери здания $q_n$ , кВт·ч/(м <sup>2</sup> ·год)	Полезная отапливаемая площадь здания $A_n$ , м <sup>2</sup>										
	100	150	200	300	500	750	1000	1500	2500	5000	10000
	Коэффициент затрат первичной энергии $e_p$										
40	3,28	2,89	2,72	2,50	2,31	2,23	2,17	2,12	2,06	2,01	1,98
50	3,07	2,74	2,58	2,41	2,24	2,17	2,12	2,07	2,02	1,97	1,95
60	2,97	2,63	2,49	2,34	2,19	2,12	2,08	2,04	1,99	1,95	1,93
70	2,81	2,55	2,42	2,28	2,15	2,09	2,05	2,01	1,97	1,93	1,91
80	2,72	2,48	2,37	2,24	2,11	2,06	2,02	1,99	1,95	1,91	1,90
90	2,65	2,43	2,33	2,21	2,09	2,04	2,01	1,97	1,93	1,90	1,89

Система комфортного электрокабельного нагрева пола компенсирует часть теплопотерь здания. При этом потребление суммарной тепловой энергии ( $q_{I,WE,E} + q_{II,WE,E}$ ) на отопление и горячее водоснабжение (рис. 16) по сравнению с водяными системами (рис. 8) уменьшается от  $73,54/(58,27 + 10,70) = 1,07$  раза до  $196,7/(157,41 + 22,20) = 1,10$  раз. Однако коэффициент затрат первичной энергии увеличивается от  $3,28/3,17 = 1,03$  раза до  $1,89/1,60 = 1,18$  раз. Столь незначительное увеличение вполне компенсируется неучтенными в методике норматива [2]

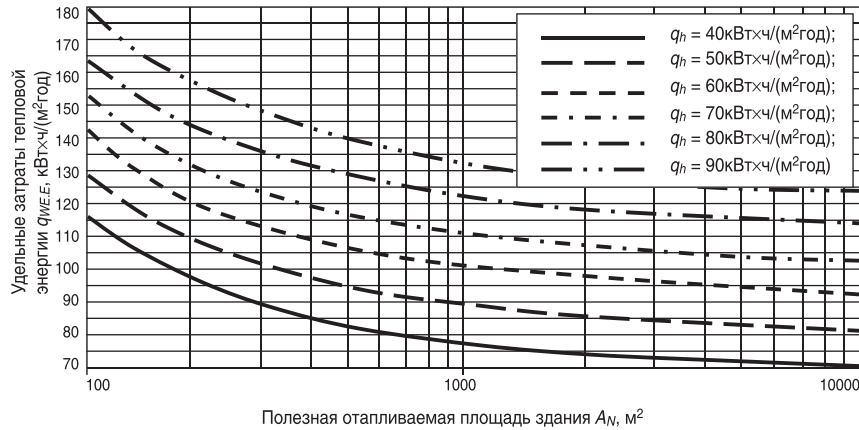


Рис. 16. Зависимость тепловых затрат здания от теплотерь и отапливаемой площади

**Таблица 23.** Удельные энергетические затраты здания

Удельные теплотери здания $q_h$ , кВт·ч/(м²·год)	Полезная отапливаемая площадь здания $A_N$ , м²										
	100	150	200	300	500	750	1000	1500	2500	5000	10000
	Удельные дополнительные затраты энергии $q_{HE,E}$ , кВт·ч/(м²·год)										
	3,92	2,84	2,31	1,75	1,27	1,02	0,87	0,72	0,59	0,46	0,38
	Удельные затраты тепловой энергии на водяное отопление и горячее водоснабжение $q_{WE,E}$ , кВт·ч/(м²·год)										
40	105,98	91,70	85,09	77,65	70,62	67,62	65,76	63,61	61,35	59,46	58,27
50	115,98	101,68	94,84	87,18	79,76	76,69	74,76	72,46	70,05	68,01	67,16
60	126,33	111,65	104,59	96,70	88,92	85,77	83,76	81,31	78,78	76,63	75,71
70	136,68	121,63	114,34	106,23	98,07	94,84	92,76	90,16	86,70	85,11	84,26
80	147,03	131,65	124,09	115,75	107,22	103,92	101,76	99,00	96,15	93,66	92,81
90	157,41	141,58	133,84	125,28	116,37	112,99	110,76	107,86	104,85	102,21	101,36
	Удельные затраты электроэнергии на нагрев пола $q_{H,WE,E}$ , кВт·ч/(м²·год)										
40	10,70	10,70	10,70	10,70	10,70	10,70	10,70	10,70	10,70	10,70	10,70
50	13,20	13,20	13,20	13,20	13,20	13,20	13,20	13,20	13,20	13,20	13,20
60	15,70	15,70	15,70	15,70	15,70	15,70	15,70	15,70	15,70	15,70	15,70
70	18,20	18,20	18,20	18,20	18,20	18,20	18,20	18,20	18,20	18,20	18,20
80	20,70	20,70	20,70	20,70	20,70	20,70	20,70	20,70	20,70	20,70	20,70
90	22,20	22,20	22,20	22,20	22,20	22,20	22,20	22,20	22,20	22,20	22,20

энергосберегающими факторами, присущими напольным системам отопления, что рассмотрено ранее. Кроме того, коэффициент затрат первичной энергии на рис. 15 и, соответственно, в табл. 22 получен с коэффициентом 3 для потребляемой электроэнергии.

**Теплый пол, нагреваемый электрической кабельной системой, в дополнение к централизованной водяной системе отопления с радиаторами существенно не отражается на эффективности использования первичной энергии.**

**Для условий Украины следует учесть в коэффициенте затрат первичной энергии долю атомной энергетики в энергосистеме страны.**

### 3.7.6. Водяные системы отопления с тепловыми насосами и солнечными коллекторами

Энергетические показатели зданий с совмещенным использованием тепловых насосов и солнечных коллекторов для отопления и горячего водоснабжения (табл. 24) представлены в табл. 25 и 26, а также на рис. 17 и 18.

**Таблица 24.** Характеристики элементов инженерных систем здания

<b>Отопление:</b>	<p><i>передача:</i> отдельным регулированием помещений отопительными панелями с терморегуляторами 2К;</p> <p><i>аккумулирование:</i> бак-накопитель снаружи тепловой оболочки здания;</p> <p><i>распределение:</i> расчетный перепад температур теплоносителя – 35/28 °С; распределительные горизонтальные трубопроводы вне тепловой оболочки здания; распределительные вертикальные трубопроводы внутри тепловой оболочки здания; регулируемый насос;</p> <p><i>производство:</i> солнечные коллекторы/тепловой насос вне тепловой оболочки здания</p>
<b>Горячее водоснабжение:</b>	<p><i>аккумулирование:</i> косвенно нагреваемый накопитель вне тепловой оболочки здания;</p> <p><i>распределение:</i> распределительные горизонтальные трубопроводы в пределах тепловой оболочки здания; с рециркуляцией;</p> <p><i>производство:</i> солнечные коллекторы/тепловой насос вне тепловой оболочки здания</p>
<b>Вентиляция:</b>	<p><i>передача:</i> отсутствует;</p> <p><i>распределение:</i> естественное;</p> <p><i>производство:</i> отсутствует</p>



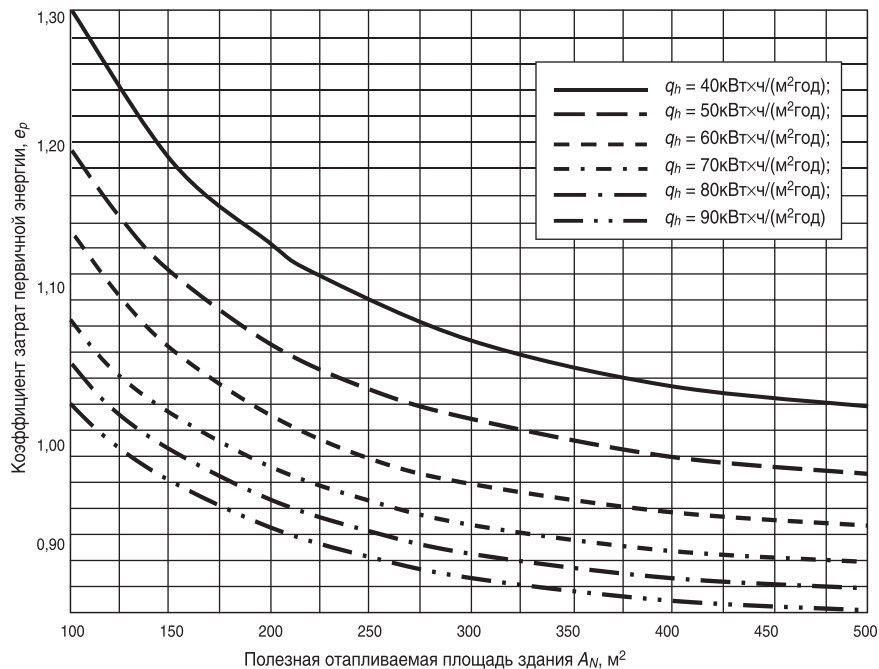


Рис. 17. Зависимость коэффициента затрат первичной энергии от характеристик здания

