

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»

С.В. Гужов, В.С. Глазов, С.Ю. Шувалов

**ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ
ОБОСНОВАНИЕ ВНЕДРЕНИЯ
ТИПОВЫХ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ
МЕРОПРИЯТИЙ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ**

Учебное пособие

по курсу

«Энергетические обследования предприятий»
для бакалавров, обучающихся по направлению
13.03.01. «Теплоэнергетика и теплотехника»

Москва
Издательство МЭИ
2018

УДК 621.3
ББК 31.1
Г 936

*Утверждено учебным управлением НИУ «МЭИ»
в качестве учебного издания*

Подготовлено на кафедре ТМПУ НИУ «МЭИ»

Рецензенты: проф. Тепломассообменных процессов и установок, канд. техн. наук, И.В. Яковлев;
директор ООО «Интехэнерго-аудит», канд. техн. наук, А.А. Злобин

Гужов, С.В.

Г 936 Технико-экономическое обоснование внедрения типовых энергосберегающих мероприятий в теплоэнергетике: учеб. пособие / С.В. Гужов, В.С. Глазов, С.Ю. Шувалов. – М.: Издательство МЭИ, 2018. – 84 с.

ISBN-978-5-7046-2047-1

Учебное пособие предназначено для студентов технических университетов, обучающихся по программам подготовки бакалавров по направлению 13.03.01. «Теплоэнергетика и теплотехника».

Представлены типовые энергосберегающие мероприятия, целесообразные к применению при потреблении тепловой энергии. Приведены качественные и количественные характеристики, даны оценки возможного к достижению энергосберегающего эффекта, показаны характерные сроки окупаемости технологий.

Приведены основные положения экономической эффективности энергосберегающих проектов в теплотехнологии. Показаны этапы оценки инвестиционного и энергосервисного проектов. Приведен способ сравнения нескольких вариантов реализации энергосберегающих мероприятий на основе расчета критериев экономической эффективности инвестиций.

Приведена методика актуализации объемов потребления энергетических ресурсов в натуральном выражении относительно момента до реализации исполнителем энергосберегающих мероприятий в сопоставимых условиях с учетом факторов риска и неопределенности.

Учебное пособие также может быть использовано для руководителей и главных инженеров бюджетных организаций, стремящихся внедрить и рассчитать предполагаемый к достижению энергосберегающий эффект.

**УДК 621.3
ББК 31.1**

ISBN-978-5-7046-2047-1

© Национальный исследовательский университет «МЭИ», 2018

Содержание

Введение	4
1. Доступные и экономически целесообразные энергосберегающие мероприятия.....	5
2. Оценка экономической эффективности энергосберегающих проектов на основе энергосервисного договора.....	26
3. Обоснование эффективности энергосберегающих проектов в сопоставимых условиях с учетом факторов риска и неопределенности	38
4. Численное моделирование теплообмена между зданием и внешней средой с разной топологией городской застройки с учетом рельефа наружного ограждения здания.....	47
Приложение.....	79
Список рекомендуемой литературы.....	83

ВВЕДЕНИЕ

Выбор наиболее целесообразного энергосберегающего мероприятия и технико-экономическое обоснование его внедрения – комплексная многофакторная задача, требующая индивидуального подхода и тщательного обоснования каждого решения. Одинаковые энергосберегающие мероприятия, приводящие к снижению объемов потребляемой тепловой энергии, для различных зданий могут иметь различный эффект как в натуральном, так и в финансовом выражении. Наиболее целесообразно внедрять энергосберегающие мероприятия в изношенных зданиях, а также в зданиях с высокими удельными расходами потребляемых энергоносителей.

Развитый рынок технологий для систем электро-, тепло-, водоснабжения предлагает множество решений, заявляемых производителями в качестве энергосберегающих. Для ответственных исполнителей в организации выбор наиболее целесообразной к внедрению технологии – сложная задача. Ее решение в числе прочего требует систематизации имеющейся информации по энергосберегающим технологиям, понимания принципа их действия, умения различать механизмы достижения эффекта и индикаторы энергоэффективности. Техническая и экономическая оценка ежемесячно достигаемого энергосберегающего эффекта также достаточно важная и сложная задача.

Особую сложность представляет расчет энергосберегающего эффекта в сопоставимых условиях, то есть с учетом факторов, влияющих на объемы потребляемых энергоресурсов и одновременно зависящих от неконтролируемых человеком условий. Без подобного расчета становится невозможным выявить какая экономия энергоресурсов была достигнута за счет внедрения энергосберегающего мероприятия, а какая – за счет неконтролируемых человеком случайных аварийных или природных факторов: температура и влажность наружного воздуха, направление ветра, инсоляция здания и пр.

В связи с этим возникает необходимость квалифицированного применения типовых энергосберегающих мероприятий, проведении расчетов экономической эффективности энергосберегающих проектов в теплотехнологии, а также в определении объемов потребления энергетических ресурсов в сопоставимых условиях с учетом факторов риска и неопределенности.

1. ДОСТУПНЫЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИ ЦЕЛЕСООБРАЗНЫЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ МЕРОПРИЯТИЯ

Достижение экономии энергоресурсов может быть реализовано как результат внедрения одного или множества различных энергосберегающих мероприятий (рис. 1.1).

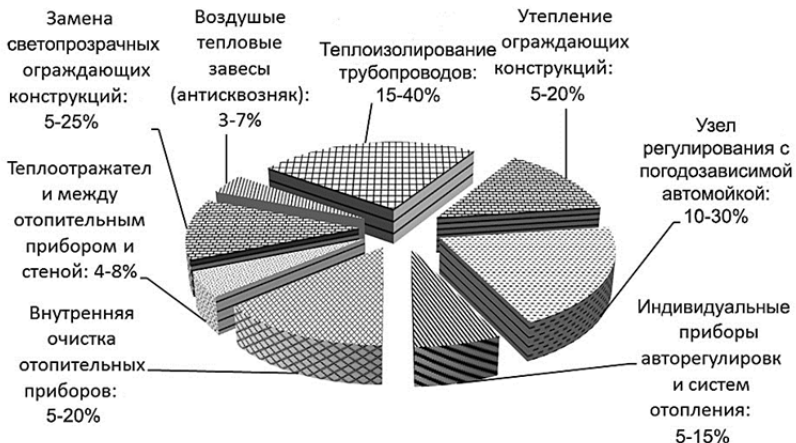


Рис. 1.1. Усредненный энергосберегающий эффект от наиболее часто реализуемых энергосберегающих мероприятий

Предварительным этапом внедрения энергосберегающего мероприятия на любом объекте является обеспечение измерений потребляемых энергоресурсов, на экономию которых направлено само мероприятие, например, установка автоматической системы контроля и учета потребляемой объектом энергии (АСКУЭ). Само по себе это не есть энергосберегающее мероприятие, так как не приводит к повышению энергетической эффективности инженерных систем. АСКУЭ лишь позволяет установить и зафиксировать факт снижения объемов потребления энергоресурсов. Кроме того, контроль потребления энергоносителей позволяет оптимизировать их расход и, зачастую, снизить объем их потребления за счет организационных мероприятий. Следует также отметить, что большой диапазон возможностей по оптимизации

финансовых расходов открывает использование многоставочных тарифов. С 01.01.2011 г. использование проборов учета потребляемых энергоресурсов является обязательным¹.

Анализ тепловых балансов как жилых, так и промышленных зданий показал, что тепловые потери через ограждающие конструкции здания достигают 40%. Такие потери – одни из самых больших для стран с развивающейся экономикой. Вопрос снижения потерь тепловой энергии через ограждающие конструкции здания актуален для большинства зданий в России.

Улучшение теплозащитных свойств теплового контура здания

Низкое термическое сопротивление стен, кровли, оконных и дверных проемов позволяет реализовывать потенциал экономии тепловой отопительной энергии в 30–50%.

Сводом Правил проектирования, эксплуатации и ремонта зданий установлены классы энергетической эффективности зданий (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Классы энергетической эффективности зданий²

Обозначение и наименование класса энергетической эффективности	Интервалы значений qh_{des} , $\frac{кДж}{(м^2 \cdot ^\circ C \cdot \text{сут})}$	Отклонения расчетного (или измеренного нормализованного) значения удельного расхода тепловой энергии на отопление здания qh_{des} от нормативного qh_{reg} , %	Рекомендуемые действия в отношении организации, участвовавшие в проектировании и строительстве здания, а также предприятия-изготовители продукции, способствовавшие достижению эффекта
При проектировании и эксплуатации новых и реконструируемых зданий			
А. Очень высокий	< 35	< –51	Экономическое стимулирование

¹ Федеральный закон от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», ст. 13, п. 3

² ТСН 23-301-2004 Свердловской области «Энергетическая эффективность жилых и общественных зданий. Нормы по энергопотреблению и теплозащите», п. 6, табл. 6.1

Окончание табл. 1.1

Обозначение и наименование класса энергетической эффективности	Интервалы значений $q_{hdес}$, кДж/(м ² ·°С·сут)	Отклонения расчетного (или измеренного нормализованного) значения удельного расхода тепловой энергии на отопление здания $q_{hdес}$ от нормативного $q_{hрег}$, %	Рекомендуемые действия в отношении организации, участвовавшие в проектировании и строительстве здания, а также предприятия-изготовители продукции, способствовавшие достижению эффекта
В. Высокий	36–65	–10– –50	Экономическое стимулирование
С. Нормальный	66–76	+5— –9	–
При эксплуатации новых и реконструируемых зданий			
D. Пониженный	77–90	+6–+25	Устранение дефектов/ штрафные санкции
При эксплуатации существующих зданий			
E. Низкий	91÷126	+26–+75	Желательно реконструкция здания
F. Очень низкий	> 127	> +76	Необходима реконструкция здания в ближайшее время

Индикатором для принятия решения о необходимости улучшить теплозащитный контур здания служит расчетный удельный (на 1 м² отапливаемой площади здания или на 1 м³ отапливаемого объема) расход тепловой энергии на отопление проектируемого здания q_h^{des} , кДж/(м²·°С·сут). Показатель должен быть меньше или равен нормируемому значению q_h^{req} , кДж/(м²·°С·сут). Энергосберегающее мероприятие определяется путем выбора теплозащитных свойств ограждающих конструкций здания и типа, эффективности и метода регулирования используемой системы отопления до прогнозного удовлетворения условия:

$$q_h^{req} \geq q_h^{des}, \quad (1.1)$$

где q_h^{req} – нормируемый удельный расход тепловой энергии на отопление проектируемого здания, кДж/(м²·°С·сут), определяемый для различных типов жилых и общественных зданий: а) при подключении их к системам централизованного теплоснабжения, б) при подключении здания к системам децентрализованного теплоснабжения –

умножением величины, определяемой, на коэффициент e , рассчитываемый по формуле:

$$e = e_{dec} / e_o^{des}. \quad (1.2)$$

Здесь e_{dec} – расчетный коэффициент энергетической эффективности систем отопления и децентрализованного теплоснабжения; e_o^{des} – расчетный коэффициент энергетической эффективности систем отопления и централизованного теплоснабжения; q_h^{des} – расчетный удельный расход тепловой энергии на отопление проектируемого здания, кДж/(м²·°С·сут);

Расчетный коэффициент энергетической эффективности систем отопления и централизованного теплоснабжения здания e_o^{des} определяется по формуле:

$$e_o^{des} = (\eta_1 \varepsilon_1)(\eta_2 \varepsilon_2)(\eta_3 \varepsilon_3)(\eta_4 \varepsilon_4), \quad (1.3)$$

где η_1 – расчетный коэффициент теплопотерь в системах отопления здания; ε_1 – расчетный коэффициент эффективности регулирования в системах отопления зданий; η_2 – расчетный коэффициент теплопотерь распределительных сетей и оборудования тепловых (центральных и индивидуальных) и распределительных пунктов; ε_2 – расчетный коэффициент эффективности регулирования оборудования тепловых (центральных и индивидуальных) и распределительных пунктов; η_3 – расчетный коэффициент теплопотерь магистральных тепловых сетей и оборудования системы теплоснабжения от источника теплоснабжения до теплового или распределительного пункта; ε_3 – расчетный коэффициент эффективности регулирования оборудования системы теплоснабжения от источника теплоснабжения до теплового или распределительного пункта; η_4 – расчетный коэффициент теплопотерь оборудования источника теплоснабжения; ε_4 – расчетный коэффициент эффективности регулирования оборудования источника теплоснабжения.

Расчетный коэффициент энергетической эффективности систем отопления и децентрализованного (поквартирной, индивидуальной и автономной системы) теплоснабжения здания ε_{dec} определяется по формуле:

$$\varepsilon_{dec} = (\eta_1 \varepsilon_1)(\eta_4 \varepsilon_4). \quad (1.4)$$

Значения коэффициентов для определения величины ϵ_{dec} следует принимать с учетом требований работы и по осредненным за отопительный период данным проекта.

При отсутствии данных о системах теплоснабжения принимают:³

$e_o^{des} = 0,5$ – при подключении здания к существующей системе централизованного теплоснабжения;

$e^{des} = 0,85$ – при подключении здания к автономной крышной или модульной котельной на газе;

$e^{des} = 0,35$ – при стационарном электроотоплении;

$e^{des} = 1$ – при подключении к тепловым насосам с электроприводом;

$e^{des} = 0,65$ – при подключении здания к прочим системам теплоснабжения.

Индикаторы результатов проекта: достижение комфортной температуры внутри помещения, снижение потерь тепловой энергии зданием, экономия средств на оплату тепловой энергии.

С утеплением ограждающих конструкций здания обычно устанавливаются дополнительные ветрозащитные пленки, применяющиеся для уменьшения инфильтрационной составляющей тепловых потерь и для предотвращения эмиссии волокон теплоизоляции. Кроме этого, ветровлагозащитная пленка защищает стену и слой утеплителя от осадков (ветрозащитная пленка не обеспечивает такой защиты). Применение ветровлагозащитных пленок оправдано в случаях:

- использования теплоизоляционных материалов, подверженных эмиссии волокон (как правило, это минераловатные плиты с малой длиной волокон или с малым количеством связующего);
- малого сопротивления воздухопроницанию материалов наружной стены (пустотелый кирпич, пенобетон, газосиликат и др.).

Недостатком ветровлагозащитных пленок является горючесть материала (группа Г2) для некапиталоемких образцов.

По сроку окупаемости мероприятие может быть отнесено к среднесрочным (от 3 до 5 лет в зависимости от исходного состояния ограждающих конструкций здания).

³ СНиП 2.04.05-91. Отопление, вентиляция и кондиционирование. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/9056428>

Устройство на уличных входах тамбуров, двойных шлюзов, тепловых отсечек применяется для снижения объемов инфильтрации холодного воздуха через входные двери с большим потоком людей. Тамбур может быть как наружным, так и внутренним. Размещение тамбура (внутри или снаружи) выбирается исходя из наличия свободного пространства у входа в здание. Рекомендуется применять двери и ворота с первым наиболее эффективным классом сопротивления теплопередаче.

Индикатором для принятия решения о внедрении служит прогнозируемая экономия тепловой энергии от устройства тамбура на часто используемом входе, которая должна быть не менее 0,5 Гкал/г.

Мероприятие реализуется совместно:

- с термоизоляцией мостиков холода в конструкциях здания (окупаемость 1–2 мес);
- герметизацией таких сложных элементов здания, как окна, двери, швы, подвалы, выходы вентиляции, иных инженерных коммуникаций и т.д. (снижает потребление тепла на 10–15%, окупаемость 2–4 мес);
- применением автоматических дверных доводчиков, приспособленных к эксплуатации при низких температурах.

Установка новых окон и светопрозрачных дверей блоками с энергоэффективными стеклопакетами приводит к повышению уровня теплозащиты окон и экономии тепловой энергии на подогрев инфильтрующегося через окна холодного воздуха, ввиду снижения воздухопроницания. Дополнительная экономия тепловой энергии может осуществляться благодаря теплоотражающим покрытиям стекол и заполнению межстекольного пространства инертными газами.

Площадь светопрозрачных конструкций различных зданий варьируется в широких пределах. В большинстве случаев она составляет от 15 до 25% площади фасадов. Потери тепловой энергии через неплотности оконных блоков могут достигать 30% суммарных тепловых потерь здания.

По результатам экспериментальных исследований стеклопакетов (лаб. Г.Г. Фаренюка, НИИСК, г. Киев) сопротивление теплопередаче (R -фактор) может колебаться от $0,32 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ для конфигураций стеклопакетов типа 4М1-16-4М1, до $1,93 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ для конфигураций стеклопакетов тип 4И-Хе10-4М1-Хе10-4И (табл. 1.2), где

- М1 – листовое стекло без покрытия (цифра перед обозначением – толщина стекла);
 - К – стекло с твердым низкоэмиссионным покрытием;
 - И – стекло с мягким низкоэмиссионным покрытием;
 - Аг – заполнение камеры аргоном (цифра после обозначения — толщина газовой прослойки);
 - Кг – заполнение камеры криптоном;
 - Хе – заполнение камеры ксеноном;
- в случае заполнения газовой смесью — после обозначения газа указан процент его в смеси).

Таблица 1.2

R-фактор для различных конфигураций стеклопакетов

Количество камер	Варианты остекления	Газовый состав, %				Сопротивление теплопередаче, (R -фактор), $\text{м}^2 \cdot \text{К/Вт}$
		Воздух	Криптон	Аргон	Ксенон	
1	4М1-16-4М1	100	–	–	–	0,32
2	4И-Хе10-4М1-Хе10-4И	–	–	–	100	1,93

Пример расшифровки обозначения стеклопакета: 4И-Хе10-4М1-Хе10-4И – со стороны улицы стекло с мягким низкоэмиссионным покрытием толщиной 4 мм, ксеноновая прослойка толщиной 10 мм, стекло листовое без покрытия толщиной 4 мм, ксеноновая прослойка толщиной 10 мм, стекло с мягким низкоэмиссионным покрытием толщиной 4 мм.

Мероприятие обычно применяется совместно:

- с периодической очисткой окон (позволяет снизить затраты на освещение на 15–30%);

- покраской стен помещений светлой краской (позволяет снизить затраты на освещение на 10%);
- использованием напыления/пленки, отражающей инфракрасные лучи (снижает лучистые потери через окна до 50%, обеспечивает повышение комфортности как в зимний, так и в летний период);
- применением окон с микропроветриванием, которое служит для ограничения инфильтрации в пределах санитарной нормы воздухообмена, повышения комфортности пребывания в помещении, снижения среднего уровня CO₂. Микропроветривание не рекомендуется для зданий, оборудованных механической приточной вентиляцией.

Индикатором для принятия решения о внедрении является низкое значение сопротивления теплопередаче существующих светопрозрачных конструкций (*R*-фактор).

Индикатор результатов проекта: достижение комфортной температуры внутри помещения, снижение потерь тепловой энергии зданием, экономия средств на оплату тепловой энергии.

По сроку окупаемости мероприятие может быть отнесено к долгосрочным (свыше 5 лет, но в зависимости от исходного состояния ограждающих конструкций здания) и по оценкам может достигать 22,5 лет.

Устройство термомпфирующих пространств (атриумов) и световых колодцев с ориентацией их на юг помимо решения множества архитектурных и социально-прикладных задач позволяет создать уловитель солнечной тепловой энергии и накопитель тепловой энергии, производимой внутри здания. Воздух с улицы поступает в южный атриум здания. Предварительно подогретый за счет тепла лучистой энергии солнца и догретый в вентиляционной системе здания, приточный воздух направляется из южной части здания в северную, например, сквозь этажи вдоль лестниц в результате гравитационного напора и/или механического подпора, в т.ч. из солнечного коллектора. Подготовленный воздух с температурой чуть ниже температуры помещений поступает в офисы из вентиляционных отверстий. Одновременное объединение термомпфирующих пространств в северной части здания позволяет снижать интенсивность выхолаживания неосвещенной части здания. В зимнее время года

воздух из северного атриума может также использоваться, например, для вентиляции парковки или подсобных помещений. Возможно использование технологии рекуперации низкопотенциального тепла удаляемого воздуха.