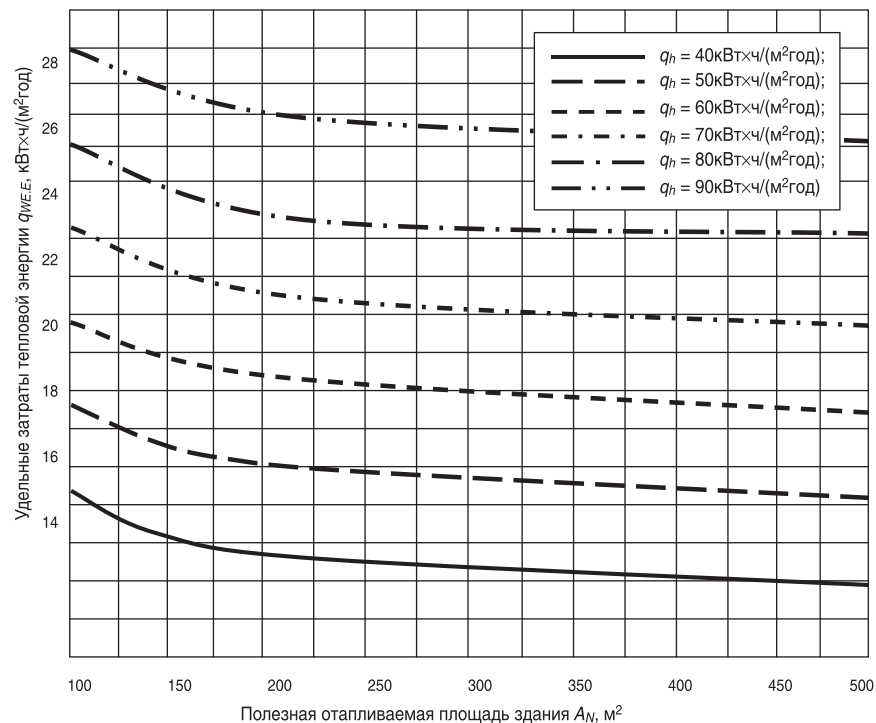


Рис. 18. Зависимость тепловых затрат здания от теплопотерь и отапливаемой площади

**Таблица 25.** Коэффициент использования первичной энергии  $e_p$

Удельные теплопотери здания $q_h$ , кВт·ч/(м <sup>2</sup> ·год)	Полезная отапливаемая площадь здания $A_N$ , м <sup>2</sup>										
	100	120	150	170	200	250	300	350	400	450	500
	Коэффициент затрат первичной энергии $e_p$										
40	1,32	1,26	1,20	1,17	1,13	1,10	1,07	1,05	1,04	1,03	1,02
50	1,22	1,17	1,12	1,09	1,06	1,03	1,01	1,00	0,98	0,97	0,97
60	1,15	1,10	1,06	1,04	1,01	0,98	0,97	0,95	0,94	0,94	0,93
70	1,09	1,05	1,01	0,99	0,97	0,95	0,93	0,92	0,91	0,91	0,90
80	1,05	1,01	0,98	0,96	0,94	0,92	0,91	0,90	0,89	0,88	0,88
90	1,01	0,98	0,95	0,93	0,92	0,90	0,89	0,88	0,87	0,86	0,86

**Таблица 26.** Удельные энергетические затраты здания

Удельные теплопотери здания $q_h$ , кВт·ч/(м <sup>2</sup> ·год)	Полезная отапливаемая площадь здания $A_N$ , м <sup>2</sup>										
	100	120	150	170	200	250	300	350	400	450	500
	Удельные дополнительные затраты энергии $q_{HE,E}$ , кВт·ч/(м <sup>2</sup> ·год)										
	5,86	5,22	4,60	4,32	4,01	3,66	3,43	3,26	3,14	3,04	2,96
Удельные затраты тепловой энергии $q_{WE,E}$ , кВт·ч/(м <sup>2</sup> ·год)											
40	17,30	16,82	16,34	16,11	15,84	15,53	15,32	15,17	15,05	14,96	14,88
50	19,60	19,12	18,64	18,41	18,14	17,83	17,62	17,47	17,35	17,26	17,18
60	21,90	21,42	20,94	20,71	20,44	20,13	19,92	19,77	19,65	19,56	19,48
70	24,20	23,72	23,24	23,01	22,74	22,43	22,22	22,07	21,95	21,86	21,78
80	26,50	26,02	25,54	25,31	25,04	24,73	24,52	24,32	24,25	24,16	24,08
90	28,80	28,32	27,84	27,61	27,34	27,03	26,82	26,67	26,55	26,46	26,38

Характерной особенностью рассматриваемой совокупности систем является не только в несколько раз меньшие затраты удельной тепловой энергии по сравнению с требуемой на отопление (сопоставь  $q_{WE.E}$  с  $q_h$  в табл. 26), но и коэффициенты затрат первичной энергии  $e_p$ , меньшие единицы (см. рис. 17 либо табл. 25). Такой закономерности способствует потребление возобновляемых источников энергии. В тоже время дополнительные затраты энергии  $q_{HE.E}$  на работу оборудования являются одними из наибольших среди рассмотренных ранее систем.

**Коэффициент затрат первичной энергии  $e_p$  в зданиях с солнечными коллекторами и тепловыми насосами для отопления и горячего водоснабжения имеет наилучшие показатели использования первичной энергии. В тоже время, из-за высоких капитальных затрат, эти системы требуют государственных инвестиций [11].**

### 3.8. Примеры энергетического сопоставления инженерных систем зданий

Примеры энергетического сопоставления инженерных систем зданий составлены по методике норматива [2] с учетом особенностей ее применения в Украине:

- при определении коэффициента затрат первичной энергии, в отличие от представленных таблиц и графиков в п. 3.7.1...3.7.6, применен коэффициент учета доли атомной электроэнергетики, равный 0,63 (подробнее см. п. 3.4.1);
- контрольные показатели удельного теплового потока для отопительных систем жилых и общественных зданий, принимаемые по приложению 25 [48], для соблюдения условий сопоставимости зданий с водяными и электрическими системами отопления по теплопотерям уменьшались в два раза соответственно п. 3.9 [48].

Реальные показатели состояния тепловых сетей в Украине (сверхдопустимые теплопотери в магистралях, некачественное регулирование отпуска теплоты, завышенные расходы горячего водопотребления, изношенность оборудования...) не принималось во внимание. В расчетах применены следующие отличительные особенности для условий Украины:

- коэффициент теплопотерь в теплосетях принят равным 1,1;
- удельное требуемое теплопотребление системой горячего водоснабжения принято равным  $q_{hw} = 12,5 \text{ кВт} \times \text{ч}/(\text{м}^2 \text{год})$  из расчета 23 л/(чел.день) с температурой 50 °С; см. п.р. 3.7;

- кратность воздухообмена в помещении равна 0,4 ч<sup>-1</sup>.

В примерах учтены энергетические параметры конструктивных элементов систем и не учтены их социальные, санитарно-гигиенические, экологические, эксплуатационные и др. особенности, рассмотренные в п. р. 3.2...3.6.

Промежуточные значения величин для примеров рассчитаны путем интерполирования (определения внутри области известных значений) таблиц в п. 3.7.1...3.7.6. Промежуточные значения величин за пределами области известных значений определены путем экстраполирования известных значений таблицы. Экстраполируемые значения удельных тепловых затрат и коэффициента затрат первичной энергии для зданий с большей полезной отапливаемой площадью, чем указана в таблицах, остаются примерно постоянными при соответствующих удельных теплопотерях. Поэтому они приняты равными значениям, соответствующим максимальной площади.