Сплошное наружное остекление технически выгодно для местностей с большим количеством солнечных дней в году.

По сроку окупаемости мероприятие может быть отнесено к долгосрочным (существенно свыше 5 лет в зависимости от исходного состояния ограждающих конструкций здания).

Установка узлов механического регулирования температуры теплоносителя в системах отопления резко снижает затраты на тепло, окупаемость затрат на установку узла учета в течение 2–6 мес, установка узлов регулирования подачи теплоносителя в тепловых пунктах снижает расход тепла на 10–25%. К преимуществам устройства относятся, например, дешевизна, простота и высокая надежность конструкции, независимость от системы электроснабжения. Кроме того, устройство не подвержено скачкам напряжения и броскам тока питающей сети поскольку не содержит логических элементов. К недостаткам можно отнести низкую чувствительность к изменениям наружной температуры воздуха.

Установка автоматизированных узлов учета и регулирования (АУУ) температуры теплоносителя в системе отопления или индивидуальных тепловых пунктов (ИТП) позволяет автоматизировать управление теплопотребляющими системами здания. Традиционный элеваторный узел не имеет средств для регулирования расхода и температуры теплоносителя, что приводит к значительному перерасходу тепловой энергии особенно в демисезонный период.

Кроме возможностей автоматического регулирования, ИТП позволяет разделить по теплоносителю теплопотребляющие системы и тепловую сеть благодаря применению пластинчатых теплообменников.

Недостатком ИТП по сравнению с элеваторным узлом является его зависимость от электропитания.

Реконструкция ЦТП и ИТП проводится с применением энергоэффективного оборудования, систем автоматического регулирова-

ния потребления тепловой энергии, при этом внедряется комплексная обработка воды, переходят с открытой на закрытую циркуляционную систему ГВС.

Экономия тепловой энергии за счет ликвидации «перетоков» составляет 15–20% и иногда достигает до 40%. Вместе с мероприятием обычно также реализуют:

- *введение пониженного температурного графика* в ночное время и выходные дни. В помещениях зданий общественного и производственного назначения, когда они не используются и в нерабочее время, допускается снижение температуры воздуха до уровня 12°C, при условии восстановления нормируемой температуры к началу использования помещения через повышение температуры теплоносителя выше требуемой по графику в течение 2–3 ч до начала использования помещения. Мероприятие позволяет суммарно экономить 10–15% по отношению к прежнему теплоснабжению здания. Внедрение индивидуальных графиков отопления снижает расход до 20% в производственных помещениях, до 40% в административных. Снижение температуры в жилых домах в ночное время позволяет сэкономить 2–3% по отношению к теплоснабжению здания;

- *регулирование расходов и температур* теплоносителя в зависимости от текущего уровня потребностей позволяет экономить значительную (от 15 до 20%) долю тепловой энергии;

- *сочетание* общедомового и постоякового регулирования позволяет достичь экономии в 22–25%;

- *удаление отложений со стенок тепловых приборов* позволяет восстановить теплопередачу отопительных приборов и снизить гидродинамическое сопротивление водного тракта. Образование накипи и отложений внутри приборов отопления толщиной 1 мм снижают теплоотдачу на 15%. Наличие отложение 2–4 мм на теплопередающих поверхностях водогрейного котла приводит к снижению его КПД на 4–7%. Удаление отложений со стенок теплообменников позволяет снизить перерасход топлива на 30% и более;

- *применение индивидуальных приборов* автоматической балансировки распределительных систем отопления. Экономия тепловой энергии за счет локального регулирования температуры достигает 5–15% от общего потребления, $T_{OK} = 3,0$ г.;

- *установка теплоотражателя за отопительным прибором.*

Передача теплоты от радиаторов к воздуху и интерьеру помещений осуществляется двумя путями: конвекцией и инфракрасным излучением. Чугунные секционные радиаторы отдают около 80% тепла излучением и 20% конвекцией; алюминиевые – около 60% тепла излучением и 40% конвекцией; стальные панельные радиаторы с конвективным оребрением и конвекционные радиаторы передают от 20 до 40% тепла излучением и 60–80% конвекцией. Часть инфракрасного излучения радиатора направлена к стене, вследствие чего стена за радиатором нагревается до более высоких температур; повышаются теплотери через стены. Установка теплоотражателя – фольгированного материала с низкой теплопроводностью на поверхность стены за радиатором, позволяет снизить потери тепловой энергии на 2–3%;

- *балансирование отопительной нагрузки* позволяет исправить не отрегулированную отопительную нагрузку, приводящую к повышению температуры в здании или отдельных помещениях. Мероприятие имеет потенциал экономии тепловой отопительной энергии от 10 до 50%;

- *восстановление тепловой изоляции на трубопроводах*, запорной и регулирующей арматуре позволяет снизить потери тепловой энергии в здании до 7–9%. Восстановление термоизоляции труб тепловых сетей здания в неотапливаемых подвалах, чердаках и подсобных помещениях имеют потенциал экономии тепловой отопительной энергии до 3%. Срок окупаемости оценивается около 1,3 г.

Индикатор результатов проекта: снижение объемов потребляемой тепловой энергии, снижение затрат на отопление здания.

По сроку окупаемости мероприятие может быть отнесено к долгосрочным (свыше 5, и даже свыше 8 лет), хотя имеются примеры коротких сроков: 4,0 г.

Применение тепловых насосов для утилизации низкопотенциального тепла вытяжного воздуха может выполняться в сборных шахтах вытяжной вентиляции с механическим побуждением. Преимущество данного способа утилизации тепла состоит в возможности использования отобранной тепловой энергии не только для

подогрева приточного воздуха, но и для других целей (например, для системы горячего водоснабжения, низкопотенциальной тепловой энергии грунта, канализационных вод и др.).

Недостатки технологии:

- постоянное потребление электроэнергии насосом;
- более высокая цена по сравнению с рекуператорами и регенераторами;
- потребность в квалифицированном обслуживающем персонале.

Экономия тепловой энергии при использовании тепловых насосов может составлять до 30–50%. Затраты электрической энергии на подогрев воды или воздуха в тепловом насосе в несколько раз (обычно в 3–4) ниже чем затраты на непосредственный электроподогрев.

В пределах 80–95% электрической энергии, потребляемой компрессором, преобразуется в тепловую энергию. Качественно спроектированная система утилизации тепла способна использовать 50–90% этого тепла на нагрев воды для нужд горячего водоснабжения или воздуха на нужды вентиляции.

Использование для утилизации теплоты вентиляционных выбросов различных схем с теплообменными аппаратами позволяет снизить энергопотребление систем вентиляции на 40–70% по сравнению с прямоточными системами (без утилизации теплоты вытяжного воздуха).

Применение тепловых насосов, смонтированных в земле, позволяет эксплуатировать поток радиогенного тепла, поступающего из земных недр мощностью 0,05–0,12 Вт/м². Квалифицированно подобранный, настроенный и эксплуатируемый тепловой насос снижает теплопотребление здания на 15–25%. В 2014 г. на спортивной базе в г. Чехове Московской обл. была установлена АУУ совместно с тепловым насосом. В результате потребление тепловой энергии снизилось на 25–30%.

Индикатор результатов проекта: снижение объемов потребляемой тепловой энергии, снижение затрат на отопление здания.

По сроку окупаемости мероприятие может быть отнесено к долгосрочным (свыше 5, и даже свыше 8 лет).

Реализация мероприятия на основе энергосервисного договора технологически возможно, но экономически нецелесообразно из-за достаточно большого срока окупаемости.

Приведенный перечень энергосберегающих мероприятий не является исчерпывающим для систем теплоснабжения зданий и организаций. Однако именно перечисленные мероприятия реализовываются наиболее часто. К мероприятиям, реализация которых технологически целесообразна, можно отнести, например, такие:

- *Восстановление тепловой изоляции магистралей трубопроводов.* Ульяновский филиал ОАО «Волжская ТГК», входящая в КЭС-Холдинг, совместно с энергосервисной компанией «ЕЭС. Гарант» восстановив более 20 км изоляции на тепловых сетях г. Ульяновска, сократили потери тепловой энергии на 42 739 Гкал/г. Это позволило сэкономить около 153 млн руб. за весь срок договора. Проект предусматривает установку высококачественной тепловой изоляции на магистральных и квартальных тепловых сетях на трубопроводах диаметром 40 мм и 1000 мм.

- *Применение инфракрасных излучателей,* использующих принцип передачи тепловой энергии излучением непосредственно к нагреваемым поверхностям. При сохранении уровня комфорта мероприятие позволяет снизить на 2–3 °С расчетную температуру воздуха в отапливаемом помещении.

- *Принудительное перемещение теплого воздуха от потолка к полу,* позволяющее снизить значение температурного градиента в вертикальном разрезе помещений. Мероприятие сопровождается некоторым увеличением объемов потребляемой электроэнергии в силу использования маломощных вентиляторов.

- *Использование тепловых завес смесительного типа,* устанавливаемых в тамбурах и разбавляющих холодный поток уличного воздуха теплыми струями, повышая его температуру до требуемой.

- *Использование тепловых завес шиберующего типа,* формирующих струйное противодействие втеканию наружного холодного уличного воздуха в дверной проем. Прогнозируемая экономия тепловой энергии от установки воздушной тепловой завесы на часто используемых входах с одной дверью оценивают в 0,2 Гкал/г. На там-

буре с двумя дверьми, при установке между дверями показатель оценивают в 0,38 Гкал/г.

- *Технологически оправданная замена систем объемного нагрева* на локальные ИК – системы обогрева. Снижает затраты на обогрев помещений в 2–5 раз; окупаемость 9–18 мес.

- *Замена традиционных схем обогрева на подогрев полов* прокладкой пластиковых труб. Снижает издержки на отопление в 1,7 раза; окупаемость 1–2 г.

- *Использование напольного аккумуляционного отопления / охлаждения в комплекте с аккумуляторами холода и климатическими балками* позволяет комплексно осуществить оснащение здания более эффективной системой климатизации. Подход позволяет полностью использовать все имеющееся оборудование, повысить эффективность системы. Показатели эффективности строго индивидуальные, напрямую зависят от назначения, наполнения, состава здания. По сроку окупаемости мероприятие может быть отнесено к долгосрочным (свыше 7 лет).

- *Использование грунтовых вод мелкого залегания 20–70 м для систем прямого холодоснабжения ($t_{вод} = 10–15\text{ }^{\circ}\text{C}$)* позволяет снизить затраты на получение относительно дорогого холода в летний период на 7–15%. По сроку окупаемости мероприятие может быть отнесено к долгосрочным (5–7 лет).

Вывод. При установлении эффективности деятельности энергосервисных компаний, в исследовании ставилась целью не полнота рассмотрения всех видов энергосберегающих мероприятий, а выявление их разнообразия, позволяющее наиболее полно представить необходимые для исследования индикаторы. Индикаторы для принятия решения о запуске проекта могут быть различны и касаться не только технической области, но также экологической и социальной сторон. Анализ показал актуальность следующих индикаторов принятия решения о запуске проекта:

- возможный максимальный технический потенциал экономии энергоресурсов;

- размер капиталовложений и объем эксплуатационных затрат, срок окупаемости вложений;
- процент возможной экономии ресурса относительно общего потребления данного ресурса объектом;
- экологическая безопасность, пожарная, биологическая и др.;
- повышение комфортных условий для пользователей за счет улучшенной инфраструктуры инженерных систем здания.

Выполненный анализ позволяет утверждать следующее:

1) для каждой из рассмотренных основных энергопотребляющих систем здания существует достаточно большое количество энергосберегающих мероприятий, существенно различающихся как по критерию «входные/выходные данные», так и по критерию «точность прогнозируемого значения энергосберегающего эффекта»;

2) в российской и в международной практике в настоящее время не разработан единый унифицированный подход, учитывающий все показатели каждой из существующих технологий;

3) определение точного энергосберегающего эффекта на примере определенного объекта даже для известной, изученной технологии есть сложная задача. Точность и достоверность результата существенно зависят от множества дополнительных факторов и условий, характерных только для исследуемого объекта. Особый вопрос – прогнозирование изменения индивидуальных фактов во времени.

Расчет энергосберегающего эффекта с учетом всех изменений в перспективе на несколько лет называется расчетом в сопоставимых условиях и рассмотрен более подробно в следующей главе.

Задача 1.1

Оценить экономию тепловой энергии при использовании систем газового воздушного лучистого отопления (ГВЛО) на одном из цехов промышленного предприятия за счет перехода на дежурный режим отопления в нерабочее время.

Исходные информация.

- Расчетная наружная температура воздух $t_{нар} = -26 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

- Средняя за отопительный период температура наружного воздуха $t_{нар,ср} = -3,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

- Продолжительность отопительного периода $N = 5136$ ч.
- Режим работы системы отопления – *двухсменный*.
- Расчетная температура воздуха в помещении $t_B = 16$ °С.
- Расчетная температура воздуха в помещении в режиме дежурного отопления $t_B^{деж} = 5$ °С.
- Тепловые потери помещения $Q_{т.п.} = 11$ МВт.
- Внутренние тепловыделения от оборудования $Q_{в.об.} = 0,5$ МВт.

Решение.

Тепловая нагрузка на систему лучистого отопления:

$$Q_{\Sigma} = \zeta \cdot (Q_{т.п.} - Q_{в.об.}) = 1,07 \cdot (11 - 0,5) = 11,24 \text{ МВт},$$

где ζ – поправочный коэффициент, учитывающий потери тепловой энергии в оборудовании (принимается в размере 7%).

Тепловая нагрузка дежурного отопления:

$$Q_{\Sigma}^{деж} = \zeta \cdot Q_{т.п.} \cdot \frac{t_B^{деж} - t_{нар}}{t_B^{деж} - t_{нар}} = 1,07 \cdot 11 \cdot \frac{5 - (-3,2)}{5 - (-26)} = 3,11 \text{ МВт}.$$

Среднегодовой расход тепла на отопление системой ГЛВО:

$$\begin{aligned} Q_{гльво}^{год} &= Q_{\Sigma} \cdot \frac{t_B - t_{нар.ср}}{t_B - t_{нар}} \cdot (N - N_{деж}) + Q_{\Sigma}^{деж} \cdot \frac{t_B^{деж} - t_{нар.ср}}{t_B^{деж} - t_{нар}} \cdot N_{деж} = \\ &= 11,24 \cdot \frac{16 + 3,2}{16 + 26} \cdot (5136 - 1712) + 3,11 \cdot \frac{5 + 3,2}{5 + 26} \cdot 171 = \\ &= 19007,73 \text{ МВт} \cdot \text{ч}. \end{aligned}$$

Среднегодовой расход тепла на отопление при использовании котельной:

$$\begin{aligned} Q_{кот}^{год} &= Q_{макс} \cdot \frac{t_B - t_{нар.ср}}{t_B - t_{нар}} \cdot N = 11 \cdot \frac{16 + 3,2}{16 + 26} \cdot 5136 = \\ &= 25826,74 \text{ МВт} \cdot \text{ч}. \end{aligned}$$

Экономия тепловой энергии при использовании систем газового воздушного лучистого отопления (ГВЛО) на одном из цехов промышленного предприятия за счет перехода на дежурный режим отопления в нерабочее время:

$$\begin{aligned} \Delta Q &= Q_{кот}^{год} - Q_{гльво}^{год} = 19007,73 - 25826,74 = \\ &= 6819,01 \text{ МВт} \cdot \text{ч} \text{ или } 5863,29 \text{ Гкал}. \end{aligned}$$

Задача 1.2

Определить годовую экономию тепла при возврате конденсата с теплоиспользующей установки, оборудованной конденсатоотводчиком. Аппарат использует насыщенный пар давлением $P_1 = 0,15$ МПа в количестве 15 т/ч. Давление в конденсатопроводе за аппаратом $P_2 = 0,1$ МПа. Годовое число часов использования аппарата $\tau = 7500$ ч.

Решение.

По термодинамическим таблицам определяем:

$h_1 = 111,0$ при $P_1 = 0,15$ МПа – энтальпия конденсата.

$r_1 = 532,1$ при $P_1 = 0,15$ МПа – теплота испарения при первоначальном давлении в аппарате.

Определяем долю пролетного пара исходя из условий:

$$X_{\text{п}} = S \cdot \sqrt{(P_1 - P_2) \cdot 10} \text{ при } P_2 \geq 0,577 \cdot P_1;$$

$$X_{\text{п}} = S \cdot \sqrt{P_1 \cdot 10} \text{ при } P_2 > 0,577 \cdot P_1;$$

S – коэффициент, принимаемый равным 0,01–0,02.

Так как $P_2 = 0,67 \cdot P_1$ то:

$$X_{\text{п}} = S \cdot \sqrt{(P_1 - P_2) \cdot 10} = 0,01 \cdot \sqrt{(0,15 - 0,1) \cdot 10} = 0,007 \text{ кг/кг};$$

$$\Delta Q = G_k(h_1 + X_{\text{п}} \cdot r_1) \cdot \tau =$$

$$= 15000 \cdot (111 + 0,007 \cdot 532,1) = 1720870,5 \text{ ккал/год.}$$

Задача 1.3

Оцените количество тепла, которое может быть сэкономлено при утилизации пара вторичного вскипания, поступающего из открытой системы сбора конденсата при условии, что из теплообменника выходит 7200 кг конденсата в год при давлении 0,40 МПа. Конденсат поступает в открытый конденсатосборный бак при давлении 0,1 МПа.

Решение.

По термодинамическим таблицам определяем:

$h'_k = 148,1$ при $P_1 = 0,4$ МПа – энтальпия конденсата;

$h''_k = 99,2$ при $P_1 = 0,1$ МПа – энтальпия конденсата;

$r_2 = 539,6$ при $P_1 = 0,1$ МПа – теплота испарения при первоначальном давлении в аппарате.

Доля пара вторичного вскипания:

$$b_{\text{п}}^{\text{вт.вс}} = \frac{h'_k - h''_k}{r_2} = \frac{148,1 - 99,2}{539,6} = 0,091 \text{ кг/кг.}$$

Годовое количество пара вторичного вскипания:

$$B_{\text{п}}^{\text{вт.вс}} = b_{\text{п}}^{\text{вт.вс}} \cdot G_k = 0,091 \cdot 7200 = 655,2 \text{ кг/год.}$$

Количество тепла, которое может быть сэкономлено при утилизации пара вторичного вскипания:

$$\Delta Q = B_{\text{п}}^{\text{вт.вс}} \cdot r_2 = 655,2 \cdot 539,6 = 353545,92 \text{ ккал/год.}$$

Задача 1.4

Определить количество тепловой энергии в год, которое можно сэкономить на паровом котле при использовании тепла непрерывной продувки (путем установки расширителя продувочной воды). Паропроизводительность котла составляет $D=15$ т/ч. Непрерывная продувка составляет 1% от паропроизводительности котла. Годовое число часов использования котла $\tau = 7950$ ч.

Исходные данные.

$h_{\text{пр}} = 197,3$ ккал/кг – энтальпия продувочной воды, равная энтальпии кипящей воды в барабане котла;

$h_{\text{р}} = 114,8$ ккал/кг – энтальпия кипящей воды при давлении в расширителе;

$h_{\text{р}}^x = 644,4$ ккал/кг – энтальпия влажного насыщенного пара при давлении в расширителе;

$h_{\text{д}} = 104,4$ ккал/кг – энтальпия воды в деаэраторе.

Решение.