По методике норматива [2] с вышеприведенными допущениями составлены примеры сопоставления вариантов проектных решений. Пример 1 охватывает характерную группу зданий в пределах климатического региона. Характерную группу зданий выбирают по контрольным показателям удельного теплового потока для отопительных систем жилых и общественных зданий 25 [48], расположенных в одной из четырех температурных зон Украины [26]. Примеры 2...4 составлены для конкретных зданий. В частности, пример 4 – аналогичен проектируемому первому зданию в г. Киеве с аккумуляционной электрической кабельной системой отопления.

**Пример 1.** Проектируются в I-ой температурной зоне Украины жилые многосекционные дома выше 16-этажей со сложной конфигурацией в плане. Показатель удельного теплового потока [48] для отопительных систем  $q = 0,58 \text{ ГДж}/(\text{м}^2 \text{год}) = 161 \text{ кВт} \times \text{ч}/(\text{м}^2 \text{год})$ .

*Необходимо: сопоставить энергетическую эффективность следующих вариантов проектных решений:*

- А.** Система отопления и горячего водоснабжения подключены к теплосети; система вентиляции – естественная нерегулируемая;
- Б.** Система отопления и горячего водоснабжения подключены к крышной котельне; система вентиляции – естественная нерегулируемая;
- В.** Система прямого электрического отопления и аккумуляционного горячего водоснабжения; система вентиляции с 60 % регенерацией теплоты из удаляемого вентиляционного воздуха;
- Г.** Система электрического аккумуляционного отопления и горячего водоснабжения; система вентиляции с 60 % регенерацией теплоты из удаляемого воздуха;

**Д.** Комбинированная система отопления – водяная с централизованным теплоснабжением (система водяного отопления рассчитана на компенсацию 75 % теплопотерь) и комфортный электрический кабельный подогрев пола помещений (на компенсацию 25 % теплопотерь); централизованное горячее водоснабжение; естественная вентиляция;

**Е.** Система аккумуляционного водяного отопления и горячего водоснабжения с тепловым насосом и солнечными коллекторами; система вентиляции – естественная нерегулируемая.

Решение.

1. Приводим к одинаковым условиям сопоставимости различных систем отопления, предъявляемым к зданиям с электроотоплением. С учетом п. 3.9 [48] уменьшаем в два раза контрольный показатель удельного теплового потока –

$$q_h = q / 2 = 161/2 \approx 80 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^2\cdot\text{год}).$$

2. Определяем удельные дополнительные затраты энергии  $q_{HE.E}$  и удельные затраты тепловой энергии  $q_{WE.E}$  при  $q_h = 80 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^2\cdot\text{год})$  путем выборки значений из соответствующих таблиц п. 3.7.1...3.7.6. Заполняем табл. 27. При этом варианту **А** соответствует п. 3.7.1, **Б** – 3.7.2 и т.д. Затем по данным табл. 27 строим графики (рис. 19) для визуального удобства сопоставления затрат тепловой и дополнительной энергии в рассматриваемых вариантах проектных решений.

В варианте **Д** удельные затраты тепловой энергии  $q_{WE.E}$ , из-за различия источников энергоснабжения, представлены двумя составляющими. Индексу "I" соответствует тепловая энергия в виде нагретой воды, "II" – электроэнергии.

Затраты теплоты  $q_{WE.E}$  и дополнительные затраты  $q_{HE.E}$  в виде электроэнергии, в отличие от нагретой воды, в табл. 27 выделены серым цветом.

Сопоставление вариантов проектных решений по удельным затратам тепловой энергии  $q_{WE.E}$  показывает (см. верхнюю часть рис. 19), что рассматриваемые системы подразделяются на три группы. Системы первой группы подключены к источникам теплоснабжения, которыми являются котлы, сжигающие топливо (газ, мазут), – варианты **А, Б и Д**. Эта группа характеризуется наивысшими затратами тепловой энергии. Особого внимания из этой группы заслуживает вариант **Д** комбинированной системы отопления – водяной и электрической (теплым полом). Этот вариант требует меньших затрат тепловой энергии, чем вариант **А** с централизованным теплоснабжением и вариант **Б** с крышной, встроенной либо пристроенной котельней в зданиях с полезной отапливаемой площадью более примерно  $1000 \text{ м}^2$ .

Вторая группа состоит из вариантов **В и Г**. Это варианты зданий с полностью электрифицированным бытом. Между ними существует незначительное различие в потреблении тепловой энергии – аккумуляционные системы электроотопления потребляют примерно на 8 % больше тепловой

Таблица 27.

Удельные энергетические затраты зданий

Вариант проектного решения	Полезная отапливаемая площадь здания $A_N, \text{ м}^2$										
	100	150	200	300	500	750	1000	1500	2500	5000	10000
	Удельные дополнительные затраты энергии $q_{HE.E}, \text{ кВт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^2\cdot\text{год})$										
<b>А</b>	17,30	16,82	16,34	16,11	15,84	15,53	15,32	15,17	15,05	14,96	14,88
<b>Б</b>	19,60	19,12	18,64	18,41	18,14	17,83	17,62	17,47	17,35	17,26	17,18
<b>В</b>	21,90	21,42	20,94	20,71	20,44	20,13	19,92	19,77	19,65	19,56	19,48
<b>Г</b>	24,20	23,72	23,24	23,01	22,74	22,43	22,22	22,07	21,95	21,86	21,78
<b>Д</b>	26,50	26,02	25,54	25,31	25,04	24,73	24,52	24,32	24,25	24,16	24,08
<b>Е</b>	28,80	28,32	27,84	27,61	27,34	27,03	26,82	26,67	26,55	26,46	26,38
	Удельные затраты тепловой энергии $q_{WE.E}, \text{ кВт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^2\cdot\text{год})$										
<b>А</b>	182,90	165,03	156,20	146,60	136,47	132,71	130,18	126,90	123,50	120,47	119,59
<b>Б</b>	151,97	140,57	135,13	127,90	122,78	119,79	118,55	117,63	115,85	115,06	114,52
<b>В</b>	60,81	60,04	59,78	59,47	58,89	58,89	58,89	58,89	58,89	58,89	58,89
<b>Г</b>	64,01	63,24	63,08	62,67	62,09	62,09	62,09	62,09	62,09	62,09	62,09
<b>Д</b>	147,03	131,65	124,09	115,75	107,22	103,92	101,76	99,00	96,15	93,66	92,81
<b>Д</b> <sub>II</sub>	20,70	20,70	20,70	20,70	20,70	20,70	20,70	20,70	20,70	20,70	20,70
<b>Е</b>	26,50	25,54	25,04	24,52	24,08	24,08	24,08	24,08	24,08	24,08	24,08

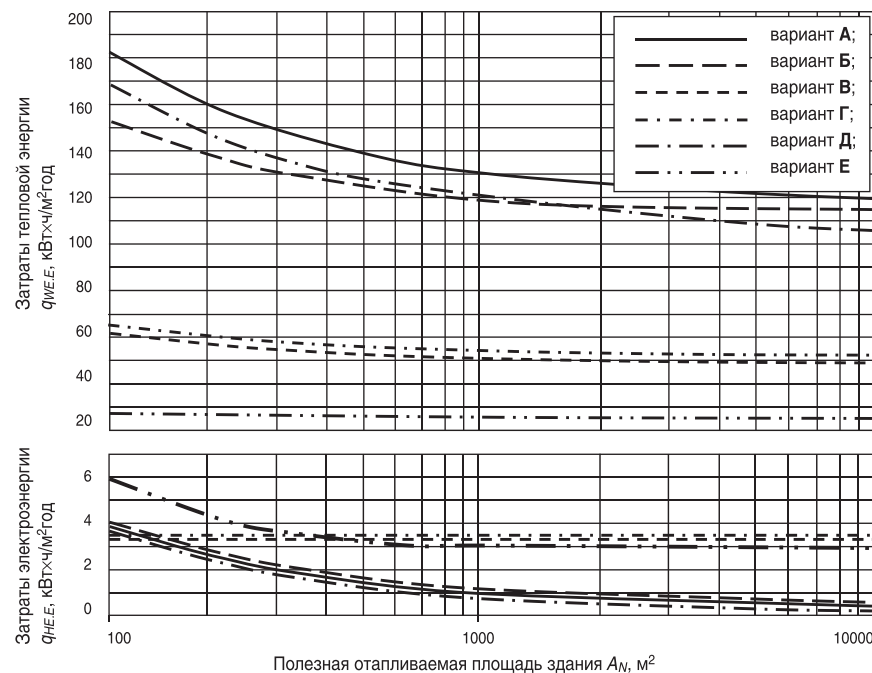


Рис. 19. Сопоставление вариантов проектных решений по удельным энергетическим затратам

энергии, чем системы электроотопления прямого действия. В целом, вторая группа систем потребляет примерно в два раза меньше тепловой энергии, чем системы вариантов первой группы.

Третья группа состоит из единственного представителя – варианта **Е** с тепловым насосом и солнечными коллекторами. Этот вариант имеет наименьшие затраты тепловой энергии, но в несколько раз большие капитальные затраты, чем варианты первой и второй групп [11].

Сопоставление вариантов проектных решений по удельным дополнительным затратам энергии  $q_{HE.E}$  (нижняя часть рис.19) показывает, что наименьшие затраты у первой группы проектных решений. Для второй группы они составляют примерно 6 %, а третьей – 14 % от соответствующих удельных затрат тепловой энергии  $q_{WE.E}$ .

3. Рассчитываем коэффициент затрат первичной энергии по формуле:

$$e_p = [1,1 \times 1,1 q_{WE.E} + 3 \times 0,63(q_{WE.E} + q_{HE.E})] / (q_h + q_{tw}),$$

где 1,1 – коэффициент потерь энергии в теплосети (для крышных; встроенных и пристроенных к отапливаемому зданию котелен принимается равным 1,0); 1,1 – коэффициент соотношения сжигаемого топлива для нагрева воды к первичной энергии [2];  $q_{WE.E}$  – удельные затраты тепловой энергии, полученной сжиганием топлива для нагрева воды (невыведенные серым цветом данные табл. 27); 3 – коэффициент соотношения сжигаемого топлива на ТЭЦ к первичной энергии [2]; 0,63 – поправочный коэффициент учета доли атомной электроэнергии в энергетическом балансе Украины (см. п. 3.4.1);  $q_{WE.E}$  – удельные затраты тепловой энергии, полученной преобразованием электрической энергии (выделенные серым цветом данные табл. 27);  $q_{HE.E}$  – удельные дополнительные затраты энергии на работу насосов, устройств автоматики... (по табл. 27);  $q_h$  – контрольный показатель удельного теплового потока на отопление, 80 кВт×ч/(м²год) (см. п. 1 данного примера);  $q_{tw}$  – удельный показатель теплового потока на горячее водоснабжение, 12,5 кВт×ч/(м²год) [2].

Результаты расчетов заносим в табл. 28. По ней строим график (рис. 20) сопоставимости коэффициентов затрат первичной энергии для рассматриваемых вариантов проектных решений.

Сопоставление вариантов проектных решений по коэффициентам затрат первичной энергии (рис. 20) показывает, что наиболее энергопотребляющими являются системы с основным потреблением теплоты от систем централизованного теплоснабжения – варианты **А** и **Д**. При этом вариант **Д** с нагреваемым кабельной системой теплым полом по затратам первичной энергии незначительно выше от варианта **А** – примерно на 6 %.

Вариант **Б** с крышной, встроенной либо пристроенной котельней становится примерно энергетически равным с системами прямого и аккумуляторного кабельного электроотопления – вариантами **В** и **Г** – в зданиях с полезной отапливаемой площадью свыше 1000 м².

Таблица 28.

Коэффициент затрат первичной энергии  $e_p$

Вариант проектного решения	Полезная отапливаемая площадь здания $A_N$ , м²										
	100	150	200	300	500	750	1000	1500	2500	5000	10000
	Коэффициент затрат первичной энергии $e_p$										
<b>А</b>	2,47	2,22	2,09	1,95	1,81	1,76	1,72	1,67	1,63	1,59	1,57
<b>Б</b>	1,89	1,73	1,66	1,56	1,49	1,45	1,43	1,41	1,39	1,38	1,37
<b>В</b>	1,31	1,29	1,29	1,28	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27
<b>Г</b>	1,38	1,36	1,36	1,35	1,34	1,34	1,34	1,34	1,34	1,34	1,34
<b>Д</b>	2,46	2,23	2,12	2,02	1,88	1,83	1,80	1,76	1,72	1,68	1,67
<b>Е</b>	0,66	0,62	0,59	0,57	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55

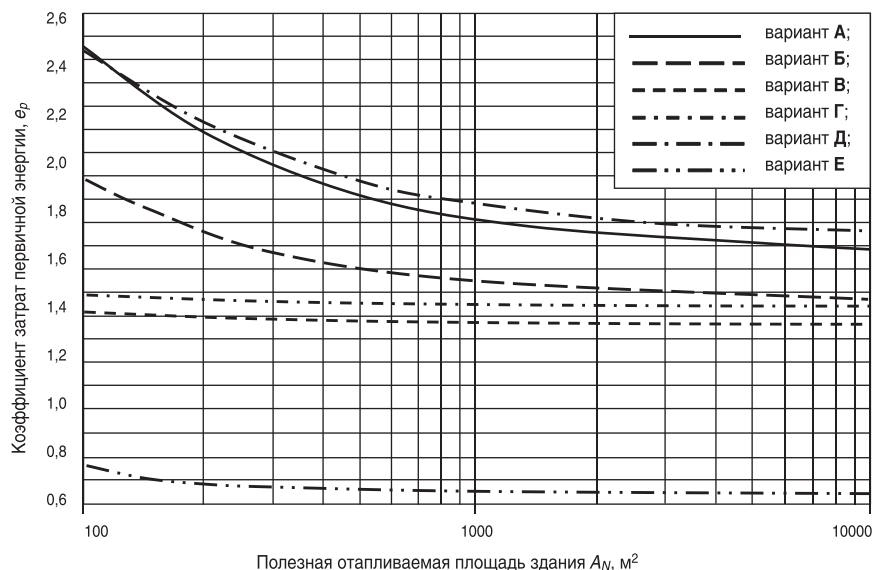


Рис. 20. Сопоставление вариантов проектных решений по коэффициентам затрат первичной энергии

Наименее энергетически потребляемым является вариант **Е** – с тепловым насосом и солнечными коллекторами.

4. Сопоставляем проектные решения по затратам первичной энергии в рассматриваемом диапазоне отапливаемой площади здания

$$Q_p = e_p (q_h + q_{tw}) A_N = e_p (80 + 12,5) A_N$$

и размещаем варианты проектных решений в порядке возрастания энергопотребления:

$$\begin{aligned} E - Q_p &= 0,66 \dots 0,55(80 + 12,5)100 \dots 10000 = 6,10 \dots 508,75 \text{ МВт} \times \text{ч/год}; \\ B - Q_p &= 1,31 \dots 1,27(80 + 12,5)100 \dots 10000 = 12,12 \dots 1174,75 \text{ МВт} \times \text{ч/год}; \\ G - Q_p &= 1,38 \dots 1,34(80 + 12,5)100 \dots 10000 = 12,77 \dots 1239,50 \text{ МВт} \times \text{ч/год}; \\ Б - Q_p &= 1,89 \dots 1,37(80 + 12,5)100 \dots 10000 = 17,48 \dots 1267,25 \text{ МВт} \times \text{ч/год}; \\ Д - Q_p &= 2,46 \dots 1,67(80 + 12,5)100 \dots 10000 = 22,78 \dots 1544,75 \text{ МВт} \times \text{ч/год}; \\ А - Q_p &= 2,47 \dots 1,57(80 + 12,5)100 \dots 10000 = 22,84 \dots 1452,25 \text{ МВт} \times \text{ч/год}. \end{aligned}$$

Из данных расчетов следует, что системы с полной электрификацией быта (вариант **В** с прямым электроотоплением и вариант **Г** с аккумуляционным электроотоплением) потребляют меньше энергии примерно в 1,40...1,05 раза, чем водяные системы с крышной, встроенной либо пристроенной котельней (вариант **Б**) и примерно в 1,84...1,2, чем водяные системы с централизованным теплоснабжением (вариант **А**).

Окончательный выбор системы определяется тарифом на потребляемую энергию и дополнительными факторами, присущими той или иной системе (см. п.р. 3.2...3.6).