Количество продувочной воды:

$$G_{\text{пр}} = D \cdot 0,01 = 15000 \cdot 0,01 = 150 \text{ кг/ч.}$$

Количество вторичного пара, образующегося из продувочной воды:

(Из уравнения теплового баланса $G_{\text{пр}} \cdot h_{\text{пр}} = D_{\text{р}} \cdot h_{\text{р}}^x + (G_{\text{пр}} - D_{\text{р}}) \cdot h_{\text{р}}$)

$$D_{\text{р}} = \frac{G_{\text{пр}} \cdot (h_{\text{пр}} - h_{\text{р}})}{(h_{\text{р}}^x - h_{\text{р}})} = \frac{150 \cdot (197,3 - 114,8)}{(644,4 - 114,8)} = 16 \text{ кг/ч.}$$

Теплота, возвращенная в деаэратор с паром расширителя:

$$Q_{\text{пр.п}} = D_p \cdot (h_p^x - h_d) = 16 \cdot (644,4 - 104,4) = 8640 \text{ ккал/ч.}$$

Количество тепла, получаемого в подогревателе сырой воды:

$$Q_{\text{пр.в}} = (G_{\text{пр}} - D_p) \cdot c_v \cdot (t_1 - t_2) = \\ = (150 - 16) \cdot 1 \cdot (115 - 30) = 11390 \text{ ккал/ч,}$$

где t_1, t_2 – температура воды на входе (115) и на выходе (30) из подогревателя сырой воды, $^{\circ}\text{C}$; c_v – теплоемкость воды, ккал/кг·гр.

Годовое количество тепла, которое можно сэкономить при полезном использовании тепла продувочной воды:

$$Q_{\text{пр}} = (Q_{\text{пр.п}} + Q_{\text{пр.в}}) \cdot \tau = (8640 + 11390) \cdot 7950 = \\ = 159238500 \text{ ккал} = 159,2 \text{ Гкал.}$$

Задача 1.5

Определить экономию тепловой энергии на отопление при установке автоматизированного узла управления теплотреблением в тепловом узле административного здания. Максимальная часовая нагрузка на систему отопления здания составляет $q_{\text{макс.час}} = 0,18 \text{ Гкал/час}$. Режим работы – 6 дней в неделю, с 8.00 до 19.00, средняя температура наружного воздуха в отопительный период $t_n^{\text{ср}} = -3,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Предполагается снижение температуры воздуха в помещениях на $\Delta t_{\text{в}}^{\text{нар}} = 3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ в ночные часы ($a = 8 \text{ ч/сут}$) и выходные дни ($b = 1 \text{ сут/нед}$), усредненную температуру воздуха внутри помещений принять равной $t_{\text{в}}^{\text{п}} = 18 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Отопительный период 214 суток (Москва).

Решение.

Экономия тепловой энергии от устранения перетопа в осенне-весенний период, определяется исходя из данных таблицы:

Относительная продолжительность осеннее весеннего периода, % отопительного периода	5	10	15	20	25	30	35
Экономия тепловой энергии, $\Delta q_{\text{п}}$ в % от годового расхода	0,55	1,20	1,65	2,20	2,75	3,30	3,85

Относительная продолжительность осенне-весеннего периода при расчетной температуре воздуха составляет 22% (Москва).

Таким образом, $\Delta q_{\text{п}} = 2,44 \%$.

Экономия тепловой энергии $\Delta q_{\text{н}}$ от снижения ее отпуска в ночное время:

$$\Delta q_{\text{н}} = \frac{a \cdot \Delta t_{\text{в}}^{\text{нар}} \cdot 100}{24 \cdot (t_{\text{в}}^{\text{п}} - t_{\text{н}}^{\text{сп}})} = \frac{8 \cdot 3 \cdot 100}{24 \cdot (18 + 3,1)} = 4,74\%,$$

где a – продолжительность снижения отпуска теплоты в ночное время, ч/сут; $\Delta t_{\text{в}}^{\text{нар}}$ – снижение температуры воздуха в помещениях в нерабочее время, $^{\circ}\text{C}$; $t_{\text{в}}^{\text{п}}$ – усредненная расчетная температура воздуха в помещениях, $^{\circ}\text{C}$; $t_{\text{н}}^{\text{сп}}$ – средняя температура наружного воздуха за отопительный сезон, $^{\circ}\text{C}$.

Для административных зданий: продолжительность снижения отпуска тепла определяется режимом работы здания, для ориентировочных расчетов можно принять $a = 8-9$ ч. Наиболее целесообразная величина снижения температуры $\Delta t_{\text{в}}^{\text{нар}} = 2-4$ $^{\circ}\text{C}$. При более глубоком снижении температуры необходимо учитывать возможности теплоисточника быстро увеличить отпуск тепла при резком снижении температуры наружного воздуха. В любом случае значение температуры в период ночного снижения расхода теплоты в общественных зданиях должно обеспечить отсутствие выпадения конденсата на стенах ночью.

Экономия тепловой энергии $\Delta q_{\text{с}}$ от снижения объемов ее отпуска в выходные дни:

$$\Delta q_{\text{с}} = \frac{b \cdot \Delta t_{\text{в}}^{\text{нар}} \cdot 100}{7 \cdot (t_{\text{в}}^{\text{п}} - t_{\text{н}}^{\text{сп}})} = \frac{1 \cdot 3 \cdot 100}{7 \cdot (18 + 3,1)} = 2,03 \%,$$

где b – продолжительность снижения отпуска теплоты в нерабочие дни, сут./нед. (при 5-дневной рабочей неделе $b=2$, при 6-дневной $b=1$).

Экономия тепловой энергии за счет учета тепlopоступлений от солнечной радиации и бытовых тепловыделений:

$$\Delta q_T = \frac{\Delta t_B^H \cdot 100}{(t_B^P - t_H^{cp})} = \frac{1 \cdot 100}{(18 + 3,1)} = 4,74 \%,$$

где Δt_B^H – усредненное за отопительный сезон превышение температуры воздуха в помещении сверх комфортной из-за поступлений от солнечной радиации и бытовых тепловыделений (ориентировочно $\Delta t_B^H = 1 - 1,5$ °C).

Годовое потребление зданием тепловой энергии на отопление:

$$\begin{aligned} Q_{от}^{год} &= q_{\max, \text{час}} \cdot \frac{t_B - t_H^{cp}}{t_B - t_{нар}} \cdot 24 \cdot 214 = \\ &= 0,18 \cdot \frac{18 + 3,1}{18 + 26} \cdot 24 \cdot 214 = 443,33 \text{ Гкал.} \end{aligned}$$

Экономия тепловой энергии в % при установке АУУ:

$$\begin{aligned} \Delta q_{\Sigma} &= \Delta q_{п} + \Delta q_{н} + \Delta q_{с} + \Delta q_T = 2,44 + 4,74 + 2,03 + 4,74 = \\ &= 13,95 \%, \end{aligned}$$

где $\Delta Q_{п}$ – экономия тепловой энергии от устранения перетопа зданий в осенне-весенний период, %; $\Delta Q_{н}$ – экономия тепловой энергии от снижения ее отпуска в ночное время, %; $\Delta Q_{с}$ – экономия тепловой энергии от снижения ее отпуска в выходные дни, %, ΔQ_T – экономия тепловой энергии за счет учета тепlopоступлений от солнечной радиации и бытовых тепловыделений, %.

Годовая экономия тепловой энергии на отопление здания при установке АУУ:

$$\Delta Q = \frac{Q_{от}^{год} \cdot \Delta q_{\Sigma}}{100} = \frac{443,33 \cdot 13,95}{100} = 61,84 \text{ Гкал.}$$

Контрольные задания

1. Перечислите и охарактеризуйте классы энергетической эффективности зданий.

2. Назовите достоинства и недостатки энергосберегающего мероприятия: устройство на уличных входах тамбуров, двойных шлюзов, тепловых отсеков.

3. Назовите достоинства и недостатки энергосберегающего мероприятия: установка светопрозрачных конструкций с энергоэффективными стеклопакетами.

4. Назовите достоинства и недостатки энергосберегающего мероприятия: устройство термомодерирующих пространств.

5. Назовите достоинства и недостатки энергосберегающего мероприятия: установка узлов механического регулирования температуры теплоносителя.

6. Назовите достоинства и недостатки энергосберегающего мероприятия: установка автоматизированных узлов учета и регулирования.

7. Назовите достоинства и недостатки энергосберегающего мероприятия: применение тепловых насосов для утилизации низкопотенциального тепла вытяжного воздуха.

8. Перечислите основные способы сокращения тепловых потерь здания.

9. Назовите способы дополнительной экономии при установке автоматизированных узлов учета и регулирования тепловой энергии.

10. Опишите алгоритм расчета экономии тепловой энергии при использовании систем газового воздушного лучистого отопления.

2. ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ПРОЕКТОВ НА ОСНОВЕ ЭНЕРГОСЕРВИСНОГО ДОГОВОРА

Эффективность инвестиционного проекта оценивается в течение расчетного периода, охватывающего временной интервал от начала энергосберегающего проекта до его окончания либо расторжения договора. Начало расчетного периода, как правило, принимается на дату начала расчета эффективности инвестиционного проекта, например, дату начала вложения средств в предпроектные (разработка ТЭО, бизнес-плана и др.) проектно-изыскательские либо строительно-монтажные работы.

На предварительной стадии анализа энергосберегающих проектов учитывается полезность энергосберегающих проектов для инвестора. На данном этапе в инвестиционных программах еще не конкретизируются результаты ни в производственной, ни в научно-технической сфере, а содержится только предварительная информация. Анализ может осуществляться, например, в две стадии.

1. Структуризация приоритетных направлений, выполняемая как системный анализ проблемы их реализации, выявление ее составляющих и оценка возможности решения возникающих задач в рамках имеющихся и доступных средств. Методы реализации этой стадии являются экспертно-аналитическими и включают построение дерева целей, дерева проблем, анализ достижимости задач за счет реализации и др.

2. Формирование предварительных программ реализации проекта в целом или его укрупненных составляющих с опорой на программно-целевые методы.

Одновременно должна оцениваться верхняя граница возможных затрат, которая впоследствии будет служить основанием для следующих этапов работ.

Систематизации методов анализа эффективности проектов посвящено значительное количество работ, составляющих основу теориям экономического развития мировых и отечественных организаций. В России распространена методика оценки общественной и экономической эффективности инвестиционного проекта⁴, в которой вопросы оценки экономической эффективности проекта обосновываются в ТЭО второго этапа с учетом всех индивидуальных особенностей каждого проекта. При этом инструменты оценки социальной и экономической эффективности проекта на первом этапе разработаны слабо.

Оценку удовлетворения потребностей заказчика от энергосберегающих мероприятий удобно осуществлять методами общей теории организации производства. Например, принцип сопряженности состоит в прогнозировании и обеспечении непрерывной работы за

⁴ ГОСТ Р 54860—2011. Теплоснабжение зданий. Общие положения методики расчета энергопотребности и эффективности систем теплоснабжения.

счет использования комплексной системы индикаторов деятельности организации.

Проект, как и любая операция, связанная с получением доходов и/или осуществлением расходов, порождает денежные потоки (потоки реальных денег). Денежный поток инвестиционного проекта – это зависимость от времени денежных поступлений и платежей при реализации порождающего его проекта, определяемая для всего расчетного периода. Для задачи модернизации объекта с целью повышения его энергетической эффективности особенно характерна ситуация наличия равноценных по эффекту но различных по составу применяемых технологий. Вопросу сравнения экономической эффективности нескольких проектов посвящено значительное количество трудов. Индикаторы эффективности могут опираться как на конечные результаты реализации ЭСМ, что актуально для пользователей результатами проектов, так и рассчитываться в зависимости от жизненного цикла проекта, что наиболее актуально для заказчика.

Для инвестора расчет основывается на распределении инвестиций в инновационном проекте по этапам его внедрения. Такой подход имеет ряд сложностей в реализации. Каждая отрасль специфична в технике внедрения новаций, что требует разработки специализированных моделей оценки эффективности инновационных проектов. Для многих отраслей широко используется «Методика расчета показателей и применения критериев эффективности инвестиционных проектов»⁵, основанная на методологических положениях UNIDO. Существуют отдельные методические рекомендации для производства технологического оборудования, в строительстве, в промышленности.

Наиболее простой способ сравнения нескольких вариантов реализации энергосберегающих мероприятий на основе расчета критериев экономической эффективности инвестиций в общем виде может быть представлен следующим этапом.

⁵ Методика расчета показателей и применения критериев эффективности инвестиционных проектов (2008 г.) // Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти, 2008. — 18 августа. — № 33.

1. *Определение расходов за ежемесячное потребление энергоресурсов для существующего (энергонезэффективного) оборудования, руб.:*

$$P_{\text{ЭНЕРГИЯ.СУЩ } tj} = P_{\text{П.У.СУЩ } tj} C_{\text{ТАР.СУЩ } tj}, \quad (2.1)$$

где t – номер года, j – номер месяца; $P_{\text{П.У.СУЩ } tj}$ – ежемесячные объемы потребления энергоресурсов существующим оборудованием;

$C_{\text{ТАР.СУЩ } tj}$ — тарифные ставки на энергоресурсы.

2. *Определение ежемесячных эксплуатационных затрат для поддержания существующего (энергонезэффективного) оборудования в работоспособном состоянии, руб.:*

$$P_{\text{ЭКСПЛ.СУЩ } tj} = P_{\text{ОБСЛ.СУЩ } tj} + P_{\text{РАЗ.СУЩ } tj} + P_{\text{РАСХ. МАТ.СУЩ } tj} + P_{\text{З.П.СУЩ } tj}, \quad (2.2)$$

где $P_{\text{ОБСЛ.СУЩ } tj}$ – ежемесячные расходы на обслуживание существующего оборудования, плановую замену и ремонтные работы; $P_{\text{РАЗ.СУЩ } tj}$ – иные ежемесячные разовые расходы; $P_{\text{РАСХ. МАТ.СУЩ } tj}$ – ежемесячные затраты на расходные материалы для старого оборудования; $P_{\text{З.П.СУЩ } tj}$ – ежемесячные затраты на зарплату персонала, обслуживающего существующее оборудование.

3. *Определение начальных инвестиций на новое (энергоэффективное) оборудование, руб.:*

$$P_{\text{НАЧАЛЬН.ЭСМ}} = P_{\text{ПРОЕКТ}} + P_{\text{ОБОРУД}} + P_{\text{РИСК.РАСХОДЫ}} + P_{\text{НАЛОГ}}, \quad (2.3)$$

где $P_{\text{ПРОЕКТ}}$ – капиталовложения на проектные работы; $P_{\text{ОБОРУД}}$ – капиталовложения на энергосберегающее оборудование и строительно-монтажные работы; $P_{\text{РИСК.РАСХОДЫ}}$ – затраты на непредвиденные расходы; $P_{\text{НАЛОГ}}$ – затраты на налоги.

4. *Определение ежемесячных эксплуатационных затрат для поддержания нового (энергоэффективного) оборудования в работоспособном состоянии, руб.:*

$$P_{\text{ЭКСПЛ.ЭСМ } tj} = P_{\text{ОБСЛ.ЭСМ } tj} + P_{\text{РАЗ.ЭСМ } tj} + P_{\text{РАСХ.МАТ.ЭСМ } tj} + P_{\text{З.П.ЭСМ } tj}, \quad (2.4)$$

где $P_{\text{ОБСЛ.ЭСМ } tj}$ – ежемесячные расходы на обслуживание нового оборудования, плановую замену и ремонтные работы; $P_{\text{РАЗ.ЭСМ } tj}$ – иные ежемесячные разовые расходы по новому проекту; $P_{\text{РАСХ.МАТ.ЭСМ } tj}$ – ежемесячные затраты на расходные материалы для нового оборудования; $P_{\text{З.П.ЭСМ } tj}$ – ежемесячные затраты на зарплату персонала, обслуживающего новое оборудование (как правило зарплата выше, чем для старого оборудования в силу более высокой квалификации персонала).

5. *Определение расходов за ежемесячное потребление энерго-ресурсов для нового (энергоэффективного) оборудования, руб.:*

$$P_{\text{ЭНЕРГИЯ.ЭСМ } tj} = P_{\text{П.У.ЭСМ } tj} C_{\text{ТАР.ЭСМ } tj}, \quad (2.5)$$

где $P_{\text{П.У.ЭСМ } tj}$ – прогнозные ежемесячные показания приборов учета исследуемых энергоносителей за период $T_{\text{ЭСМ}}$; $C_{\text{ТАР.ЭСМ } tj}$ – прогнозный тариф на энергоноситель.

6. *Определение простого периода окупаемости проекта – $T_{\text{ОКУП}}$, год. Известно:*

$$T_{\text{ОКУП}} = \frac{P_{\text{НАЧАЛЬН.ЭСМ}}}{\sum_{j=1}^{12} (P_{\text{ЭНЕРГИЯ.СУЩ } tj} + P_{\text{ЭКСПЛ.СУЩ } tj} - P_{\text{ЭНЕРГИЯ.ЭСМ } tj} + P_{\text{ЭКСПЛ.ЭСМ } tj})}. \quad (2.6)$$

В случае, если величина экономии энергоресурса фиксированная, то целесообразно пользоваться следствием из (2.6):

$$T_{\text{ОКУП}} = \frac{P_{\text{НАЧАЛЬН.ЭСМ}}}{\sum_{j=1}^{12} (\Delta P_{\text{ЭНЕРГИЯ.СУЩ } tj} + P_{\text{ЭКСПЛ.СУЩ } tj} - P_{\text{ЭКСПЛ.ЭСМ } tj})}. \quad (2.7)$$

7. *Выбор ставки дисконтирования r* – это процентная ставка, используемая для перерасчета будущих потоков доходов в единую величину текущей стоимости. Ставка дисконтирования применяется при расчете дисконтированной стоимости будущих денежных пото-

ков. Определяется согласно справочникам. В упрощенном виде может быть принята величине годовой инфляции.

8. *Расчет дисконтированного срока окупаемости DPBP* – показателя, учитывающего снижение стоимости денег с течением времени (Discounted Pay-Back Period), год:

$$DPBP = \sum_{t=1}^T \frac{CF_t}{(1+r_t)^t} \geq P_{\text{НАЧАЛЬН.ЭСМ}} \cdot \quad (2.8)$$

Методика расчета DPBP подробно изучается на экономических курсах МЭИ. Также возможно использовать расчетные on-line модели.

9. *Расчет чистого дисконтированного дохода – NPV*, руб. Net Present Value – накопленный дисконтированный эффект за расчетный период: определяется как сумма текущих эффектов за весь расчетный период, приведенная к начальному шагу, или как превышение интегральных результатов над интегральными затратами.

Если в течение расчетного периода не происходит инфляционного изменения цен или расчет производится в базовых ценах, то размер ЧДД для постоянной нормы дисконта вычисляется по формуле

$$NPV = \sum_{t=1}^{T_{\text{ЭКСПЛ}}} \frac{\Delta CF_t}{(1+r_t)^t}, \quad (2.9)$$

где $T_{\text{ЭКСПЛ}}$ – период, равный периоду эксплуатации оборудования до его плановой замены, $T_{\text{ЭКСПЛ}} > T_{\text{ОКУП}}$;

ΔCF_t – финансовый поток в год с номером t , руб.:

$$\Delta CF_t = P_{\text{ЭНЕРГИЯ.СУЩт}} + P_{\text{ЭКСПЛ.СУЩт}} - P_{\text{ЭНЕРГИЯ.ЭСМт}} - P_{\text{ЭКСПЛ.ЭСМт}} \quad (2.10)$$

Также возможно использовать расчетные on-line модели.

10. *Расчет индекса доходности – SIR*, руб. представляет собой отношение суммы приведенных эффектов к величине капиталовложений:

$$SIR = \frac{1}{P_{\text{НАЧАЛЬН.ЭСМ}}} \sum_{t=0}^{T_{\text{ЭКСПЛ}}} \frac{\Delta CF_t}{(1+r)^t} \quad (2.11)$$

Если $SIR > 1$, проект эффективен и принесет больше денег, чем на него потрачено, если $SIR < 1$, то проект неэффективен. Для расчета возможно использовать расчетные on-line модели.

11. *Внутренняя норма прибыли (IRR)* – внутренняя норма прибыли, то есть такая r (2.9), при которой $NPV = 0$. При прочих равных условиях выбираются проекты с большей рентабельностью. IRR определяется или методом подбора, или посредством встроенных функций Excel.