**Пример 2.** Проектируется в I-ой температурной зоне Украины 16-этажная торцевая жилая блок-секция с рядовым окончанием. Отапливаемый объем здания  $V_e = 31250 \text{ м}^3$ . Показатель удельного теплового потока [48] для отопительных систем  $q = 0,47 \text{ ГДж}/(\text{м}^2 \text{год}) = 130 \text{ кВт} \times \text{ч}/(\text{м}^2 \text{год})$ .

Необходимо: сопоставить энергетическую эффективность вариантов **А** и **Б** проектных решений –

- А.** Система отопления и горячего водоснабжения подключены к теплосети; система вентиляции – естественная нерегулируемая;
- Б.** Система электрического аккумуляционного отопления и горячего водоснабжения; система вентиляции с 60 % регенерацией теплоты из удаляемого вентиляционного воздуха.

Решение.

1. Рассчитываем условия приведения к методике норматива [2]. Полезная отапливаемая площадь здания –

$$A_N = 0,32 V_e = 0,32 \times 31250 = 10000 \text{ м}^2.$$

Контрольный показатель удельного теплового потока для системы отопления здания с учетом п. 3.9 [48] уменьшаем в два раза –

$$q_h = q / 2 = 130 / 2 = 65 \text{ кВт} \times \text{ч}/(\text{м}^2 \text{год}).$$

2. Определяем показатели потребления энергии сравниваемых вариантов проектных решений. По табл. 11 для варианта **А** и табл. 20 для варианта **Б**:

$$\begin{aligned} \text{А} - \text{удельные затраты тепловой энергии } q_{WE,E} &= 102,49 \text{ кВт} \times \text{ч}/(\text{м}^2 \text{год}); \\ \text{удельные дополнительные затраты энергии } q_{HE,E} &= 0,38 \text{ кВт} \times \text{ч}/(\text{м}^2 \text{год}); \\ \text{Б} - \text{удельные затраты тепловой энергии } q_{WE,E} &= 50,50 \text{ кВт} \times \text{ч}/(\text{м}^2 \text{год}); \\ \text{удельные дополнительные затраты энергии } q_{HE,E} &= 3,3 \text{ кВт} \times \text{ч}/(\text{м}^2 \text{год}). \end{aligned}$$

Для варианта **Б** с полезной отапливаемой площадью свыше рассмотренной в табл. 20 значение  $q_{WE,E}$  принимаем равным значению при максимальной площади  $A_N = 500 \text{ м}^2$  и удельных тепловых потерях  $q_h = 65 \text{ кВт} \times \text{ч}/(\text{м}^2 \text{год})$ . Значение  $q_{HE,E}$  принимаем равным значению при максимальной площади  $A_N = 500 \text{ м}^2$ .

3. Находим коэффициенты использования первичной энергии для сопоставляемых вариантов:

**А** – используется два вида энергии: тепловая  $q_{WE,E}$  от теплосети (коэффициент потерь энергии в теплосети равен 1,1; коэффициент соотношения сжигаемого топлива к первичной энергии равен 1,1) и электрическая  $q_{HE,E}$  от электросети (коэффициент соотношения электроэнергии, полученной путем сжигания топлива на ТЭЦ, к первичной энергии равен 3; поправочный коэффициент учета доли атомной электроэнергетики в энергетическом балансе Украины равен 0,63 (см. п. 3.4.1)). Тогда коэффициент использования первичной энергии равен

$$\begin{aligned} e_p &= (1,1 \times 1,1 q_{WE,E} + 3 \times 0,63 q_{HE,E}) / (q_h + q_{tw}) = \\ &= (1,1 \times 1,1 \times 102,49 + 3 \times 0,63 \times 0,38) / (65 + 12,5) = 1,61. \end{aligned}$$

**Б** – используется один вид энергии – электрическая. Тогда коэффициент использования первичной энергии равен

$$e_p = 3 \times 0,63 (q_{WE,E} + q_{HE,E}) / (q_h + q_{tw}) = 3 \times 0,63 (50,50 + 3,3) / (65 + 12,5) = 1,31.$$

4. Сопоставляем проектные решения по коэффициентам использования первичной энергии:

$$100[e_p(\text{вариант А}) - e_p(\text{вариант Б})] / e_p(\text{вариант А}) = 100(1,61 - 1,31) / 1,61 = 19 \text{ \%}.$$

Это означает, что при использовании аккумуляционного напольного кабельного электроотопления (вариант **Б**) экономится 19 % первичной энергии и на столько же уменьшается выброс вредных веществ в атмосферу. Следовательно, предпочтение необходимо отдавать данному проектному решению.

**Пример 3.** Проектируется в I-ой температурной зоне Украины 24-этажный многосекционный жилой дом. Отапливаемый объем здания  $V_e = 88000 \text{ м}^3$ . Показатель удельного теплового потока [48] для отопительных систем  $q = 0,56 \text{ ГДж}/(\text{м}^2\text{год}) = 156 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^2\text{год})$ .

Необходимо: сопоставить энергетическую эффективность вариантов **А** и **Б** проектных решений –

**А.** Система отопления и горячего водоснабжения подключены к теплосети; система вентиляции – естественная нерегулируемая;

**Б.** Комбинированная система отопления – водяная с централизованным теплоснабжением (система водяного отопления рассчитана на компенсацию 75 % теплопотерь) и комфортный электрический кабельный подогрев пола помещений (на компенсацию 25 % теплопотерь); централизованное горячее водоснабжение; естественная вентиляция.

Решение.

1. Рассчитываем условия приведения к методике норматива [2]. Полезная отапливаемая площадь здания –

$$A_N = 0,32V_e = 0,32 \times 88000 = 28160 \text{ м}^2.$$

Контрольный показатель удельного теплового потока системы отопления здания с учетом п. 3.9 [48] уменьшаем в два раза –

$$q_h = q / 2 = 156 / 2 = 78 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^2\text{год}).$$

2. Определяем показатели потребления энергии сравниваемых вариантов проектных решений по табл. 11 для варианта **А** и табл. 23 для варианта **Б**:

**А** – удельные затраты тепловой энергии  $q_{WE.E} = 110,47 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^2\text{год})$ ;  
удельные дополнительные затраты энергии  
 $q_{HE.E} = 0,38 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^2\text{год})$ ;

**Б** – удельные затраты тепловой энергии  $q_{I,WE.E} = 91,10 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^2\text{год})$ ;  
удельные затраты электроэнергии для пола  
 $q_{II,WE.E} = 20,20 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^2\text{год})$ ;  
удельные дополнительные затраты энергии  
 $q_{HE.E} = 0,38 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^2\text{год})$ .

3. Находим коэффициенты использования первичной энергии для сопоставляемых вариантов:

**А** – используется два вида энергии: тепловая  $q_{WE.E}$  от теплосети (коэффициент потерь энергии в теплосети равен 1,1; коэффициент соотношения сжигаемого топлива к первичной энергии равен 1,1) и электрическая  $q_{HE.E}$  от электросети (коэффициент соотношения электроэнергии, полученной

путем сжигания топлива на ТЭЦ, к первичной энергии равен 3; поправочный коэффициент учета доли атомной электроэнергетики в энергетическом балансе Украины равен 0,63 (см. п. 3.4.1)). Тогда коэффициент использования первичной энергии равен

$$e_p = (1,1 \times 1,1 q_{WE.E} + 3 \times 0,63 q_{HE.E}) / (q_h + q_{tw}) = \\ = (1,1 \times 1,1 \times 110,47 + 3 \times 0,63 \times 0,38) / (78 + 12,5) = 1,48.$$

**Б** – используется также два вида энергии: тепловая  $q_{I,WE.E}$  от теплосети и электрическая  $q_{II,WE.E} + q_{HE.E}$  от электросети. Тогда коэффициент использования первичной энергии равен

$$e_p = [1,1 \times 1,1 q_{I,WE.E} + 3 \times 0,63 (q_{II,WE.E} + q_{HE.E})] / (q_h + q_{tw}) = \\ = [1,1 \times 1,1 \times 91,10 + 3 \times 0,63 (20,20 + 0,38)] / (78 + 12,5) = 1,65.$$

4. Сопоставляем проектные решения по коэффициентам использования первичной энергии:

$$100 [e_p(\text{вариант Б}) - e_p(\text{вариант А})] / e_p(\text{вариант А}) = 100(1,65 - 1,48) / 1,65 = 10 \text{ \%}.$$

Это означает, что варианты **А** и **Б** примерно равнозначны по использованию первичной энергии. Предпочтение в выборе проектного решения следует отдавать комбинированной системе отопления с электронагреваемым теплым полом, создающей лучшие условия теплового комфорта в помещении, чем вариант **А**.

**Пример 4.** Проектируется в I-ой температурной зоне Украины 16-этажная торцевая жилая блок-секция с рядовым окончанием. Отапливаемый объем здания  $V_e = 31250 \text{ м}^3$ . Показатель удельного теплового потока для отопительных систем  $q = 0,47 \text{ ГДж}/(\text{м}^2\text{год})$  [48] =  $130 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^2\text{год})$ .

Необходимо: сопоставить энергетическую эффективность вариантов **А** и **Б** проектных решений –

**А.** Система отопления и горячего водоснабжения подключены к крышной котельне; система вентиляции – естественная нерегулируемая;

**Б.** Система электрического аккумуляционного отопления и горячего водоснабжения; система вентиляции с 60 % регенерацией теплоты из удаляемого вентиляционного воздуха.

Решение.

1. Рассчитываем условия приведения к методике норматива [2]. Полезная отапливаемая площадь здания –

$$A_N = 0,32V_e = 0,32 \times 31250 = 10000 \text{ м}^2.$$

Контрольный показатель удельного теплового потока системы отопления здания с учетом п. 3.9 [48] уменьшаем в два раза –

$$q_h = q / 2 = 130/2 = 65 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^2\text{год}).$$

2. Определяем показатели потребления энергии для сравниваемых вариантов проектных решений путем интерполирования значений в табл. 14 (для варианта **А**) и табл. 20 (для варианта **Б**):

**А** – удельные затраты тепловой энергии  $q_{WE.E} = 98,41 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^2\text{год})$ ;  
удельные дополнительные затраты энергии  
 $q_{HE.E} = 0,42 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^2\text{год})$ ;

**Б** – удельные затраты тепловой энергии  $q_{WE.E} = 50,50 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^2\text{год})$ ;  
удельные дополнительные затраты энергии  
 $q_{HE.E} = 3,3 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^2\text{год})$ .

3. Находим коэффициенты использования первичной энергии для сопоставляемых вариантов:

**А** – используется два вида энергии: тепловая  $q_{WE.E}$  от теплосети (коэффициент потерь энергии в теплосети равен 1,1; коэффициент соотношения сжигаемого топлива к первичной энергии равен 1,1) и электрическая  $q_{HE.E}$  от электросети (коэффициент соотношения электроэнергии, полученной путем сжигания топлива на ТЭЦ, к первичной энергии равен 3; поправочный коэффициент учета доли атомной электроэнергетики в энергетическом балансе Украины равен 0,63 (см. п. 3.4.1)). Тогда коэффициент использования первичной энергии равен

$$e_p = [1,1 \times 1,1 q_{WE.E} + 3 \times 0,63 q_{HE.E}] / (q_h + q_{tw}) = \\ = [1,1 \times 1,1 \times 98,41 + 3 \times 0,63 \times 0,42] / (65 + 12,5) = 1,55.$$

**Б** – используется один вид энергии – электрическая. Тогда коэффициент использования первичной энергии равен

$$e_p = 3 \times 0,63 (q_{WE.E} + q_{HE.E}) / (q_h + q_{tw}) = 3 \times 0,63 (50,50 + 3,3) / (65 + 12,5) = 1,31.$$

4. Сопоставляем проектные решения по коэффициентам использования первичной энергии:

$$100 [e_p(\text{вариант А}) - e_p(\text{вариант Б})] / e_p(\text{вариант А}) = 100(1,55 - 1,31) / 1,55 = 15 \%.$$

Это означает, что при использовании аккумуляционного напольного кабельного электроотопления (вариант **Б**), экономится 15 % первичной энергии и на столько же уменьшается выброс вредных веществ в атмосферу. Следовательно, предпочтение необходимо отдавать данному проектному решению.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Особенность современного понимания систем отопления заключается в осознании их значимости не только внутри здания, но и за его пределами – влиянии на окружающую среду и благосостояние государства. В настоящее время эти системы рассматриваются не только как потребители энергии, в отличие устаревших определений учебников, но и как составной элемент воздействия на эффективность процесса генерирования энергии. Водяные – путем отбора теплоты от генераторов, а электрические – путем устранения неравномерности теплоэлектропотребления от этих генераторов.

Электрические кабельные системы отопления широко используются в мире. Они, кроме содействия решению государственных задач энергетической стратегии, а также выравнивания графиков электро- и теплопотребления, способствуют повышению жизненного уровня населения путем улучшения условий быта. Как, это ни парадоксально, но электрические и водяные системы не антагонистичны. Они дополняют друг друга в решении общей задачи – создании теплового комфорта с минимумом капитальных и эксплуатационных затрат, а также с максимумом извлечения энергии из топлива и минимумом негативного влияния на окружающую среду.

Использование тех или иных систем отопления зависит от энергетической стратегии государства. При наличии ТЭЦ применяют водяные и электрические системы, АЭС и ГЭС – электрические, ветрогенераторов – электрические, геотермальных источников – водяные... Такой подход взаимосвязи энергогенераторов и систем микроклимата реализован во всем мире, в том числе был подготовлен и в СССР для осуществления к 2000 г. Сегодня его следует воплотить в Украине, устраняя образовавшийся дисбаланс между долевым участием систем отопления. Для этого у нас созданы все предпосылки – научные, технические, нормативные; установлены тарифы на электроэнергию, дифференцированные по часам суток.

Украина уже прошла этап недобросовестного запугивания потребителей влиянием электромагнитных полей на здоровье людей. Сопоставление продолжительности жизни населения в странах с электроотоплением и водяным отоплением полностью отбрасывает все эти домыслы. Мировой опыт в изучении данного вопроса более значителен и поучителен, в противоположность его полному отсутствию у нас. Остатки негативных единичных отголосков, еще бросаемых вслед ушедшему времени, свидетельствуют лишь в пользу электроотопления. Тогда как недовольство водяными системами еще предстоит устранять научно, технически и нормативно.

Проходит Украина и следующий этап отрицательного воздействия на потребителей – дороговизной электроотопления. Осуществляемый при этом дискретный, а не комплексный, подход приводит к одностороннему сопоставлению водяных систем отопления с электрическими. Мировой же опыт основан на рассмотрении конструктивных особенностей систем во взаимосвязи с энергопотреблением здания и воздействием на окружающую среду. Такой подход показывает, что электрические кабельные системы

отопления, по крайней мере, сопоставимы с водяными, а во многих случаях даже имеют преимущества. При этом учитывают следующее:

- капитальные затраты на водяные системы отопления, потребляющие теплоту от процесса сжигания топлива, и на электрические кабельные системы отопления сравнимы между собой. Капитальные затраты окупаются за несколько лет и значительно ниже эксплуатационных расходов. Поэтому они не являются определяющими при сопоставлении систем отопления;
- эксплуатационные затраты, в первую очередь, определяются стоимостью энергоносителей. Применение тарифов на электроэнергию, дифференцированных по времени суток, делает экономически более выгодным применение электрических кабельных систем отопления;
- потребление первичной энергии зданиями с электрическими кабельными аккумуляционными системами отопления и электрическими аккумуляционными системами горячего водоснабжения ниже не менее чем 15 % в сопоставлении со зданиями с водяными системами, потребляющими теплоту от процесса сжигания топлива. Энергетический эффект основан на отсутствии трубопроводов и, соответственно, теплотоперь в них; применении более высокого уровня регулирования системы и передачи энергии;
- электрические кабельные системы комфортного подогрева полов в дополнение к централизованным водяным системам отопления с радиаторами не изменяют потребление первичной энергии здания, замещая часть менее эффективно используемой тепловой энергии в виде нагретой воды на более эффективно используемую электроэнергию;
- тепловой комфорт в помещениях с нагреваемыми полами достигается при меньшей примерно на 2 °C температуре воздуха, что уменьшает затраты энергии примерно на 8...12 % за счет уменьшения теплопотерь с удаляемым вентиляционным воздухом;
- электрические кабельные системы отопления создают тепловой комфорт, близкий к идеальным условиям, – тепло у ног и прохладно в зоне дыхания человека. При этом повышается производительность труда на 5...10 % за счет устранения дискомфорта, присущего системам с радиаторами, конвекторами, фенкойлами и т.п. Кроме того, создаются идеальные условия оптимального сочетания параметров микроклимата помещения для разновозрастных групп населения – детей и взрослых;
- срок службы электрических кабельных систем отопления примерно в два раза больше, чем у водяных, за счет повышенной надежности;

- затраты на текущий и капитальный ремонт электрических кабельных систем отопления примерно в 1,5 раза меньше, чем для водяных систем. При этом устраняются затраты на сопутствующие системы – газоснабжения и теплоснабжения;
- электрические кабельные системы отопления способствуют в меньшей степени загрязнению окружающей среды вредными веществами, образующимися при сжигании топлива, за счет лучшего коэффициента затрат первичной энергии и потребления доли электроэнергии от атомных станций. Кроме того, создают лучшие санитарно-гигиенические условия в помещениях за счет удаленности от генераторов энергии.