На основе рассчитанных для каждого из сравниваемых проектов критериев осуществляется сравнение в следующей последовательности:

1) отбираются проекты с наибольшим SIR ;

2) из выбранных на этапе (1) отбираются проекты с $IRR > r$.

Предпочтительнее проекты с наибольшим IRR ;

3) из выбранных на этапе (2) отбираются проекты с $NPV > 0$.

Предпочтительнее проекты с наибольшим NPV .

Задача 2.1

Разработанная программа энергосбережения и повышения энергетической эффективности в здании для занятий водными видами спорта включает в себя два мероприятия по сбережению тепловой энергии.

Первый проект включает в себя установку на каждой из четырех входных дверей устройств типа «антисквозняк» с одновременной установкой автоматических дверных доводчиков. Предполагаемый эффект для каждого месяца отопительного периода составляет 0,8 Гкал для одного дверного проема. Стоимость воздушно-тепловой завесы составляет 21 тыс. руб., доводчика – 1,5 тыс. руб. Монтаж и эксплуатация осуществляется силами собственной инженерной службы в рамках существующего оклада. При эксплуатации в рассматриваемых период дополнительных материалов не потребуется. Каждая воздушно-тепловая завеса при работе потребляет ежечасно 0,3 кВт, число часов использования в год – 3000 ч, стоимость электрической энергии – 4,5 руб./кВт·ч.

Второй проект предусматривает восстановление отсутствовавшей тепловой изоляции на трубопроводах системы отопления, проходящих по неотапливаемому чердаку. Предполагается, что при неизолированном трубопроводе теряется 1,5% тепловой энергии, потребляемой зданием. Стоимость новой тепловой изоляции вместе с

ее монтажом составляет 770 руб./м, общая длина неизолированного трубопровода составляет 140 м.

Объемы теплотребления для рассматриваемого 2017 г. представлены в Приложении 2. Тариф на тепловую энергию составляет 1450 руб./Гкал. Ставку дисконтирования принять 9%. Определить с экономической точки зрения наиболее предпочтительный проект из двух предложенных по сбережению тепловой энергии при условии срока рассмотрения проекта, равного сроку эксплуатации предполагаемого к закупке оборудования 7 лет.

Решение.

Рассчитаем затраты для немодернизированного здания.

Согласно (2.1):

$$P_{\text{ЭНЕРГИЯ СУЩ}} 2017 = (179,048 + 152,125 + 141,342 + 139,33 + 93,14 + 47,977 + 36,459 + 11,518 + 38,255 + 129,613 + 158,568 + 161,302) \cdot 1450 = 1\,868\,582 \text{ руб.}$$

Поскольку описываемое энергонезэффективное состояние здания не приводит к иным негативным последствиям кроме повышенного расхода тепловой энергии, то объем ежемесячных затрат на поддержание здания в таком состоянии равен нулю. Тогда исходя из (2.2):

$$P_{\text{ЭКСПЛ СУЩ}} 2017 = 0 \text{ руб.}$$

Рассмотрим первое энергосберегающее мероприятие (ЭСМ1).

Согласно (2.3):

$$P_{\text{НАЧАЛЬН.ЭСМ1}} 2017 = 4 \cdot (21000 + 1500) = 90000 \text{ руб.}$$

Поскольку воздушная тепловая завеса при работе потребляет электрическую энергию, то ее стоимость нужно учесть в формуле (2.4). Иных ежемесячных эксплуатационных затрат согласно условию задачи нет. Тогда годовая стоимость эксплуатационных затрат для ЭСМ1:

$$P_{\text{ЭКСПЛ.ЭСМ1}} 2017 = 4 \cdot (0,3 \cdot 3000 \cdot 4,5) = 16200 \text{ руб.}$$

Согласно условию задачи, годовая экономия тепловой энергии от ЭСМ1 для каждой двери составляет 0,8 Гкал. Поскольку отопительный период длится 8 месяцев, то (2.5):

$$P_{\text{ЭНЕРГИЯ.ЭСМ1}} 2017 = 4 \cdot 0,8 \cdot 1450 \cdot 8 = 37120 \text{ руб.}$$

Согласно (2.6):

$$T_{\text{ОКУП}} \text{ЭСМ1} = 90000 / (37120 - 16200) = 4,3 \text{ г.}$$

Тогда дисконтированный срок окупаемости (2.8):

DPBP = 5,97 г.

Расчет NPV, SIR, IRR показан в табл. 2.1, рис. 2.1.

Таблица 2.1

Расчет NPV, SIR, IRR для ЭСМ1

Т, год	CF, руб.	CF (1+r) ^{-t} , руб.	NPV, руб.	SIR	IRR
1	-90 000	-85 714,29	-85 714,29	–	–
2	20 920	18 975,06	-66 739,23	0,21	–
3	20 920	18 071,48	-48 667,75	0,41	–
4	20 920	17 210,94	-31 456,81	0,60	-16%
5	20 920	16 391,37	-15 065,44	0,78	-3%
6	20 920	15 610,83	545,38	0,96	5%
7	20 920	14 867,45	15 412,84	1.12	10%

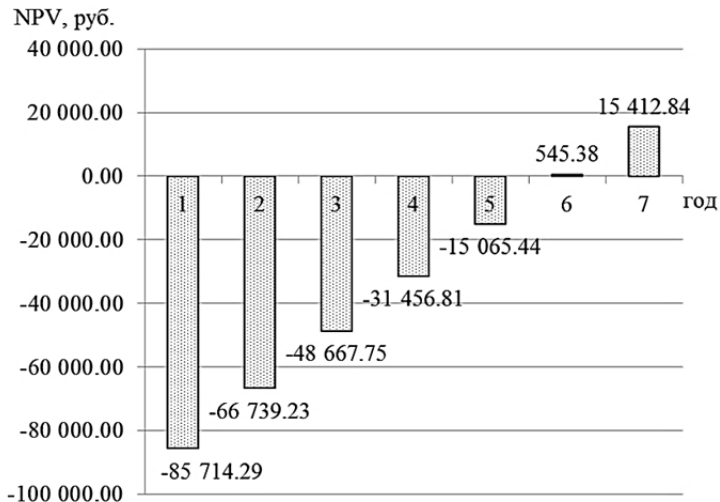


Рис. 2.1. Изменение денежного потока для ЭСМ1

Экономические показатели проекта ЭСМ1:

DPBP = 5,97 г., NPV=15 412,84 руб.; SIR=1,12; IRR=10%.

Рассмотрим второе энергосберегающее мероприятие (ЭСМ2):

Согласно (2.3):

$$P_{\text{НАЧАЛЬН.ЭСМ2 2017}} = 140 \cdot 770 = 107800 \text{ руб.}$$

Никаких ежемесячных эксплуатационных затрат согласно условию задачи нет. Тогда годовая стоимость эксплуатационных затрат для ЭСМ2 (2.4):

$$P_{\text{ЭКСПЛ.ЭСМ2 2017}} = 0 \text{ руб.}$$

Согласно условию задачи, годовая экономия тепловой энергии от ЭСМ2 составляет 1,5% от объемов потребления тепловой энергии за отопительный период. Тогда (2.5):

$$P_{\text{ЭНЕРГИЯ.ЭСМ2 2017}} = P_{\text{ЭНЕРГИЯ СУЩ 2017}} \cdot 0,015 = 28028,72 \text{ руб.}$$

Согласно (2.6):

$$T_{\text{ОКУП ЭСМ1}} = 107800 / 28028,72 = 3,8 \text{ г.}$$

Тогда дисконтированный срок окупаемости (2.8):

$$DPBP = 5,38 \text{ г.}$$

Расчет NPV, SIR, IRR показан в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Расчет NPV, SIR, IRR для ЭСМ2

Т, год	CF, руб.	CF (1+r) ^{-t} , руб.	NPV, руб.	SIR	IRR
1	-107800	-102 666,67	-102 666,67	-	-
2	28 029	25 422,88	-77 243,79	0,21	-
3	28 029	24 212,27	-53 031,52	0,41	
4	28 029	23 059,30	-29 972,22	0,60	-11%
5	28 029	21 961,24	-8 010,98	0,78	2%
6	28 029	20 915,47	12 904,49	0,96	9%
7	28 029	19 919,49	32 823,98	1,12	14%

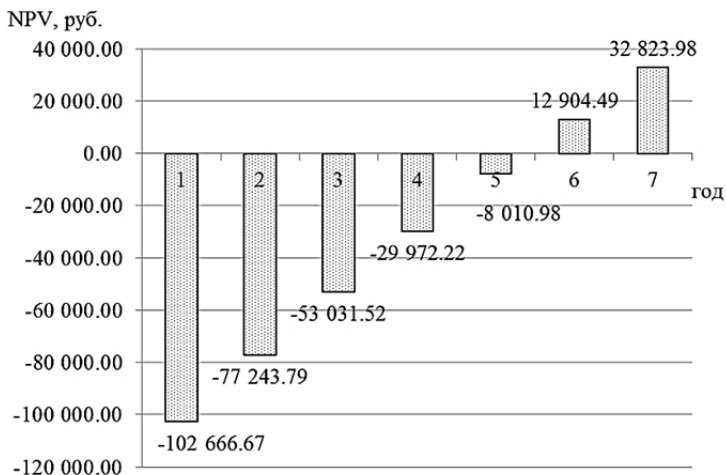


Рис. 2.2. Изменение денежного потока для ЭСМ2

Экономические показатели проекта ЭСМ2:

DPBP = 5,38 г., NPV=32 823,98 руб.; SIR=1,12; IRR=14%.

Выполним сравнение ЭСМ1 и ЭСМ2 по рассчитанным критериям.

1) $SIR_{ЭСМ1} = 1,12\% > 1$ и $SIR_{ЭСМ2} = 1,12\% > 1$. Следовательно, оба проекта целесообразны к внедрению.

$SIR_{ЭСМ1} = 1,12\% = SIR_{ЭСМ2} = 1,12\%$. Проекты равнозначные.

2) $IRR_{ЭСМ1} = 10\% > r = 9\%$ и $IRR_{ЭСМ2} = 14\% > r = 9\%$. Следовательно, оба проекта целесообразны к внедрению.

$IRR_{ЭСМ1} = 10\% < IRR_{ЭСМ2} = 14\%$. Проект ЭСМ2 предпочтительнее.

3) $NPV_{ЭСМ1} = 15 412,84$ руб. $< NPV_{ЭСМ2} = 32 823,98$ руб. Проект ЭСМ2 предпочтительнее.

Ответ к задаче 2.1: с экономической точки зрения наиболее предпочтительным проектом из двух предложенных по сбережению тепловой энергии является проект №2 «восстановление тепловой изоляции на трубопроводах системы отопления».

Необходимо отметить, что вопрос определения прогнозного уровня потребления энергоносителей после реализации энергосбере-

гающих мероприятий проработан в настоящее время недостаточно. Следствием упомянутой проблемы является как увеличение рисков инвестора с одновременным снижением привлекательности энергосберегающих проектов, так и невозможность точного расчета энергосберегающего эффекта с последующей невозможностью принятия решения о целесообразности масштабирования проекта.

Определение энергосберегающего эффекта с требуемой достоверностью потребует наличия точных сведений об используемой технологии, об объекте модернизации, а также использования достоверной методики определения энергосберегающего эффекта в сопоставимых условиях. Более подробно способ подтверждения энергосберегающего эффекта при использовании тепловой и электрической энергии рассмотрен в следующем разделе.

Контрольные задания

1. Перечислите этапы анализа энергосберегающих проектов, учитывающих полезность энергосберегающих проектов для инвестора.
2. Опишите порядок использования методики расчета показателей и применения критериев эффективности инвестиционных проектов.
3. Перечислите состав ежемесячных эксплуатационных затрат для поддержания энергоэффективного оборудования в работоспособном состоянии.
4. Перечислите состав начальных инвестиций на энергоэффективное оборудование.
5. Опишите последовательность расчета простого периода окупаемости проекта.
6. Опишите процедуру выбора ставки дисконтирования.
7. Опишите последовательность расчета чистого дисконтированного дохода.
8. Опишите последовательность расчета индекса доходности.
9. Опишите последовательность расчета внутренней нормы прибыли.
10. Опишите последовательность применения критериев NPV, SIR, IRR для осуществления сравнения проектов модернизации оборудования.

3. ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ПРОЕКТОВ В СОПОСТАВИМЫХ УСЛОВИЯХ С УЧЕТОМ ФАКТОРОВ РИСКА И НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Расчет в целях актуализации объемов потребления каждого вида энергетического ресурса в натуральном и финансовом выражении относительно момента до реализации исполнителем определенного ЭСКО перечня энергосберегающих мероприятий, направленных на повышение энергетической эффективности, называется определением базового уровня и производится с использованием методик определения сопоставимых условий^{6,7}. Подобные нормативные документы разработаны также и для определения экономического эффекта в странах Европы⁸. Недостатком перечисленных аналогов является то, что при малых объемах исходных данных (до 30 измерений) результат определения прогнозного значения объемов потребления энергоресурсов имеет неоправданно большую погрешность. На практике перечисленные способы применимы для краткосрочных и технологически несложно оцениваемых ЭСМ, реализуемых в малых и средних зданиях.

Показанная в документах оценка предусматривает определение технического эффекта при снижении потребления энергоресурса от начального уровня, определенного до внедрения ЭСМ, до уровня энергопотребления после установки энергосберегающего оборудования (рис. 3.1).

⁶ Методика расчета значений целевых показателей в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности, в том числе в сопоставимых условиях. Утверждена приказом Министерства регионального развития Российской Федерации от 07 июня 2010 г. № 273. — Режим доступа: <http://gisee.ru/articles/law/24593/>

⁷ СТО 001-2014. Измерения и верификация энергетической эффективности. Стандарт Ассоциации энергосервисных компаний. — М.: РАЭСКО, 2014.

⁸ Международный протокол измерения и верификации эффективности. Концепция и опции для расчета объемов экономии энергетических ресурсов и воды. Т. 1. Организация по оценке эффективности. EVO 10000 — 1:2010 (RU). 2011.

Последовательность установления технического эффекта в соответствии с российскими документами достаточно проста и предписывает:

1) определить фактическое ежемесячное потребление до и после реализации энергосберегающих мероприятий (см. рис. 4.1 – штриховые линии);

2) устранить случайные факторы и привести объем потребления энергоресурса после реализации ЭСМ к базовому с учетом сопоставимых условий (темные пунктирные линии);

3) рассчитать прогнозируемое потребление энергоресурса для гипотетического случая функционирования здания без реализованных ЭСМ (светлая пунктирная линия). Площадь (заштрихованная) между графиками, п. 3 и п. 2 есть технического эффект, полученный от ЭСМ;

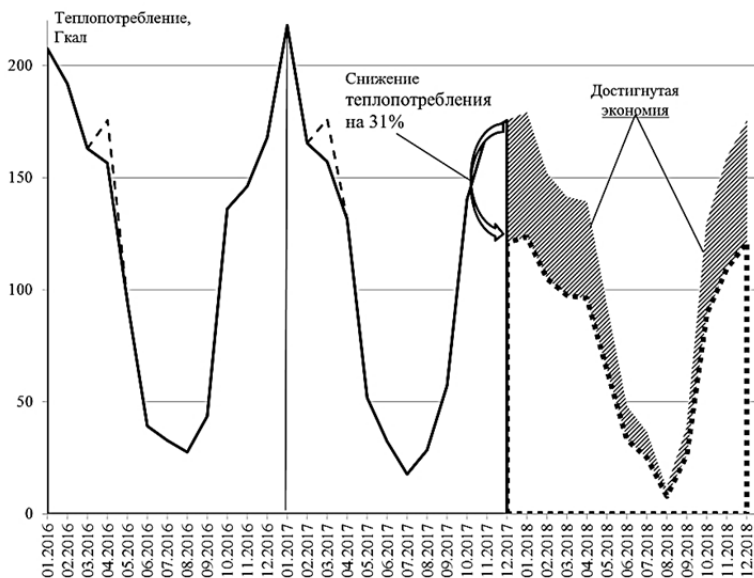


Рис. 3.1. Простейший способ определения экономии от ЭСМ:

---- фактическое энергопотребление; сплошная линия – энергопотребление, скорректированное на случайные факторы; ••• – прогнозируемое энергопотребление, рассчитанное с учетом сопоставимых условий; наклонная штриховка – достигнутая экономия

4) определить ежемесячный объем платежей в пользу ЭС-Ко путем пересчета технического эффекта для каждого месяца с учетом тарифа на потребляемый энергетический ресурс.

Такой подход имеет вполне определенные преимущества и недостатки. К преимуществам можно отнести:

- относительную простоту и малое время расчета;
- небольшое количество исходных данных для упрощенного расчета в сопоставимых условиях.

Основные недостатки:

- методика не может быть использована для необследованного здания, в силу необходимости значительного объема детализированной дополнительной информации по инженерным системам и их изменениям;
- в виду сложности получения информации, методика, как правило, не полностью учитывает разовые случайные расходы энергоресурсов;
- методика не учитывает погрешность прибора учета и ее дрейф во времени.

Приведенный способ наиболее удобен для краткосрочных и технологически несложно оцениваемых ЭСМ, реализуемых в малых и средних зданиях. В случае длительного периода либо при модернизации большой и сложной инженерной системы велика вероятность возникновения значительной ошибки, что приведет к недоплате по договору при осуществлении финансовых взаиморасчетов.

Аналогичный механизм используется и при определении диапазона значений ресурсопотребления после внедрения ЭСМ, очевидно, что возможных погрешностей расчета здесь будет больше. Интервал прогнозных значений, рассчитанный с той же надежностью, что и для базового расчета, будет больше.

Общая формула нормализованной экономии:

$$\mathcal{E}_n = \Pi_б \pm C_k \pm H_k - \Pi_0 \pm C_k \pm H_k, \quad (3.1)$$

где \mathcal{E}_n – нормализованная экономия;

$\Pi_б$ – базовое потребление энергетических ресурсов;

C_k – стандартная корректировка к фиксированным условиям;

H_k – нестандартная корректировка к фиксированным условиям;

Π_0 – потребление энергетических ресурсов за отчетный период.

Базовая линия (базовый объем потребления энергоресурса зданием) – величина практически постоянная, так как она не зависит от погоды, наполненности, графика работы и др. Для ее вычисления необходимо удалить «стандартную корректировку к фиксированным условиям». К «стандартной корректировке к фиксированным условиям» относятся известные, «плановые» дестабилизирующие расчетные данные. К ним относятся, например, корректировки:

- на среднемесячную температуру наружного воздуха;
- количество часов работы в месяц;
- погрешность прибора учета;
- количество сотрудников/обучающихся и др.

Кроме того, для каждого из вида энергоресурса можно выделить факторы, влияющие на погрешность. Например, для системы отопления здания, помимо теплового потока от радиаторов отопления

$$Q = kF(t_{\text{ВНУТР}} - t_{\text{НАРУЖН}}),$$

на температуру в здании оказывают влияние:

- 1) трансмиссионные потери (потери тепла через стены зависят от температуры наружного воздуха);
- 2) нестационарность процесса трансмиссионных потерь;
- 3) инфильтрационные потери (воздействие ветра);
- 4) тепловой поток из здания через вентиляционные каналы (скорость естественно вытягиваемого воздуха возрастает с ростом разницы температур внутри и снаружи здания);
- 5) приток тепла от внутренних источников с различным графиком тепловыделений: оборудование, технологии, освещение, люди и др.;
- 6) приток тепла от сторонних инженерных систем, работающих постоянно: ГВС, полотенцесушители, подогрев приточного воздуха.

Очевидно, что формула (3.1) наиболее полно позволяет учесть возможные дестабилизирующие расчетные факторы. К «нестандартной корректировке к фиксированным условиям» относятся случайные, экстренные, непрогнозируемые факторы, а также факторы, которые в расчете были не учтены. В общем случае можно отнести известные случаи (изменения объема потребления):

- от утечек;
- аварий;
- плановых ежегодных мероприятиях (влажная генеральная уборка и др.);

- плановых разовых сезонных мероприятиях (заливка и освещение зимнего открытого катка);
- остановки здания на плановый ремонт и др.;
- дрейфа погрешности прибора учета во времени или из-за изменения показателей качества учитываемого ресурса;
- неравномерности времени снятия показаний. Например, диапазон погрешности ± 1 сутки является следствием прироста погрешности на $1/30 = 3,33\%$.

Использование данной методики требует применение математического аппарата, основанного на законах распределения вероятностей непрерывных случайных величин. Первой задачей при планировании опыта является определение минимального числа экспериментов. Если требуется оценить математическое ожидание с наперед заданной погрешностью δ и доверительной вероятностью γ , то *минимальный объем выборки*, который обеспечит эту точность, вычисляемую по формуле:

$$n_{\text{ИЗМ}} = \frac{t^2 \sigma^2}{\delta^2}, \quad (3.2)$$

где t – аргумент, которому соответствует значение функции Лапласа, равное $\gamma/2$.

При $\delta \leq 25\%$ и $\gamma = 99\%$, $n_{\text{ИЗМ}} = 15$ ед.; при $\delta \leq 5\%$ и $\gamma = 50\%$, $n_{\text{ИЗМ}} = 25$ ед.; при $\delta \leq 5\%$ и $\gamma = 80\%$, $n_{\text{ИЗМ}} = 91$ ед.

В практике определения базовой линии расчета технологического эффекта от внедренного энергосберегающего мероприятия можно выделить три типовых случая, напрямую соотносящихся с типом исследуемого энергетического ресурса.

1. *Сезонная зависимость* (характерна для графиков потребления тепловой энергии). Выявление базовой линии при анализе графика энергопотребления, обладающего сезонной зависимостью, как правило, ограничен 3–5 годами. Причин тому несколько:

- увеличение износа автоматизированных узлов регулирования температуры теплоносителя в системе отопления (АУУ) или элеваторного узла, снижение чувствительности;
- ухудшение состояния и теплоизолирующих свойств ограждающих конструкций здания;

- произошедшие за выбранные периоды изменения (установка новых окон, замена радиаторов батарей, промывка системы отопления, перенастройка автоматики АУУ, замена приборов учета на счетчики с более высоким классом точности и др.);

- возможное отсутствие или ненадежность имеющихся данных по показаниям приборов учета за истекшие периоды и др.

Установившийся отопительный режим для г. Москвы усредненно можно принять с ноября по апрель включительно (241–243 дня).

Таким образом, для системы отопления здания при определении базовой линии можно обрабатывать от 18 (для 3 лет) до 30 (для 5 лет) показаний ежемесячного теплопотребления.

2. *Недельная зависимость* (характерна для графиков потребления электрической энергии, газа, водных ресурсов для зданий с графиками нагрузок, повторяющихся каждые 7 дней). Примером может служить электропотребление в вузе или школе, когда расписание занятий, а значит и длительность активного использования электрооборудования, повторяются еженедельно.

Для вычисления базовой линии проводятся предварительные испытания оборудования. Длительность тестовых испытаний составляет обычно 2 недели. При этом данные считаются условно усредненными и объединяются в одну статистическую линию. Базовая линия, полученная таким способом, не является верной. Для получения результатов с надежностью не менее 90%, необходимо основываться не менее чем на 5 показаниях, что равносильно длительности испытания в 5 недель.

3. *Суточная зависимость* (характерна для осветительной нагрузки, например, в больницах и общежитиях, для уличного городского освещения и др.). Характерна для нагрузки, работающей ежедневно, усреднено в одном режиме за исключением выходных. Является наиболее простой и удобной для определения базовой линии зависимостью. В случае тестовых испытаний длительностью в 2 недели, выявляются 10 измерений, позволяющие рассчитывать данные с уровнем надежности 95%.

Задача 3.1

Составить однофакторную и двухфакторную прогнозные функции для потребления объемов потребления природного газа

предприятием пищевой отрасли промышленности. По предприятию представлена известная за 6 лет статистика (прил. 1), где фактор x_1 – среднемесячная температура наружного воздуха за рассматриваемый период, °С; x_2 – относительная влажность наружного воздуха, %; y – потребление природного газа, куб.м.

Решение.

Используя встроенный в excel аппарат решения многофакторных регрессий, для однофакторной регрессии по переменной x_1 получаем результат: Y -пересечение = 470004,93; переменная X_1 = -12920,56; R -квадрат=0,896721. Таким образом, результирующая прогнозная функция с точностью 89,67% будет иметь вид:

$$Y_1 = 470004,93 - x_1 \cdot 12920,56.$$

Аналогично для двухфакторной регрессии по переменным x_1 и x_2 получаем результат: Y -пересечение = 427937,44; переменная X_1 = -12508,327; переменная X_2 = 478,915; R -квадрат=0,898144. Таким образом, результирующая прогнозная функция с точностью 89,81% будет иметь вид (рис. 3.2):

$$Y_2 = 427937,44 - x_1 \cdot 12508,327 + x_2 \cdot 478,915.$$

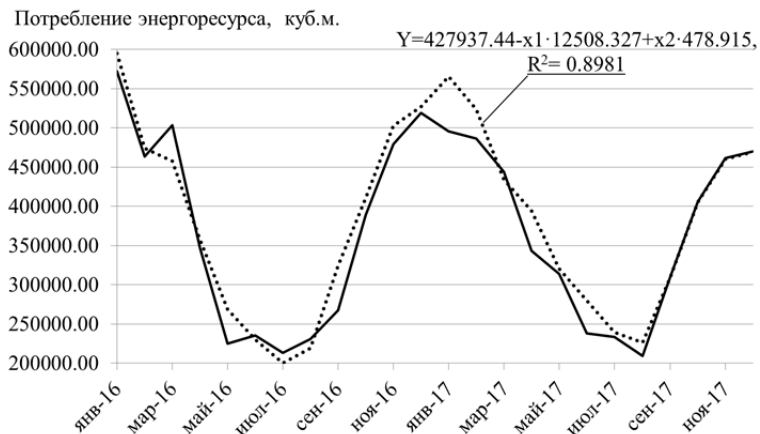


Рис. 3.2. Фактическая и прогнозные функции задания 3.1:

— — фактическое потребление природного газа; ●●● — прогнозное потребление природного газа по двухфакторной прогнозной функции

Задача 3.2

Составить однофакторную и пятифакторную прогнозные функции для потребления тепловой энергии зданием для занятий водными видами спорта. Здание 1954 г. постройки, эксплуатируется без капитального ремонта, с отапливаемой площадью 1496,7 м², с полной площадью 2061,3 м², имеет один цокольный и два надземных этажа. ЭСМ – комплекс мероприятий по улучшению системы циркуляции и очистки воды чаши бассейна, установке устройств автоматического отключения горячей (ГВС) и холодной (ХВС) по времени в душевых, реконструкции теплового пункта, установке рекуператора влажных вентиляционных выбросов. По зданию представлена известная за 8 лет статистика (табл. 4.2), где фактор x_1 – среднемесячная температура наружного воздуха за рассматриваемый период, °С; x_2 – относительная влажность наружного воздуха, %; x_3 – потребление электрической энергии зданием, кВт·ч; x_4 – число посетителей бассейна за рассматриваемый период, чел.; x_5 – число работы энергоемких потребителей (печей саун), ч; y – потребление тепловой энергии зданием, Гкал.

Решение.

Используя встроенный в excel аппарат решения многофакторных регрессий, для однофакторной регрессии по переменной x_1 получаем результат: Y -пересечение = 165,6944; переменная X_1 = -6,8002; R -квадрат=0,872710. Таким образом, результирующая прогнозная функция с точностью 87,27% будет иметь вид:

$$Y_1=165,69-x_1 \cdot 6,80.$$

Используя встроенный в excel аппарат решения многофакторных регрессий, по переменным x_1 – x_5 получаем результат: Y -пересечение=154,6444; переменная X_1 =-5,75631; переменная X_2 =-1,21578; переменная X_3 =-3,1E-05; переменная X_4 =0,003019; переменная X_5 =0,096723; R -квадрат=0,923733. Таким образом, результирующая прогнозная функция с точностью 92,37% для 2016–17 гг. будет иметь вид (рис. 3.3):

$$y=154,64-x_1 \cdot 5,75-x_2 \cdot 1,21-x_3 \cdot 0,00003+x_4 \cdot 0,003+x_5 \cdot 0,096.$$

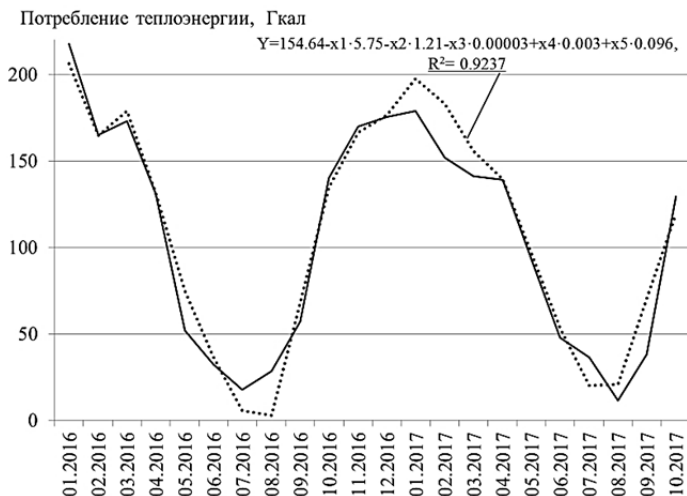


Рис. 3.3. Фактическая и прогнозная пятифакторная функции задания 3.2:
 — фактическое теплотребление; ••• — прогнозное теплотребление по
 пятифакторной прогнозной функции

Для рассмотренных примеров предприятия пищевой отрасли промышленности и здания для занятий водными видами спорта необходимо отметить:

1) использование в регрессионном анализе только «фактора наружная температура воздуха» позволяет существенно снизить погрешность прогноза с попаданием в диапазон 10% от фактических значений;

2) последующие использования дополнительных факторов приводят к незначительным дополнительным улучшениям точности прогнозной функции: использование двух факторов (задание 3.1) улучшило точности расчета на 0,14% относительно точности однофакторного прогноза; использование пяти факторов (задание 3.2) улучшило точности расчета на 5,1% относительно однофакторного прогноза.

Дальнейшее повышение точности прогноза требует объединенного использования расчетных моделей и генетических алгоритмов на основе нейронных сетей.

Контрольные задания

1. Перечислите преимущества и недостатки существующих методик определения базовой линии в сопоставимых условиях.
2. Опишите последовательность установления технического эффекта в соответствии с российскими документами.
3. Перечислите преимущества и недостатки последовательно-сти установления технического эффекта.
4. Перечислите составляющие формулы расчета нормализованной экономии.
5. Дайте определение базовой линии.
6. Перечислите факторы, влияющие на температуру в здании и необходимые для составления прогнозной функции для системы отопления здания.
7. Перечислите факты, относящиеся к «нестандартной корректировке к фиксированным условиям», необходимые к учету при составлении прогнозной функции для системы отопления здания.
8. Опишите и приведите пример сезонной зависимости при потреблении тепловой энергии.
9. Опишите и приведите пример недельной зависимости при потреблении тепловой энергии.
10. Опишите и приведите пример суточной зависимости при потреблении тепловой энергии.

4. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА МЕЖДУ ЗДАНИЕМ И ВНЕШНЕЙ СРЕДОЙ С РАЗНОЙ ТОПОЛОГИЕЙ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ С УЧЕТОМ РЕЛЬЕФА НАРУЖНОГО ОГРАЖДЕНИЯ ЗДАНИЯ

Согласно данным Аналитического центра при Правительстве Российской Федерации, потребление тепловой энергии в жилых домах даже одинаковых серий осуществляется крайне неоднородно, и может отличаться в 4 и более раз. Вот некоторые из причин, по которым здания одной серии могут иметь разную эффективность: неодинаковая ориентация здания по сторонам света, разная роза ветров

(искаженная городской застройкой), человеческий фактор (регулирование параметров комфорта по субъективному ощущению), технологический фактор (время, способ и погодные условия возведения здания, а также качество строительных материалов).

Актуальность необходимости учета влияние городской застройки на теплопотребление зданий обусловлена следующими причинами:

- имплементацией федерального закона от 23.11.2009 №261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты российской федерации»;

- следованием основной цели СОВК (систем отопления, вентиляции и кондиционирования) – при минимальных капитальных затратах обеспечить комфортные условия для пребывания работающих или отдыхающих людей;

- наличием высокой доли (порядка 30–40%) зданий «старой» постройки, возведение которых проводилось без учета современных требований по их энергетической эффективности;

- отсутствием учета в нормативных документах⁹ наличия городской застройки, которая способна повлиять на температурные и скоростные характеристики внешней воздушной среды у рассматриваемого здания и, следовательно, приводить к необходимости корректировки его теплопотребления, для поддержания заданных условий в помещениях.

Для достижения поставленной цели необходимо провести сравнительный анализ затрат тепловой энергии и денежных средств на отопление центрального и углового помещений здания по действующим нормам и нормам актуальным на момент его возведения для двух однотипных здания, расположенных в двух разных микрорайонах Москвы, имеющих разную плотность и структуру городской застройки. На основании математического моделирования теплообмена между зданием и внешней средой в условиях разной городской застройки рассчитать теплопотребление однотипных зданий в соот-

⁹ СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий / ВНИИСТ, 2003.

ветствии с действующими и актуальными, на момент их возведения, нормативными требованиями. Затем провести сопоставительный анализ результатов, полученных с помощью нормативных методов и математического моделирования. Основной упор при моделировании необходимо осуществлять на сопряженный теплообмен между зданием и внешней средой, параметры которой (температура и скорость) определяются особенностями городской среды.

На теплоснабжение зданий в настоящее время затрачивается около 430 млн т.у.т., или примерно 45% всех энергетических ресурсов, расходуемых в стране. Это в 2,3 раза больше, чем на производство электроэнергии. В холодные зимы эта цифра вырастает еще на 30–50 млн т.у.т. Годовое производство теплоэнергии оценивается в 2400–2460 млн. Гкал. На рис. 4.1 представлено долевое ее распределение по потребителям в г. Москва.



Рис. 4.1. Распределение теплопотребления по потребителям в г. Москва

Существует алгоритм¹⁰, позволяющий выявить дома, в которых удельное потребление тепловой энергии на цели отопления существенно

¹⁰ Гашо, Е. Инструменты анализа эффективности потребления тепловой энергии на цели отопления Энергосбережение – теория и практика: Труды седьмой Международной школы-семинара молодых ученых и специалистов. В 2 томах. – М.: Издательский дом МЭИ, 2014.

но выше среднего по анализируемой территории. Только после определения этой величины рекомендуется целенаправленно проводить энергоаудиты, планировать энергосервисные мероприятия и искать инвесторов. Расчет удельного потребления тепловой энергии на 1 кв. м полезной площади дома на примере жилых зданий ЮАО г. Москва определил значение среднего удельного потребления тепловой энергии на 1 кв. м полезной площади дома равным 0,226 Гкал на кв. метр в год. При этом выявлены 322 многоквартирных дома, удельное потребление которых превышает среднее по ЮАО более чем в 2 раза. Если бы удельное потребление по таким домам было на уровне среднего, то суммарное потребление тепловой энергии составило бы 260 694 Гкал. «Перепотребление» тепловой энергии по этим 322 домам составило 526 566 Гкал или в денежном эквиваленте «переплата» составила почти 906 млн рублей (в тарифах 2014 г.). Таким образом, фактически имеется финансовый ресурс в размере не менее 900 млн рублей ежегодно, который можно использовать для приведения этих же 322 домов в надлежащее теплотехническое состояние.

Современные нормативные методы расчета тепловой энергии, необходимой для поддержания комфортных условий в помещениях не в полной мере учитывают особенности протекания процесса тепломассообмена в теплозащитной оболочке зданий. Ярким примером, подтверждающим данный тезис, является факт использования большинством методик одномерного описание процессов переноса. Это происходит несмотря на то, что доля площади, где применима одномерная теплопередача, очень мала (рис. 4.2), где темным цветом выделена область с одномерным температурным полем.

Сопротивление теплоотдачи на поверхностях наружного ограждения много меньше его термического сопротивления, при рассмотрении одномерного случая теплопередачи. На этом основании делается вывод о необязательном или приближенном учете коэффициентов теплоотдачи, при выполнении теплотехнического расчета оболочки здания. Однако такое приближение является грубым, поскольку на теплоотдачу влияют: температура и степень черноты стенки, скорость и направление ветра, влажность воздуха и теплозащитной оболочки здания, ее состав и рельеф, а также ориентация

здания по сторонам света и его расположение среди других сооружений. Близко стоящие здания разной высоты могут создавать участки с разной скоростью и степенью турбулентности потока воздуха и, следовательно, иные условия теплообмена на их поверхностях. Не малую роль играют терморрадиационные свойства элементов, входящих в теплозащитную оболочку здания, которые могут значительно отличаться друг от друга, как по величине, так и по направлению.

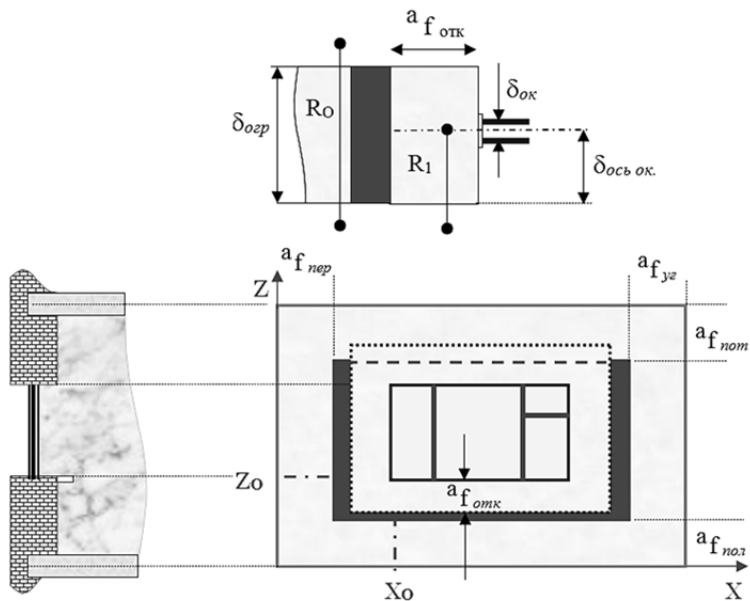


Рис. 4.2. Однооконное наружное ограждение

Рекомендуемые методы расчета, основанные на понятиях фактора формы или коэффициента неоднородности не могут быть использованы в местах, где процесс переноса теплоты имеет трехмерный характер, например, в зоне сопряжения наружного ограждения с окнами и отопительными приборами. Поэтому ряд исследователей разработали собственные методы или используют современные программные среды для моделирования сложного теплообмена, протекающего в элементах теплозащитной оболочки здания и на ее границах.

Выявление фактов ускоренного выхолаживания отдельных помещений здания целесообразнее выявлять посредством организации поквартирного учета объемов потребления тепловой энергии. Поквартирный учет потребления теплоэнергии в здании позволяет не только установить места с нерациональным использованием тепловой энергии, но и выявить разницу в оплате за отопление центральных и угловых помещений, находящихся под разным воздействием внешней среды. Последнее является очень важным для собственников квартир. Если поставщику тепловой энергии не важно распределение тепловой энергии по помещениям, то для собственников, в помещениях которых установлены счетчики, информация актуальна. Ясно, что собственники центральных и угловых помещений находятся не в равных условиях. Целесообразность учета данного факта подтверждает нормативный расчет, который указывает, что плата за отопление углового помещения может в $1,5 \div 2$ раза превышать плату за отопление центрального помещения.

Заметим, что в нормативной документации¹¹ не учтено влияние городской застройки, которая формирует условия теплообмена на наружной поверхности теплозащитной оболочки зданий. Отсюда следует.