Право выбора тех или иных систем отопления остается за заказчиком, которому в полной мере должна предоставляться информация, как об их основных экономикоэнергетических свойствах, так и дополнительных потребительских факторах. Зачастую достаточным способом предоставления такой информации является сравнительная таблица с требованиями заказчика к системе и ответами соответствия – "да/нет", либо указанием превосходства одной системы над другой. Основные преимущества электрических кабельных систем отопления над традиционными водяными системами отопления с радиаторами по критериям сравнения, сведены в табл. 29.

**Таблица 29.** Особенности электрических кабельных систем отопления

Критерий сопоставления систем	Значимость критерия
1. Капитальные затраты: • прямые	Сметная стоимость системы отопления зависит от конкретного здания и подрядчика. Все варианты конкурентные по этому показателю
• косвенные	отсутствует необходимость в системах теплоснабжения либо системах газоснабжения; высвобождается площадь под вспомогательное оборудование водяных систем – индивидуальных тепловых пунктов, крышных котелен...
2. Эксплуатационные характеристики: • потребляемый вид энергии	Применяется один энергоноситель – электричество, в то время как в водяных системах используется два энергоносителя – теплоноситель и электричество, газ и электричество ...
• учет энергопотребления	при полной электрификации быта возможен учет энергопотребления здания одним счетчиком; одним счетчиком учета энергопотребления можно объединить любую конфигурацию помещений здания, занимаемых арендатором
• тарифы на энергоноситель	применяются двух- и трехставочные пониженные тарифы на электроэнергию
• потребление первичной энергии	меньше в 1,84...1,2 раза, чем при централизованном отоплении, и меньше 1,4...1,05 раза, чем при децентрализованном отоплении крышной, встроенной либо пристроенной котельней



• срок эксплуатации	примерно в 2 раза больше и сопоставим со сроком эксплуатации здания
• надежность	выше примерно на 8 %. Система каждого помещения является независимой
• обслуживание	в 1,5 раза меньше затраты на текущий и капитальный ремонт; при полной электрификации быта устраняются затраты на обслуживание теплосетей, газовых сетей, дымоходов; а также уменьшаются затраты на обслуживание систем вентиляции
• модификация	замена терморегуляторов осуществляется без отключения соседних помещений либо квартир
• аварийность	не приводит к затоплению помещений, а при использовании газа – еще и к их загазованности
• гибкость	изменение системы не влияет на тепловой комфорт в остальных помещениях
3. Санитарно-гигиенические показатели	
• условия теплового комфорта	Близки к идеальному распределению температуры воздуха по высоте помещения – тепло у ног и освежающе прохладно в зоне дыхания; поддерживают заданную температуру воздуха в помещении с меньшими отклонениями; удовлетворяют нормативные требования для разновозрастных групп населения – детей и взрослых; предотвращают вероятность ожогов теплообменной поверхностью либо теплоносителем
• состояние воздушной среды	устраняются одни из основных источников загрязнения помещений канцерогенными веществами – газовые плиты, водогрейные колонки, котлы, камины; уменьшается в помещениях перенос мелкодисперсной пыли и снижается нейтрализация неустойчивых ионов с отрицательным зарядом, положительно воздействуя на здоровье людей
4. Социальные показатели	Повышается производительность труда и снижается заболеваемость
5. Экологические показатели	
• состояние атмосферы	Уменьшается загрязнение атмосферного воздуха в приземном слое у здания; снижается загрязнение озонового слоя атмосферы
• земельные ресурсы	устраняется необходимость в землеотводе под бойлерные, районные котельни, газо-распределительных пункты...
• потребление ресурсов	Уменьшается добыча природного топлива
6. Архитектурно-строительные показатели	Система невидна и не портит интерьер помещения; устраняется зависимость высоты окон помещения от высоты теплообменных приборов

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Elovitz David M.* Обоснованный выбор систем ОВК // АВОК (перепечатано с сокращениями из журнала ASHRAE. - 2002. - № 5. - С. 30-35.
2. DINV 4701-10/2001 Energetische Bewertung heiz-undraumlufttechnischer Anlagen. Heizung, Trinkwassererewarmung, Luftung.
3. Указ Президента України "Про затвердження стратегії інтеграції України до Європейського Союзу" ст. № 870, 11.06.1998 р.
4. ДСТУ 1.7-2001 Правила і методи прийняття та застосування міжнародних і регіональних стандартів.
5. *Lucke A.* Новая директива ЕС по энергетическим показателям зданий // АВОК (перепечатано с еhi). - 2003. - № 6. - С. 62-66.
6. *Юрыгин О.В.* Резкое повышение интереса к электроотоплению в капиталистических странах в середине 70-х годов // Электротехническая промышленность. Сер. Бытовая электротехника. -1977.- Вып. 4.- С. 1-3.
7. Continental solid wall systems // Energy Rept.- 1994.- 21, № 9.- р. 8.
8. АНРАЕ. Fundamentals of heating systems. - Atlanta, 1998.
9. Электротеплоаккумуляционное отопление греющим полом (сб. статей под ред. Д.И. Розинского).- Киев.: ИТТФ НАН Украины, НПП "Элетер", 2001.- 156 с.
10. *Долгова М.С.* Рациональное использование электрической энергии в домашнем хозяйстве // Электротехническая промышленность. Сер. Бытовая электротехника.- 1982.- Вып. 1.- С. 19-23.
11. Швеция, Финляндия: обзор рынка тепловых насосов // АВОК.- 2002, №1.- С. 40-41.
12. *Olesen B.W.* Теория и практика напольного лучистого отопления // АВОК.- 2002.- № 1.- С. 44-50.
13. ДБН В.2.5.24-2003 Электрична кабельная система опалення.- К.: Укранбудінформ, 2004.- 31 с.
14. *Муляр Л.Х.* Электроотопление: энергосбережение и нормативная обеспеченность в жилищно-гражданском строительстве / В кн. Электротеплоаккумуляционное отопление греющим полом.- Киев: ИТТФ НАН Украины, НПП "Элетер", 2001.- С. 11-15.
15. Краткие тезисы докладов к Всесоюзному научно-техническому совещанию "Электрификация быта городского и сельского населения СССР". - Л.6 НТО энергетики и электротехн. пром-сти, 1981.
16. *Сигалов Ю.А., Немчин Е.И., Легейдо С.М.* Экономические показатели применения электроэнергии и горячего водоснабжения жилых зданий (на примере микрорайонов Фрязино и Братска) // Электротехническая промышленность. Сер. Бытовая электротехника.- 1974. - Вып. 3.- С. 6-8.
17. *Городничев А.В., Тульчин И. К.* Выбор энергоносителей и оптимальных параметров электрических сетей городского района при различных уровнях электрификации быта // Электротехническая промышленность. Сер. Бытовая электротехника.- 1977.- Вып. 1.- С. 1-5.
18. *Городничев А.В., Тульчин И. К.* Развитие электрификации быта и перспективные электрические нагрузки квартир // Электротехническая промышленность. Сер. Бытовая электротехника.- 1977.- Вып. 1.- С. 1-4.
19. *Вороновский Г.К.* Усовершенствование практики оперативного управления крупными теплофикационными системами в новых экономических условиях.- Х.: Изд-во "Харьков", 2002.- 240 с.
20. *Наумов А.Л., Реутов Б.Ф., Абрамченко А.П., Пыжов И.Н.* Теплоэнергетический мониторинг – инструмент объективной оценки новых технологий теплоснабжения // АВОК.- 2003.- № 6.- С. 54-59.
21. [www.erriu.ukrtel.net](http://www.erriu.ukrtel.net): Круглий стіл "Екологія. Ресурси. Безпека" за темою: "Забезпечення енергобезпеки України електротеплоаккумуляційним опаленням будівель" 29.10.2002 р.
22. *Розинський Д.Й.* Електротеплоаккумуляційне опалення у будівництві, промисловості та АПК – складова енергобезпеки України // Екологія і ресурси.- 2003.- Вип. 5.- С. 76-90.
23. *Розинський Д.Й., Громадський Ю.С.* Енергоефективні нормативи в державних будівельних нормах проектування електрообладнання житлових та громадських будинків і споруд та електрична кабельна система опалення // Екологія і ресурси.- 2003.- Вип. 5.- С. 90-98.
24. *Долинский А.А., Круковский П.Г., Тимченко Н.П.* Теплофизическое обеспечение энергоэффективной технологии электроотопления в строительстве и жилищно-коммунальном хозяйстве Украины // Екологія і ресурси.- 2003.- Вип. 6.- С. 174-181.
25. *Пирков В.В.* Міжвідомча координація нормування систем мікроклімату будівель // Екологія і ресурси.- 2003.- Вип. 7.- С.125-131.
26. Про введення в дію нових нормативів опору теплопередачі огорожуючих конструкцій для нового будівництва, реконструкції та капітальних ремонтів. Наказ Мінбудархітектури України від 27.12.1993р. № 247.
27. Постанова НКРЕ України № 40 від 11.01.2002 р. Про застосування тарифів на електричну енергію, що використовується на потреби опалення та гарячого водопостачання.
28. *Булкин С.* Объемно планировочные решения и ограждающие конструкции / Универсальный справочник застройщика. Теплый дом.- М.: Стройинформ. - 2000. - С. 140-144.
29. Энергосбережение в системах теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха: Справ. пособие/ Л.Д. Богуславский, В.И. Ливчак, В.П. Титов и др.- Под ред. Л.Д. Богуславского и В.И. Ливчака.- М.: Стройиздат, 1990. - 624 с.
30. Зміна №2 (міждержавна) до СНиП 2.04.05-91 "Отопление, вентиляция и кондиционирование" за наказом Держбуду України № 237 від 15.11.1999 р.
31. *Пырко В. В.* Особенности современных систем водяного отопления.- К.: II ДП "Такі справи", 2003.- 176 с.
32. *Табунщиков Ю.А., Бродач М.М.* Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий. - М.: АВОК-ПРЕСС, 2002.- 194 с.