1. Современные методы расчета, основанные на нормативных требованиях, не учитывают влияние городской застройки на величину наружного коэффициента теплоотдачи при расчете теплозащитной оболочки здания, что необходимо учитывать при определении теплопотребления помещениями зданий и сооружений.

2. Нормативные методы расчета теплозащитной оболочки зданий и системы отопления приводят к разному количеству тепловой энергии, необходимой для поддержания комфортных условий в угловом и центральном помещениях здания. Это связано с неодинаковой площадью наружных ограждений, размером и мощностью отопительных приборов, используемых для обеспечения требуемых параметров воздуха в сравниваемых помещениях.

¹¹ СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий / Госстрой России. – М.: ГУП ЦПП, 2003.

3. Здания, возведенные по старым нормативным требованиям, не удовлетворяют современным требованиям, что требует проведение энергосберегающих мероприятий для снижения и учета теплопотребления.

4. Введение поквартирного учета теплопотребления порождает проблему для жильцов, связанную со стоимостью квартир и услуг, необходимых для поддержания в них комфортных условий, чувствительных к условиям внешнего теплообмена.

Таким образом, для решения указанных проблем необходимо выполнить расчет теплозащитной оболочки существующих зданий в соответствии с действующими нормами, а также провести моделирование внешнего теплообмена для конкретного типа здания, расположенного в разных условиях городской застройки. Полученные результаты сравнить и предложить мероприятия по снижению теплопотребления для рассматриваемого типа зданий.

Задача 4.1

Проведем оценку затрат тепловой энергии и денежных средств на отопление центрального и углового помещений здания по действующим нормам.

Исходные данные

В соответствии с индивидуальными требованиями и санитарно-гигиеническими нормами в качестве комфортной температуры выбрано значение: $t_{\text{вн}} = 22 \text{ }^\circ\text{C}$. В качестве наружной температуры выбрана температура наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью 0,92 для города Москвы¹²: $t_{\text{нар}} = -28 \text{ }^\circ\text{C}$. Нормируемые значения сопротивления теплопередаче наружных ограждающих конструкций (НОК) приняты по табл. 4¹¹: для стен: $R_{W_{\text{норм}}} = 3,2 \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}$, а для окон: $R_{F_{\text{норм}}} = 0,54 \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}$. Коэффициенты теплоотдачи внутренней поверхности ОК приняты по табл. 7¹¹: для стен: $\alpha_{\text{внутр}_W} = 8,7 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$, а для окон: $\alpha_{\text{внутр}_F} = 8 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$. Коэффициент теплоотдачи внешней поверхности ОК: $\alpha_{\text{внешн}} = 23 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$.

¹² СНиП 23–01–99*. Строительная климатология / Госстрой России. – М.: ГУП ЦПП, 2003.

Параметры помещения: Высота окна: $h_F = 1,85$ м; Длина окна: $l_F = 1,4$ м.

Отсюда, площадь окна: $A_F = h_F \cdot l_F = 1,85 \cdot 1,4 = 2,59$ м².

Высота помещения: $h = 2,7$ м; Длина каждой стены: $l = 4$ м. Отсюда, площадь стены (без окна): $A_W = h_W \cdot l_W - h_F \cdot l_F = 2,7 \cdot 4 - 1,85 \cdot 1,4 = 8,21$ м².

Расчет.

Определение коэффициентов теплопередачи наружной стены и окна

$$k_W = \frac{1}{R_W} = \frac{1}{3,36} = 0,3 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}; \quad k_F = \frac{1}{R_F} = \frac{1}{0,71} = 1,41 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}},$$

где сопротивления теплопередаче через элементы НОК рассчитаны по следующим формулам для стены: $R_W = \frac{1}{\alpha_{\text{внутр}_W}} + R_{W_{\text{норм}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{внешн}}} = \frac{1}{8,7} + 3,2 + \frac{1}{23} = 3,36 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}$; для окна: $R_F = \frac{1}{\alpha_{\text{внутр}_F}} + R_{F_{\text{норм}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{внешн}}} = \frac{1}{8} + 0,54 + \frac{1}{23} = 0,71 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}$.

Определение потерь тепла через элементы НОК выполнено по формуле:

$$Q = k \cdot A \cdot \Delta t \cdot (1 + \Sigma\beta) \cdot n,$$

где k – коэффициент теплопередачи, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}$; A – площадь конструкции, м²; Δt – разность температур между помещением и окружающей средой, °C; $\Delta t = t_{\text{вн}} - t_{\text{нар}} = 50$ °C; $n = 1$ – коэффициент, учитывающий ориентацию наружной поверхности ОК по отношению к наружному воздуху; $(1 + \Sigma\beta)$ – поправка на добавочные потери через ограждения¹³. Для центрального помещения рассмотрены 2 случая: $\beta_{\text{ц1}} = 0,05$ и $\beta_{\text{ц2}} = 0,1$. Для углового помещения: $\beta_{\text{угл}} = 0,15$.

Решение.

На рис. 4.3–4.4 представлены суммарные потери тепла через НОК центрального и углового помещений, а также разница в тепловых потерях между этими помещениями.

¹³ СНиП 41-01-2003 Отопление, вентиляция и кондиционирование / Госстрой России. – М.: ГУП ЦПП, 2003



Рис. 4.3. Суммарные потери тепла через НОК, Вт

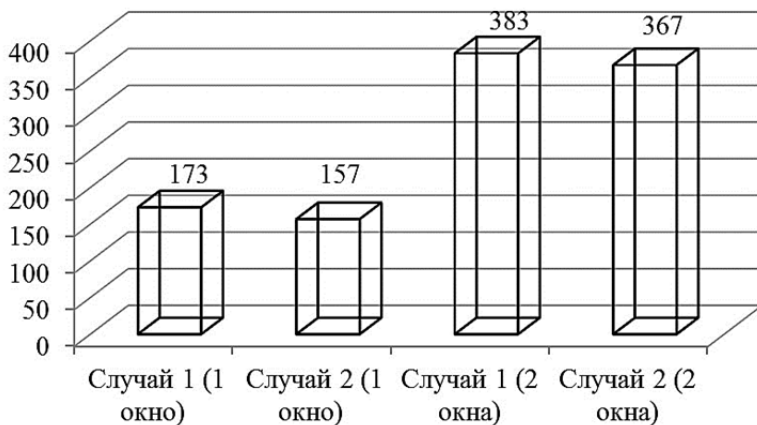


Рис. 4.4. Разница в тепловых потерях между угловыми и центральными помещениями, Вт

Экономический расчет

Поскольку $1 \text{ Гкал} = 4186,8 \text{ МДж}$, а ее цена: $\mu_{\text{Гкал}} = 1720,9 \frac{\text{руб}}{\text{мес}}$, то цена за 1 Дж в месяц составит $\mu_{\text{Дж}} = \frac{\mu_{\text{Гкал}}}{418680000 \text{ Дж}} = 4,11 \cdot 10^{-7} \text{ руб.}$, т.к. $1 \text{ Вт} = 2592 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{мес}}$, значит цена за 1 Вт в месяц будет $\mu_{\text{Вт}} = 1,07 \text{ руб.}$

Поэтому, стоимость отопления в месяц для центрального помещения для каждого из двух вариантов будет:

$$M_{\text{ц1}} = \mu_{\text{Вт}} \cdot \Sigma Q_{\text{ц1}} = 1,07 \cdot 321 = 344 \text{ руб.},$$

$$M_{\text{ц2}} = \mu_{\text{Вт}} \cdot \Sigma Q_{\text{ц2}} = 1,07 \cdot 337 = 361 \text{ руб.},$$

а для углового помещения с 1-им и 2-мя окнами стоимость отопления в месяц составит:

$$M_{\text{угл1}} = \mu_{\text{Вт}} \cdot \Sigma Q_{\text{угл1}} = 1,07 \cdot 494 = 529 \text{ руб.};$$

$$M_{\text{угл2}} = \mu_{\text{Вт}} \cdot \Sigma Q_{\text{угл2}} = 1,07 \cdot 704 = 753 \text{ руб.}$$

Разница в стоимости отопления между угловым (1 окно) и центральным помещениями в месяц будет:

$$\Delta M_{\text{угл1_ц1}} = M_{\text{угл1}} - M_{\text{ц1}} = 529 - 344 = 185 \text{ руб.};$$

$$\Delta M_{\text{угл1_ц2}} = M_{\text{угл1}} - M_{\text{ц2}} = 529 - 361 = 168 \text{ руб.}$$

Разница в стоимости отопления между угловым (2 окна) и центральным помещениями в месяц составит:

$$\Delta M_{\text{угл2_ц1}} = M_{\text{угл2}} - M_{\text{ц1}} = 753 - 344 = 409 \text{ руб.};$$

$$\Delta M_{\text{угл2_ц2}} = M_{\text{угл2}} - M_{\text{ц2}} = 753 - 361 = 392 \text{ руб.}$$

Как видно из расчета, величина тепловых потерь через элемент ограждающей конструкции, а также величина соответствующих денежных затрат на отопление для углового помещения, может в 1,5–2 раза превышать аналогичные величины для центрального помещения.

Для осуществления численного моделирования теплообмена между зданием и внешней средой с разной топологией городской застройки выполним построение математической модели. Процесс теплообмена в условиях городской застройки описывается системой дифференциальных уравнений, которая в декартовой системе координат имеет вид:

Уравнение неразрывности

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho U}{\partial x} + \frac{\partial \rho V}{\partial y} + \frac{\partial \rho W}{\partial z} = 0 . \quad (4.1)$$

Уравнение сохранения импульса:

- по координате x (скорость U):

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho U}{\partial t} + U \frac{\partial \rho U}{\partial x} + V \frac{\partial \rho U}{\partial y} + W \frac{\partial \rho U}{\partial z} = - \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_{\text{ЭФ}} \frac{\partial U}{\partial x} \right) \\ + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_{\text{ЭФ}} \frac{\partial U}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu_{\text{ЭФ}} \frac{\partial U}{\partial z} \right) + g_X \rho \beta \Delta T; \end{aligned} \quad (4.2)$$

- по координате y (скорость V):

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho V}{\partial t} + U \frac{\partial \rho V}{\partial x} + V \frac{\partial \rho V}{\partial y} + W \frac{\partial \rho V}{\partial z} = - \frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_{\text{ЭФ}} \frac{\partial V}{\partial x} \right) \\ + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_{\text{ЭФ}} \frac{\partial V}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu_{\text{ЭФ}} \frac{\partial V}{\partial z} \right) + g_Y \rho \beta \Delta T; \end{aligned} \quad (4.3)$$

- по координате z (скорость W):

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho W}{\partial t} + U \frac{\partial \rho W}{\partial x} + V \frac{\partial \rho W}{\partial y} + W \frac{\partial \rho W}{\partial z} = - \frac{\partial P}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_{\text{ЭФ}} \frac{\partial W}{\partial x} \right) \\ + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_{\text{ЭФ}} \frac{\partial W}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu_{\text{ЭФ}} \frac{\partial W}{\partial z} \right) + g_Z \rho \beta \Delta T; \end{aligned} \quad (4.4)$$

Уравнение сохранения энергии:

$$\begin{aligned} \frac{\partial T}{\partial t} + U \frac{\partial T}{\partial x} + V \frac{\partial T}{\partial y} + W \frac{\partial T}{\partial z} = \frac{1}{\rho C_p} \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_{\text{ЭФ}} \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \\ + \frac{1}{\rho C_p} \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda_{\text{ЭФ}} \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{1}{\rho C_p} \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda_{\text{ЭФ}} \frac{\partial T}{\partial z} \right) + q_V. \end{aligned} \quad (4.5)$$

Уравнение кинетической энергии турбулентных пульсаций:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho K}{\partial t} + U \frac{\partial \rho K}{\partial x} + V \frac{\partial \rho K}{\partial y} + W \frac{\partial \rho K}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\Gamma \frac{\partial K}{\partial x} \right), \\ + \frac{\partial}{\partial y} \left(\Gamma \frac{\partial K}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\Gamma \frac{\partial K}{\partial z} \right) + Gk - \rho \epsilon, \end{aligned} \quad (4.6)$$

где: $Gk = \mu_t \frac{\partial u}{\partial x_I} \left(\frac{\partial u_J}{\partial x_I} + \frac{\partial u_I}{\partial x_J} \right)$, $\mu_t = C_\mu \frac{\rho K^2}{\varepsilon}$, $\mu_{\text{ЭФ}} = \mu + \mu_t$,

$$\Gamma = \mu_{\text{ЭФ}} / \sigma_K$$

Уравнение диссипации турбулентной энергии:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho \varepsilon}{\partial t} + U \frac{\partial \rho \varepsilon}{\partial x} + V \frac{\partial \rho \varepsilon}{\partial y} + W \frac{\partial \rho \varepsilon}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\Gamma \varepsilon \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} \right) + \\ + \frac{\partial}{\partial y} \left(\Gamma \varepsilon \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\Gamma \varepsilon \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} \right) + C_1 Gk \frac{\varepsilon}{K} - C_2 \rho \frac{\varepsilon^2}{K}, \end{aligned} \quad (4.7)$$

где $\Gamma \varepsilon = \mu_{\text{ЭФ}} / \sigma_E$.

Для описания движения воздуха в городской застройке использована стандартная k - ε модель турбулентности, константы которой имеют следующие значения: $\sigma_K = 1,0$; $\sigma_E = 1,3$; $C_1 = 1,44$; $C_2 = 1,92$; $C_\mu = 0,09$. Расчет коэффициента теплоотдачи рассчитывался по алгоритму.

1. Исходные данные: Теплотехнические параметры микрорайона, граничные условия, шаг сетки, стандартная k - ε модель турбулентности.

2. Определение длины пути смешения, турбулентной вязкости, ламинарного и турбулентного числа Прандтля, толщины вытеснения и потери импульса.

3. Определение числа Рейнольдса и пристенной функции SKIN.

4. Расчет напряжения и сопротивления.

5. Определение пристенной функции STAN.

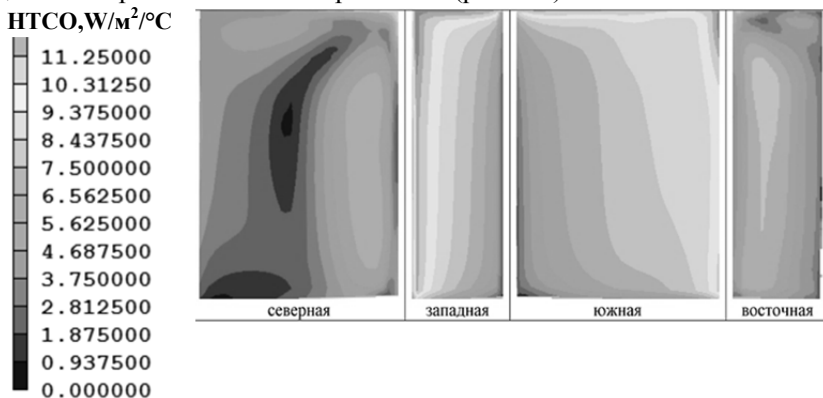
6. Расчет коэффициента теплоотдачи.

Численное моделирование процесса, описываемого уравнениями (4.1–4.7), в условиях городской застройки выполнено в программном комплексе PHOENICS. При этом учитывались следующие условия на границах воздушной среды моделируемого микрорайона:

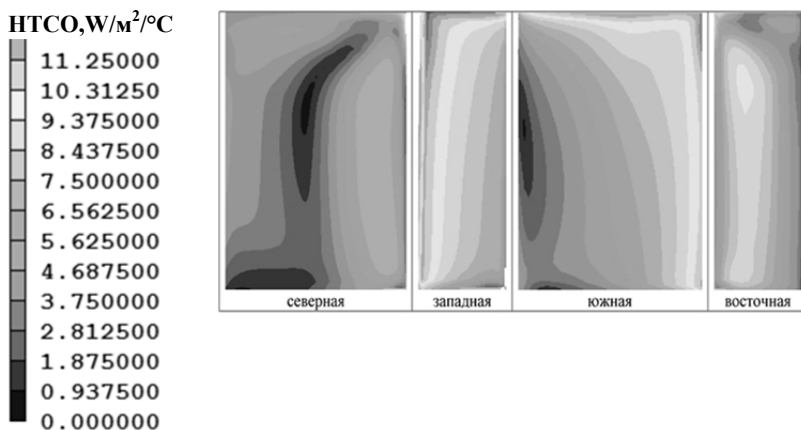
- изменение скорости ветра по высоте – по степенному закону;
- доминирующее направление ветра для г. Москва – ЮЗ;

- тепловая оболочка здания заменялась эквивалентной (по термическому сопротивлению) и однородной по каждой стороне здания.

Сопоставительный анализ результатов, полученных для зданий одной серии, расположенных в разных микрорайонах Москвы, показал, что наибольшая неравномерность распределения коэффициента теплоотдачи наблюдается на наружной поверхности равно-высотных зданий в горизонтальном направлении (рис. 4.5).



а)



б)

Рис. 4.5. Распределение коэффициента теплоотдачи по сторонам исследуемого здания в 1-ом (а) и во 2-ом (б) микрорайонах

Это означает, что для поддержания комфортных условий в помещениях, расположенных на одном и том же этаже здания, потребуется разное количество теплоты, т.е. на стоимость проживания в квартирах будет влиять плотность и структура городской застройки.

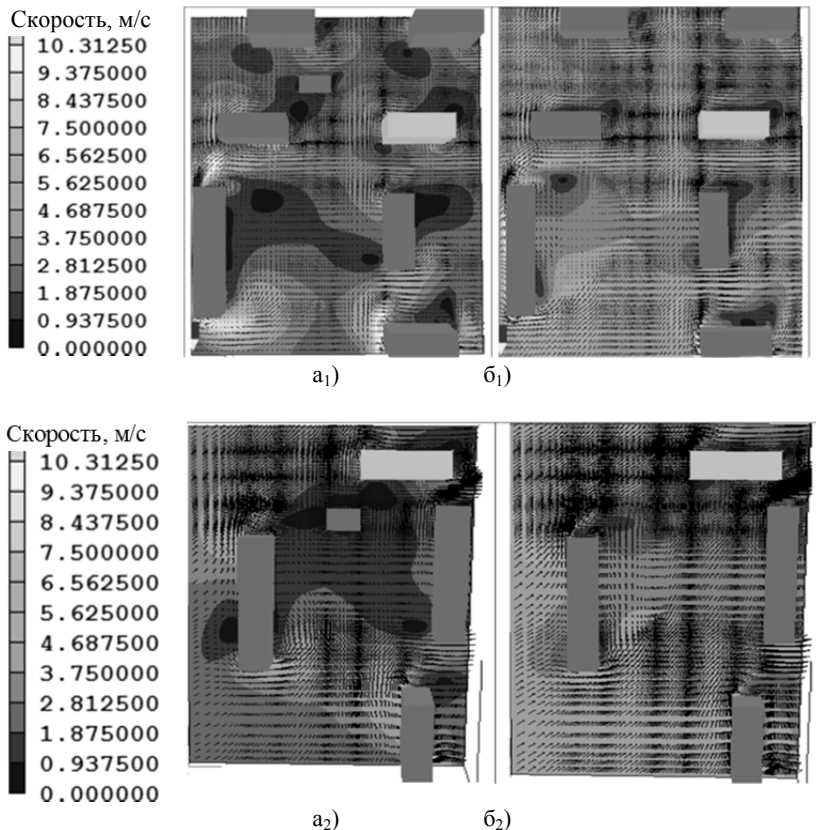


Рис. 4.6. Поле скоростей на высоте 2 м (а) и 25 м (б) в 1-ом и во 2-ом микрорайонах¹⁴

Поэтому при планировании энергосберегающих мероприятий, повышающих энергетическую эффективность зданий, необходимо учи-

¹⁴ Афонина, Г.Н. Влияние структуры микрорайона на особенности внешнего теплообмена и теплопотребления однотипных зданий / Г.Н. Афонина, В.С. Глазов, Э.К. Фелькер // Вестник МЭИ, 2016. №5. – С.113–122.