33. *Fanger Ole*. Качество внутреннего воздуха в XXI веке: влияние на комфорт, производительность и здоровье людей // АВОК.– 2003.– № 4.– С. 12-18.
34. ISO 7730:1994(E). Ambiances thermiques moderes – Determination des indices PMV et PPD et specifications de confort thermique.
35. EN 215-1: 1987 Thermostatic radiator valves. Part 1. Requirements and test methods.
36. VDI 2067. Berechnung der Kosten von Warmeversorgungsanlagen.
37. Рекомендации по проектированию, устройству и эксплуатации систем панельно-лучистого отопления и обогрева полов 1-х этажей с помощью греющего электрокабеля.– Красноярск.: Промстройпроект, 1971.– 56 с.
38. *Брандт Г.* Маленькі пожежачі енергії // Монтаж + технологія.– 2000.– № 3.– С. 18-19.
39. ГОСТ 3094-96 Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях.– М.: ГУП ЦПП, 1999.– 14 с.
40. EN 1264-2:1997 Floor heating – Systems and components – Determination of thermal output.
41. ДБН В.2.2-4-96 Будинки і споруди. Будинки і споруди дитячих дошкільних закладів.– К.: Укрархбудінформ, 1998.– 24 с.
42. СНиП 2.08.01-89 Жилые здания.– М.: ЦИТП Госстроя СССР.– 17 с.
43. *Сканави А.И.* Отопление.– М.: Стройиздат, 1988.– 416 с.
44. СНиП 2.04.05-91 Отопление, вентиляция и кондиционирование.– М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1991.– 65 с.
45. *Раб'яш Р.* Системи опалення приміщень в аспекті теплового комфорту та технологічних вимог // Ринок інсталяційний. – 1997.– № 6.– С. 5-8.
46. *Орлов В.А., Квач И.К., Игнатович Г.П., Болотов В.В.* Рекомендации по методике технико-экономических обоснований систем электрического теплоснабжения населенных мест в северных районах РСФСР.– Красноярск: Промстройпроект, 1971.– 44 с.
47. *Березин В.А., Вольфовский Г.С., Долгов И.Ю., Тихова Л.Ф.* Технико-экономическое сравнение систем децентрализованного горячего водоснабжения с электрическим и газовым нагревом // Электротехническая промышленность. Сер. Бытовая электротехника.– 1982.– Вып. 6.– С. 3-5.
48. Изменение № 1 СНиП 2.04.05-91 "Отопления, вентиляция и кондиционирование". Приказ Госстроя Украины № 117 от 27.06.1996.
49. Тепла підлога DEVI. Перевага систем // Монтаж+Технологія. – 2003, № 6. – С. 44-45.
50. *Богословский В.Н., Сканави А.Н.* Отопление.– М.: Стройиздат, 1991.– 735 с.
51. ВСН 58-88(р) Положение об организации и проведении реконструкции, ремонта и технического обслуживания зданий, объектов коммунального назначения. Нормы проектирования / Госкомархитектуры.– М.: Стройиздат, 1990.– 15 с.
52. *Кулаков Н.Г., Бережнов И.А.* Справочник по эксплуатации систем теплоснабжения.– К.: Будівельник, 1977.– 352 с.
53. ДБН Д.1.1-2-99 Вказівки щодо застосування ресурсних елементних кошторисних норм на будівельні роботи.– К.: ЦМДБ НВО "Созидатель", 2000.– 10 с.
54. CEI IEC 60730-1:2003 Automatic electrical controls for household and similar use – Part 1: General requirement.
55. [www.mintop.gov.ua](http://www.mintop.gov.ua): Програма "Енергетическая стратегия Украины на период до 2030 года и дальнейшую перспективу".– 2003.
56. *Борисенко А.* Чи є ефективною когенерація? // Монтаж+Технологія.– 2003.– № 8.– С. 18-20.
57. СНиП 2.04.07-86 Тепловые сети.– М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1987.– 48 с.
58. Тарифы на электроэнергию для населения. Постановление НКРЭ Украины №309 от 10.03.99 г.
59. Закон Украины №1274-XIV от 03.12.99 г. "Про внесення змін до Закону України "Про податок на додану вартість".
60. Постановление НКРЭ Украины № 310 от 10.03.99 г. Тарифы на газ для населения.
61. ТСН ОВК-2000 МО/ТСН 41-302-2000 Отопление, вентиляция и кондиционирование.– М.: МСКМО, 2000.– 34 с.
62. *Роткоп Л.Л.* Обеспечение тепловых режимов при конструировании радиоэлектронной аппаратуры.– М.: Сов. радио, 1976.– 232 с.
63. *Отт Вейн Р., Робертс Джон В.* Повсякденний контакт із токсичними забруднювачами // Світ науки.– 1998.– № 2.– С. 66-71.
64. *Колієнко А.Г.* Забруднення повітря у помешканні // Ринок інсталяційний.– 1999.– № 2.– С. 26-27.
65. *Эльтерман В.М.* Вентиляция химических производств.– М.: Химия, 1980.– 288 с.
66. ОНД-86 Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий.– Л.: Госкомгидромет, 1987.– 93 с.
67. *Колієнко А.Г., Сердюк О.Л., Сотник І.Л.* Екологічний аспект розвитку тепlopостачання з автономними децентралізованими джерелами тепла (даховими котельнями) // Ринок інсталяційний.– 1997.– № 10.– С. 5-8.

ДЛЯ ЗАМЕТОК

---

ДЛЯ ЗАМЕТОК

---

**Пырков Виктор Васильевич**

**ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КАБЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ**

**ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ СОПОСТАВЛЕНИЕ**

Подписан к печати 20.02.2004 г.  
Формат 64x90  
Бумага офсетная.  
Печать офсетная.  
Издатель: ООО "Медиа-Макс", тел./факс: (044) 230-4949.