тывать топологию городской застройки, которая формирует поле скоростей воздушной среды (рис. 4.6) и, тем самым, определяет интенсивность теплообмена на поверхностях теплозащитной оболочки зданий.

В табл. 4.1 представлены данные натурных исследований, а также результаты расчетов, полученных по нормативному методу и данным математического моделирования.

Таблица 4.1

**Удельные тепловые потери зданий серии П-68-01,
расположенных в разных микрорайонах ЮАО в г. Москве**

Параметр	Здание в 1-ом микрорайоне			Здание во 2-ом микрорайоне		
	Факт	Нормативный метод	ММ	Факт	Нормативный метод	ММ
q , кВт·ч/м ²	535	154	130	628	154	135

Учитывая, что нормируемое значение целевого удельного показателя энергетической эффективности в Москве с 01.01.2016¹⁵ составляет 57 кВт·ч/м², а также, что отклонение расчетного и фактического значений удельного расхода тепловой энергии от нормативного значения составляет более 50%, приходим к выводу, что рассматриваемые здания имеют класс энергетической эффективности Е. В этом случае органам администраций субъектов РФ рекомендуется «немедленное утепление здания».

На рис. 4.7 сопоставлены затраты на теплопотребление зданий одной серии, расположенных в разных микрорайонах Москвы. Видно, что для здания в 1-ом микрорайоне экономия составляет 13% от годового теплопотребления, а для здания во 2-ом микрорайоне – 12%, т.е. влияние городской застройки на теплопотребление здания в целом незначительно.

В табл. 4.2 сведены значения тепловых потерь для центральных и угловых помещений, расположенных на «средних» и «верхних» этажах зданий в рассматриваемых микрорайонах.

¹⁵ Постановление Правительства Москвы (ППМ) № 900-ПП от 5 октября 2010 года «О повышении энергетической эффективности жилых, социальных и общественно-деловых зданий в городе Москве».

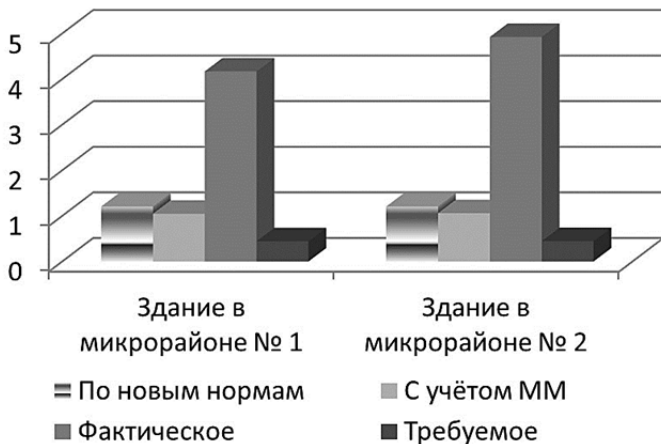


Рис. 4.7. Затраты на теплотребление однотипных зданий в разных микрорайонах

Таблица 4.2

Тепловые потери средними, верхними и угловыми помещениями однотипных зданий, расположенных в микрорайонах №1 и №2

Помещение	$\Sigma Q, \text{Вт}$				$\Sigma q, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$			
	Норматив							
Центральное	339				35			
Угловое	537				39			
Расчетные значения								
	Здание № 1		Здание № 2		Здание № 1		Здание № 2	
этажи	Средн.	Верхн.	Средн.	Верхн.	Средн.	Верхн.	Средн.	Верхн.
Центральное 1	303	310	273	307	31	32	28	32
Центральное 2	312	312	307	312	32	32	32	32
Угловое	464	490	396	482	32	35	25	34

На рис. 4.8–4.9 указана разница в тепловых потерях между помещениями в рамках одного здания и между зданиями, расположенными в разных микрорайонах Москвы.

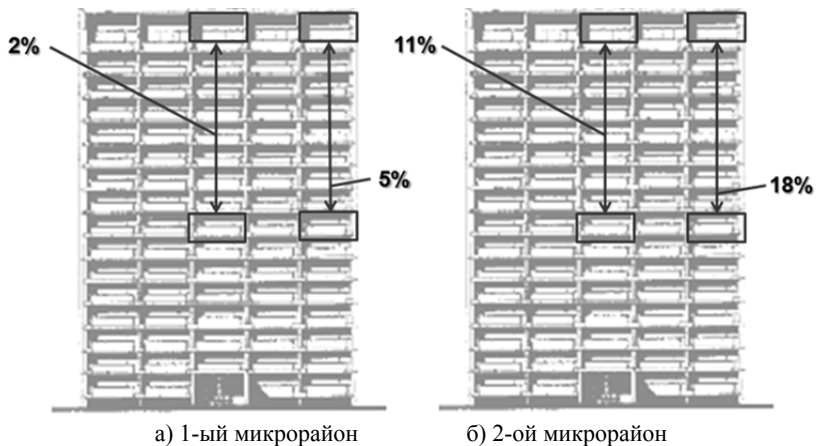


Рис. 4.8. Отличие удельных тепловых потерь для центральных и угловых помещений в зависимости от высоты этажа (средние/верхние), %

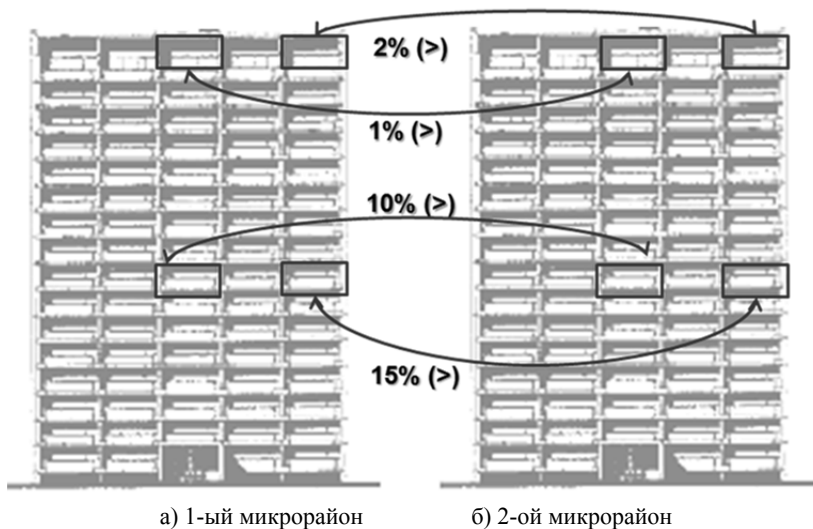


Рис. 4.9. Отличие удельных тепловых потерь для центральных и угловых помещений на средних/верхних этажах в зависимости от микрорайона, %

На рис. 4.8–4.9 наглядно продемонстрировано локальное влияние городской застройки на теплотребление помещениями рассматриваемых зданий.

В современных нормативных документах (ГОСТы, СНиПы и т.д.) расчет сопротивления теплопередачи наружных ограждений зданий основан на одномерном процессе переноса теплоты через плоскую стенку. Однако существует огромное количество зданий, наружная поверхность которых имеет архитектурные выступы (лепнина, карнизы), отдельные фрагменты которых показаны на рис. 4.10. Подобного типа выступы (ребра) различной формы могут приводить к увеличению теплоотдачи, что используется в теплообменных аппаратах. Поэтому оценка величины влияния параметров и формы подобных выступов (ребер) на тепловые потери через элементы наружного ограждения здания представляет научный и практический интерес.



Рис. 4.10. Элементы наружного ограждения здания

Для получения зависимости теплоотдачи ребра от его высоты использовалась программа Mathcad. Все расчеты сделаны при постоянной массе ребра.

Целевая функция

$$Q_{\text{реб}} \Rightarrow \max(\min). \quad (4.8)$$

Ограничения ДУТ:

$$\frac{d^2\theta}{dx^2}(X) = Bi \cdot \theta(X), 0 < X < 1, \quad (4.9)$$

где $X = \frac{x}{H}, 0 < x < H, \theta(X) = \frac{t(x)-t_b}{t_0-t_b}$,

$$Bi = \frac{\alpha \cdot \Pi \cdot H^2}{\lambda \cdot F}, \quad F = \delta \cdot L$$

Гр. Усл.: $\theta(X) = 0, X = 0, \quad (4.10)$

$$-\left. \frac{d\theta}{dx} \right|_{X=1} = \frac{\alpha H}{\lambda} \cdot \theta|_{X=1}, \quad (4.11)$$

Аналитическое решение задачи (4.9–4.11) для расчета потока и распределения температуры по высоте прямоугольного ребра имеет следующий вид

$$\theta(X) = \frac{\cosh[(1-X) \cdot \sqrt{Bi}] + \sqrt{Bi} \cdot \frac{F}{\Pi \cdot H} \cdot \sinh[(1-X) \cdot \sqrt{Bi}]}{\cosh(\sqrt{Bi}) + \sqrt{Bi} \cdot \frac{F}{\Pi \cdot H} \cdot \sinh(\sqrt{Bi})}; \quad (4.12)$$

$$Q_{\text{реб}} = \sqrt{Bi} \cdot \frac{\lambda F}{H} (t_0 - t_b) \cdot [\sinh(\sqrt{Bi}) + \sqrt{Bi} \cdot \frac{F}{\Pi H} \cdot \cosh(\sqrt{Bi})] / [\cosh(\sqrt{Bi}) + \sqrt{Bi} \cdot \frac{F}{\Pi H} \cdot \sinh(\sqrt{Bi})] \quad (4.13)$$

Процедура решения данной задачи выполнена для 3-х видов материалов (алюминий, сталь и кирпич керамический). Графическая иллюстрация полученного решения представлена на рис. 4.11.

Исследования показали, что высота выступов прямоугольной формы при одной и той же их массе по-разному влияет на теплоотдачу. Установлено, что ребра из материала с высоким коэффициентом теплопроводности имеют два экстремума (локальные минимум и максимум). Если прямоугольное ребро имеет теплоизолированный торец, то при неизменной материалаемкости увеличение коэффициента теплопроводности не приводит к смещению локального минимума, но сдвигает локальный максимум в сторону больших высот ребра и значений теплового потока. Если же торец ребра не теплоизолирован и его масса не меняется, то рост коэффициента теплопроводности ребра смещает указанные экстремумы в область больших его высот и значений теплового потока. Уменьшение величины коэффициента теплопроводности ребра приводит к исчезновению локальных экстремумов.

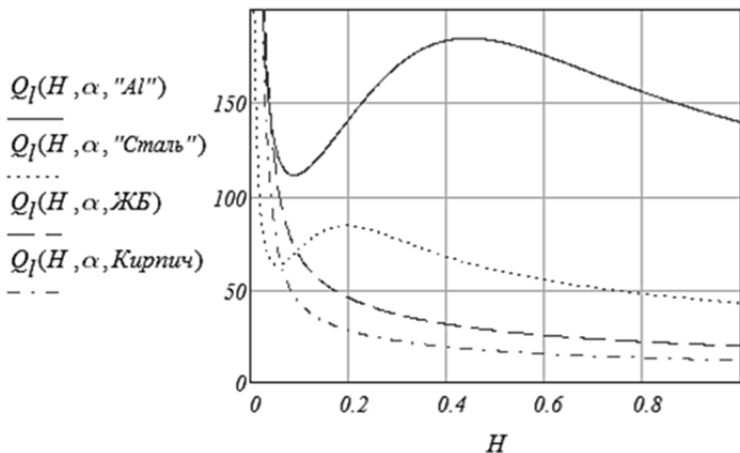


Рис. 4.11 а. Зависимость теплоотдачи ребра от его высоты для различных материалов, но одинаковой массы

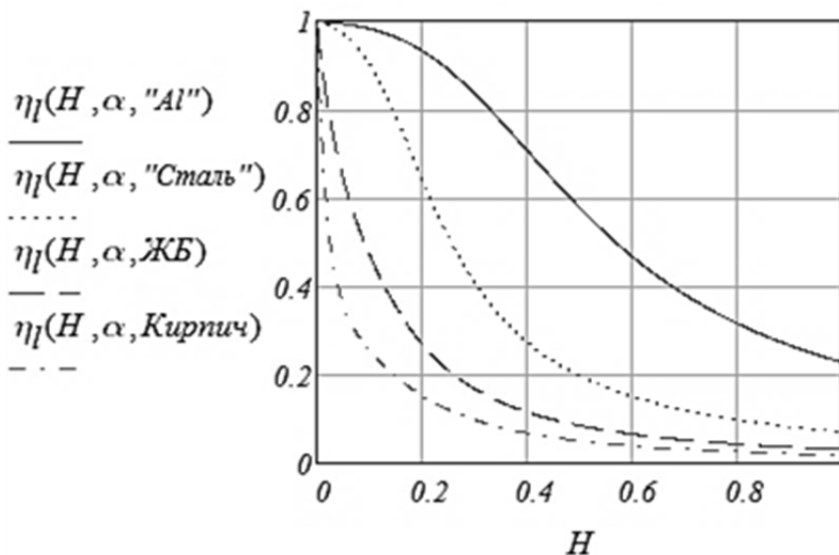


Рис. 4.11 б. Зависимость эффективности одиночного прямоугольного ребра от его высоты для различных материалов одинаковой массы

Задача 4.2

Рассчитать влияние параметров прямоугольного ребра (из керамического кирпича) на величину его теплоотдачи (теплового потока).

Исходные данные:

Теплофизические свойства прямоугольного ребра из керамического кирпича: плотность $\rho=1400 \text{ кг/м}^3$; коэффициент теплопроводности $\lambda = 0,58 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$;

Геометрические параметры ребра:

Длина – $L = 1 \text{ м}$; Толщина – $\delta = 0,5 \text{ м}$; Высота – $H = 0,06 \text{ м}$.

Материалоемкость ребра при массе $m = 42 \text{ кг}$:

$Me = \delta \cdot H = m/(\rho L) = 42/1400 \cdot 1 = 0,03 \text{ м}^2$.

Температура в основании ребра:

$$t_0 = t_{\text{ст}} - \alpha_{\text{вн}} \cdot R_{\text{ст}} \cdot (t_{\text{пом}} - t_{\text{ст}}) = -12 \text{ }^\circ\text{C}, \quad (4.13)$$

где $t_{\text{пом}} = 21^\circ\text{C}$ – температура внутри помещения¹⁶, $t_{\text{ст}} = 19,5^\circ\text{C}$ – температура внутренней стенки помещения¹⁷, $R_{\text{ст}} = 2,41 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ – требуемое сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции для г. Москва, $\alpha_{\text{вн}} = 8,7 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$ – коэффициент теплоотдачи от воздуха к внутренней стенке помещения.

Параметры внешнего теплообмена: $\alpha_{\text{нар}} = 23 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$ – коэффициент теплоотдачи на поверхности ребра; Температура окружающей среды – $t_{\text{в}} = -25 \text{ }^\circ\text{C}$ ¹⁸. Здесь: L – ширина ребра, м; δ – толщина ребра, м; H – высота ребра, м; Me – материалоемкость, м^2 ; m – масса ребра, кг; α – коэффициент теплоотдачи, $\text{Вт/м}^2 \cdot \text{К}$; t – температура, $^\circ\text{C}$; λ – коэффициент теплопроводности, $\text{Вт/м}\cdot\text{К}$; $Q_{\text{реб}}$ – тепловой поток через поверхность ребра, Вт; X – безразмерная координата; x – координата вдоль оси абсцисс; Π – периметр ребра, м; F – площадь ребра, м^2 ; $Z_{\text{от}}$ – количество суток отопительного периода, сут; S – стоимость тепловой энергии, руб.; Индексы: 0 – основание ребра; в – окружающая среда.

¹⁶ ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях.

¹⁷ СП 50.133.2012 Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003.

¹⁸ СП 131.13330.2012 Строительная климатология. Актуализированная версия СНиП 23-01-99.

Решение

Величина теплового потока, от рассматриваемого в примере ребра к наружному воздуху, составляет 22,5 Вт. При увеличении высоты ребра, тепловой поток будет уменьшаться. Рассмотрим несколько случаев для различных высот ребра. Графическая иллюстрация полученного решения представлена на рис. 4.12.

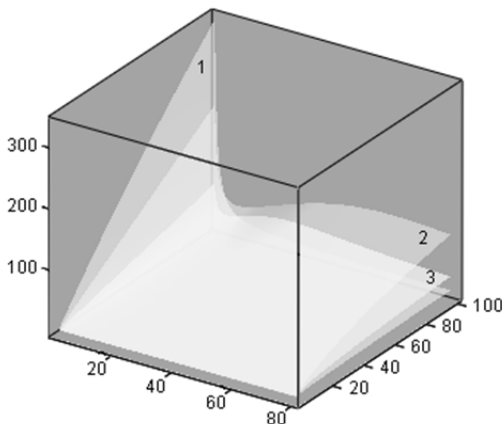


Рис. 4.12. Зависимость теплоотдачи ребра из керамического кирпича (1), алюминия (2) и стали (3) от его высоты при одной и той же массе

Увеличение высоты ребра в 2 раза

Если увеличить высоту ребра в 2 раза ($H = 0,12$ м), величина теплового потока с 1 м его длины будет равна 15,4 Вт. В этом случае тепловой поток с 1 м длины ребра уменьшится на величину

$$\Delta Q_{\text{реб}} = Q_1 - Q_2 = 22,5 - 15,4 = 7,1 \text{ Вт.} \quad (4.14)$$

В год это составит:

$$\Delta Q_{\text{реб}} \cdot Z_{\text{от}} \cdot 24 = 7,1 \cdot 205 \cdot 24 = 34,9 \text{ кВт} \cdot \text{ч/год}, \quad (4.15)$$

где $Z_{\text{от}} = 205$ – количество суток отопительного периода для г. Москва.

Переведем это количество теплоты в Гкал:

$$\Delta Q_{\text{Гкал}} = \Delta Q_{\text{реб}} \cdot 0,00086 = 0,03 \text{ Гкал/год.}$$

По данным на февраль 2017 г.: ПАО «МОЭК» и иные организации – тариф на тепловую энергию (покупка, производство, передача)

ча тепловой энергии по тепловым сетям с учетом расходов на содержание тепловых сетей) для населения г. Москва с учетом НДС составляет 2101,52 руб./Гкал.

Годовая экономия при проведении данного мероприятия составит:

$$\Delta S = \Delta Q_{\text{Гкалл}} \cdot S_{\text{Гкалл}} \cdot N_p = 0,03 \cdot 2101,52 \cdot 50 = 3150 \text{ руб./год.},$$

где $N_p = 50$ – количество рассматриваемых ребер длиной в 1 м рассматриваемого здания (рис. 4.12).

Увеличение высоты ребра в 4 раза

Если увеличить высоту ребра в 4 раза ($H = 0,24$ м), то величина теплового потока с 1 м ребра снизится до 10,8 Вт. В этом случае разница в количестве теплоты отдаваемой в единицу времени поверхностью ребра длиной в 1 м, составит:

$$\Delta Q_{\text{реб}} = Q_1 - Q_2 = 22,5 - 10,8 = 11,7 \text{ Вт.}$$

В год это составит:

$$\Delta Q_{\text{реб}} \cdot N = 11,7 \cdot 205 \cdot 24 = 57,6 \text{ кВт} \cdot \text{ч/год.}$$

Переведем количество теплоты в Гкал:

$$\Delta Q_{\text{Гкалл}} = \Delta Q_{\text{реб}} \cdot 0,00086 = 0,05 \text{ Гкал/год.}$$

Годовая экономия при проведении данного мероприятия составит:

$$\Delta S = \Delta Q_{\text{Гкалл}} \cdot S_{\text{Гкалл}} \cdot N_p = 0,052 \cdot 2101,52 \cdot 50 = 5300 \text{ руб./год.}$$

Увеличение высоты ребра в 6 раз

Если увеличить высоту ребра в 6 раз ($H = 0,36$ м), величина теплового потока с 1 м ребра снизится до 8,8 Вт. Разница в количестве теплоты, отдаваемой в единицу времени поверхностью ребра длиной в 1 м, составит:

$$\Delta Q_{\text{реб}} = Q_1 - Q_2 = 22,5 - 8,8 = 13,7 \text{ Вт.}$$

В год это составит:

$$\Delta Q_{\text{реб}} \cdot N = 13,7 \cdot 205 \cdot 24 = 67,4 \text{ кВт} \cdot \text{ч/год.}$$

Переведем количество теплоты в Гкал:

$$\Delta Q_{\text{Гкалл}} = \Delta Q_{\text{реб}} \cdot 0,00086 = 0,058 \text{ Гкал/год.}$$

Годовая экономия при проведении данного мероприятия составит:

$$\Delta S = \Delta Q_{\text{Гкалл}} \cdot S_{\text{Гкалл}} = 0,058 \cdot 2101,52 \cdot 50 = 6100 \text{ руб./год.}$$

Увеличение высоты ребра в 8 раз

Если увеличить высоту ребра в 8 раз ($H = 0,48$ м), величина теплового потока снизится до 7,6 Вт. Разница в количестве теплоты, отдаваемой в единицу времени ребром в 1 м, составит:

$$\Delta Q_{\text{реб}} = Q_1 - Q_2 = 22,5 - 7,6 = 14,9 \text{ Вт.}$$

В год это составит:

$$\Delta Q_{\text{реб}} \cdot N = 14,9 \cdot 205 \cdot 24 = 73,3 \text{ кВт}\cdot\text{ч/год.}$$

Переведем количество теплоты в Гкал:

$$\Delta Q_{\text{Гкал}} = \Delta Q_{\text{реб}} \cdot 0,00086 = 0,063 \text{ Гкал/год.}$$

Годовая экономия при проведении данного мероприятия составит:

$$\Delta S = \Delta Q_{\text{Гкал}} \cdot S_{\text{Гкал}} = 0,058 \cdot 2101,52 \cdot 50 = 6625 \text{ руб./год.}$$

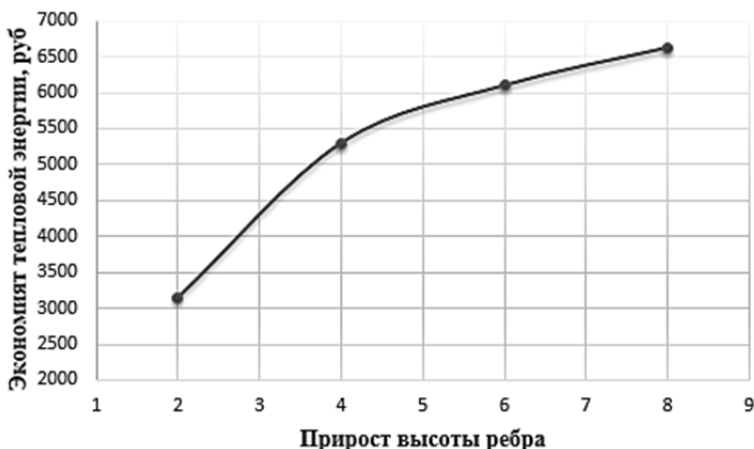


Рис. 4.13. Влияние высоты ребра на снижение (экономия) тепловой энергии, передаваемой наружному воздуху

Относительная простота приведенных расчетов на практике проектирования полностью нивелируется необходимостью расчета сотен различных элементов для каждого здания. Решением вопроса массовости однотипных расчетов может стать только использование автоматизированных программных комплексов. Рассмотрим наиболее распространенные из них, а также предоставляемые возможности

по численному моделированию теплообмена между зданием и внешней средой с разной топологией городской застройки с учетом рельефа наружного ограждения здания.

1. Allplan – это система автоматизированного проектирования (САПР), созданная компанией Nemetschek Allplan Systems GmbH, являющимся дочерним предприятием концерна Nemetschek AG. Программный продукт объединяет в себе следующие блоки для строительного проектирования: архитектура, дизайн, сметы, строительные объемы, инженерные системы зданий, генпланирование, металлоконструкции, железобетонные конструкции. Доступна русскоязычная версия. Выполнена совместимость с Российскими сметными системами и системами расчета конструкций SCAD и ЛИРА.

Программное обеспечение, использующее объектно-ориентированную технологию 3-D BIM, предлагает автоматическое сопряжение инженерных систем, элементов здания и арматурных изделий; автоматическую корректировку изменений в проектах; автоматическое создание планов, видов, разрезов и проекций. Мощный набор визуализационных алгоритмов позволяет создавать объемную анимацию проектируемых объектов с учетом освещения, теней, виртуальный проход по зданию/облет, формировать фотореалистичное изображение. Производителями заявляется, что система обеспечивает точность проектирования и количественных расчетов в соответствии с действующими СНиП.

Программный продукт обеспечивает совместимость созданных проектов с другими графическими, расчетными и сметными системами. Позволяет осуществлять выгрузки в сторонние системы проектирования инженерных сетей ОВ/ВК, расчета железобетонных и металлоконструкций. Для системы отопления рассматриваемый САПР способен самостоятельно соединить точки нагрузки с элементами трассы, определить сечения, фасонные части и сбалансировать систему. В части численного моделирования теплообмена между зданием и внешней средой система расчетов не выполняет.

2. Graphisoft MEP Modeler – это расширение для САПР ArchiCAD, выпускаемое компанией Graphisoft и предназначенное для работы с инженерными сетями. Аббревиатура MEP означает

Mechanical-Electrical-Plumbing (Вентиляция – Электрика – Водоснабжение и Канализация). MEP Modeler позволяет создавать, редактировать или импортировать трехмерные инженерные сети и выполнять поиск несоответствий сопряжения элементов с конструктивными элементами Информационной Модели Здания ArchiCAD.

Graphisoft MEP Modeler позволяет создавать трассы инженерных сетей (воздуховодов, трубопроводов и кабельных лотков) или импортировать их из различных приложений трехмерного инженерного проектирования. Встроенная функция поиска несоответствий сопряжения элементов предназначена для автоматического обнаружения пересечений инженерных сетей с такими конструктивными элементами виртуального здания ArchiCAD, как колонны, балки, стены, перекрытия, элементы кровли и т.п. Существует возможность сетевой рассылки смежным специалистам информации о найденных несоответствиях в виде сообщения формата BCF. При установке программного обеспечения MEP Modeler у всех ОВ и ВК-элементов, входящих в стандартную Библиотеку ARCHICAD, появляются функции автоматического подключения к проектируемым инженерным сетям. Функция численного моделирования теплообмена между зданием и внешней средой система расчетов не встроена в данное программное приложение.

3. Система nanoCAD Инженерный BIM последовательно реализует основной принцип проектирования Open BIM: построение единой информационной модели с помощью наиболее подходящих и проверенных временем инструментов. В состав САПР входит nanoCAD Электро, nanoCAD ОПС, nanoCAD СКС, nanoCAD ВК, nanoCAD Отопление и nanoCAD Plus. Информационные модели инженерных сетей, выполненные в САПР nanoCAD Инженерный BIM распознаются большинством САПР: ARCHICAD, Revit, Allplan и пр., а также способны к интегрированию в общую информационную модель проектируемого объекта на любой BIM-платформе.

Программы nanoCAD содержат следующие модули расчета инженерных систем: расчет расходов воды по СНиП 2.04.01-85 и СП 30.13330.2012; гидравлический расчет по СНиП 2.04.01-85 и СП 30.13330.2012; гидравлический расчет циркуляционных колец

по СНиП 41-01-2003; тепловой расчет приборов отопления по СНиП 41-01-2003; автоматическая балансировка системы с помощью балансировочных клапанов по СНиП 41-01-2003; расчет освещенности; расчет электрических нагрузок; расчет токов короткого замыкания; расчет потери напряжения; расчет токов утечки; расчет температуры нагрева кабеля при протекании тока короткого замыкания; расчет необходимого количества извещателей; расчет уровня звука оповещателей в контрольной точке; расчет углов и зон обзора видеокамер системы видеонаблюдения; расчет токовой нагрузки на шлейфах; расчет токовой нагрузки на РИП; расчет емкости аккумуляторных батарей РИП. Модули САПР nanoCAD не содержат функции численного моделирования теплообмена между зданием и внешней средой.

4. MagiCAD Вентиляция для AutoCAD – это мощная система автоматического проектирования, содержащая блоки разработки систем вентиляции, трубопроводов, сплинклерных систем, систем электроснабжения, электрических слаботочных схем. Удобное сочетание функций черчения и расчетов позволяет эффективно выполнять проекты практически сложности. Отличительными особенностями САПР MagiCAD являются удобные функции черчения и редактирования воздуховодов; суммирование расходов воздуха и подбор сечений воздуховодов; автоматический подбор диаметров трубопроводов; расчет гидравлических характеристик систем; расчет и подбор диаметров систем водоснабжения с учетом неравномерности потребления воды; настройка и балансировка систем отопления и холодоснабжения при помощи радиаторных и балансировочных клапанов; возможность черчения трубопроводов с изоляцией; возможность просмотреть технические данные в любой точке сети: значение расхода, потери давления, тип используемой арматуры; балансировка сети с определением настройки регулировочных клапанов (углы поворота, перепады давления); расчет шума от оборудования; автоматическое создание аксонометрических схем с возможностью выбирать одну из нескольких проекций; создание детальных спецификаций оборудования и материалов. САПР позволяет осуществлять обмен данными с другими программными приложениями.

Для решения рассматриваемых в настоящем разделе функций особенный интерес представляет приложение MagiCAD «Комфорт и Энергия», являющееся комплексным решением для моделирования и анализа климатических и энергетических характеристик здания. В приложение входят модуль MagiCAD Помещение и программа RIUSKA, разработанная компанией «Olof Granlund Oy» (Финляндия), позволяющие провести анализ различных проектных решений и сравнить, как различные типы изоляции, окон, расположение здания по сторонам света, особенности местного климата и т.д. влияют на энергетическую эффективность и внутренний климат здания. Приложение позволяет произвести расчет как по одному помещению, так и для всего здания в целом. Приложение не содержит функции численного моделирования теплообмена между зданием и внешней средой с учетом рельефа наружного ограждения здания.

5. AKSON-vent – программный продукт, являющийся приложением к AutoCAD, предназначен для автоматизации проектирования систем вентиляции, отопления и трубопроводов. Основные характеристики: автоматизированное вычерчивание и редактирование планов систем вентиляции, отопления и трубопроводов; автоматическое создание аксонометрических схем; расчет объемов и составление спецификаций; аэродинамический расчет систем. Приложение не содержит пакета численного моделирования теплообмена между зданием и внешней средой с учетом рельефа наружного ограждения здания.

6. AutoCAD® MEP – САПР, автоматизирующий процесс проектирования инженерных систем зданий и выпуска документации по ним. Является модулем для среды AutoCAD и не содержит расчетных модулей, позволяющих моделировать процесс теплообмена между зданием и внешней средой.

7. Revit – это САПР для информационного моделирования зданий (BIM). Мощные инструменты позволяют использовать процесс, основанный на использовании интеллектуальных моделей, для планирования, проектирования, строительства и эксплуатации зданий и объектов инфраструктуры. Основные возможности Revit: моделирование компонентов здания, анализ и моделирование систем и кон-

струкций, а также повторная обработка проектов; автоматическое создание документации. Программа приспособлена для черчения и не содержит расчетных моделей, способных моделировать процесс теплообмена между зданием и внешней средой.

8. Renga Architecture – это САПР для создания внешнего облика объекта, информационной модели и быстрой компоновки чертежей согласно стандартам оформления СПДС. Позволяет создавать сметы. Инженерных расчетных модулей не содержит.

9. Компас-3D – это САПР, используемая при решении различных задач в архитектурно-строительном и технологическом проектировании. Система обладает мощным функционалом для работы над проектами разнообразной направленности и сложности: от создания трехмерных ассоциативных моделей отдельных элементов и сборных конструкций из них до оформления проектной документации в соответствии со стандартами СПДС и ЕСКД. Система позволяет осуществлять проектирование с помощью технологии MinD (Model in Drawing, или «модель в чертеже») - объектно-ориентированного подхода в процессе проектирования и создания чертежей. MinD основывается на технологии загрузки чертежей из приложений AC/AP, KM, KJ, TX, OB, BK, ЭС/ЭМС последующем автоматическим созданием трехмерной модели, спецификации и ведомости. САПР не содержит инженерных расчетных модулей.

10. Vectorworks – «модульный» BIM-инструмент для разработки небольших архитектурных объектов, интерьеров, оборудования, экспозиции и event-дизайна Программный продукт не содержит инженерных расчетных модулей.

11. ArchiCAD – САПР для BIM проектирования. Предназначен для проектирования архитектурно-строительных конструкций и решений, а также элементов ландшафта, мебели и т. п. В начале 2018 года выпущено специализированное расширение ARCHICAD EcoDesigner STARTM, предназначенное для энергетического моделирования зданий. Возможности: экспорт геометрии BIM-модели и теплотехнических свойств; моделирование теплового моста; возможность создания локальных источников возобновляемой энергии; оценка энергоэффективности здания для любого климата и геогра-

фического положения; поддержка множества термоблоков при расчетах энергетического баланса; детализированные отчеты оценки энергоэффективности. Приложение не содержит пакета численного моделирования теплообмена между зданием и внешней средой с учетом рельефа наружного ограждения здания.

12. Tekla Structures – САПР, предназначенная для 3-х мерного моделирования, как простых, так и сложнейших сооружений из разнообразных материалов и управления строительной информацией (BIM). Программный продукт ориентирован на создание чертежей для проектирования металлоконструкций, бетонных и железобетонных изделий. Предусмотрен экспорт для различных автоматизированных производств стальных, железо-бетонных изделий, арматуры для таких MIS систем, как: CONSTRUSTEEL, Steel Projects, FabTrolMRP, BETSY, EliPlan, Unitechnik, SAA, Progress. Программный продукт не содержит инженерных модулей расчета тепловых потерь проектируемых конструкций.

13. BIM-портал DvaOblaka.ru подбора оборудования в сфере ОВиК позволяет рассчитывать промышленное оборудование российских заводов в сфере ОВиК, получать технические данные и коммерческие предложения от заводов по рассчитанному оборудованию, выгружать рассчитанное оборудование в Revit, MagiCAD, AutoCAD. Программный продукт не содержит инженерных модулей расчета тепловых потерь проектируемых конструкций.

14. CLIVET – это САПР в BIM проектировании, миссия которого сформулирована как «увеличение уровня комфорта и качество внутреннего воздуха, развитие безупречных систем работающих на возобновляемых источниках энергии». Программное обеспечение предназначено для проектирования систем создания микроклимата в зданиях. Программный продукт не содержит инженерных модулей расчета тепловых потерь проектируемых конструкций.

15. EPLAN – это САПР в BIM проектировании, содержащий несколько модулей: мехатроника; электротехника; шкафы управления; пневмо- и гидропривод; системы автоматизации. Программный продукт не содержит инженерных модулей расчета тепловых потерь проектируемых конструкций.

Таким образом, ни один из рассмотренных САПР не приспособлен для расчета тепловых потерь проектируемых конструкций с учетом рельефа наружного ограждения здания.

На основании приведенных в разделе данных можно сделать следующие выводы.

1. Сопоставительный анализ результатов, полученных для зданий одной серии, расположенных в разных микрорайонах Москвы, показал, что наибольшая неравномерность распределения температуры и коэффициента теплоотдачи по наружной поверхности зданий наблюдается в горизонтальном направлении. Это означает, что для поддержания комфортных условий в помещениях, расположенных на одном и том же этаже здания, потребуется разное количество теплоты. То есть стоимость проживания в квартирах будет определяться не только стоимостью тепловой энергии, а и топологией городской застройки.

2. Поквартирный учет потребления тепловой энергии в здании позволяет выявить разницу в оплате за отопление одинаковых помещений, наружные стены которых находятся под разным воздействием внешней среды, формируемое городской застройкой. Разная плата за отопление одинаковых помещений должна сказаться на их стоимости. Ясно, что покупатель выберет помещение с минимальной платой за отопление, если эта информация будет ему доступна.

3. Поскольку изменение топологии городской застройки (возведение/снос зданий и сооружений) может изменить внешние условия теплообмена, то есть повлиять на величину тепловой энергии, необходимой для поддержания комфортных условий в помещениях зданий, потребуется согласие их владельцев на указанные мероприятия.

4. Рельеф внешней поверхности наружного ограждения может по-разному влиять на величину тепловых потерь здания. Наличие ребер может привести как к ухудшению, так и к повышению теплозащитных свойств элементов наружного ограждения здания. Поэтому при проектировании здания необходимо учитывать параметры рельефа его наружного ограждения.

5. Наиболее распространенные в настоящее время системы автоматического проектирования не позволяют осуществить численное

моделирование теплообмена между зданием и внешней средой с учетом рельефа наружного ограждения здания. Подобные расчеты необходимо проводить вручную индивидуально для каждого архитектурного элемента фасада.

Контрольные задания

1. Перечислите причины актуальности необходимости учета влияния городской застройки на теплопотребление зданий.

2. Перечислите причины, не позволяющие в полной мере точно применять при расчете тепловых потерь здания методы расчета, основанные на понятиях фактора формы или коэффициенте неоднородности.

3. Оцените соотношение тепловых потерь квартирой, расположенной в центре здания, и угловой квартирой.

4. Опишите возможность влияния городской застройки на тепловые потери здания в целом и его участков.

5. Оцените отличие удельных тепловых потерь для центральных и угловых помещений высотного здания в условиях городской застройки.

6. Поясните причину некоторой некорректности расчета сопротивления теплопередачи наружных ограждений зданий, основанном на одномерном процессе переноса теплоты через плоскую стенку, для зданий с выступающими архитектурными формами.

7. Оцените влияние высоты выступов прямоугольной формы при одной и той же их массе на теплоотдачу зданий с выступающими архитектурными формами.

8. Перечислите основные системы автоматического проектирования, используемые в Российской Федерации, способные осуществлять расчет систем отопления, вентиляции.

**Показатели ежемесячного потребления природного газа
и иных факторов предприятием пищевой отрасли
промышленности**

Период	П _{газ} , куб.м.	Т _{среднемес.} , °С	РН, %	Период	П _{газ} , куб.м.	Т _{среднемес.} , °С	РН, %
	у	х1	х2		у	х1	х2
01.2012	525427	-7,11	83,00	01.2015	480008	-5,65	89,06
02.2012	619336	-11,14	81,00	02.2015	468552	-0,76	73,13
03.2012	566096	-3,11	77,00	03.2015	468756	2,05	66,48
04.2012	387993	8,24	75,00	04.2015	385835	10,78	66,75
05.2012	290175	15,00	70,00	05.2015	237424	14,30	67,77
06.2012	267158	17,13	75,00	06.2015	240991	18,00	64,32
07.2012	257509	20,89	71,53	07.2015	235726	19,00	69,13
08.2012	279744	17,53	77,25	08.2015	234025	17,60	66,47
09.2012	241779	12,79	76,08	09.2015	236948	13,80	74,83
10.2012	403200	6,25	82,90	10.2015	405112	4,40	74,40
11.2012	453741	1,52	86,56	11.2015	457055	0,80	85,00
12.2012	621711	-8,41	84,88	12.2015	490182	0,20	83,45
01.2013	525427	-7,88	85,59	01.2016	571754	-10,1	85,21
02.2013	619336	-3,90	83,13	02.2016	463515	-0,6	81,05
03.2013	566096	-6,48	67,85	03.2016	503449	0,3	69,98
04.2013	387993	6,25	41,77	04.2016	347309	8,1	64,68
05.2013	290175	16,84	66,15	05.2016	225173	15	60,00
06.2013	267158	19,74	67,07	06.2016	235671	18,2	62,00
07.2013	257509	18,87	74,00	07.2016	213034	20,9	70,00
08.2013	279744	18,15	71,97	08.2016	230732	19,5	73,00
09.2013	241779	6,66	87,82	09.2016	267669	11,4	81,00
10.2013	403200	6,26	82,73	10.2016	388904	4,4	79,00
11.2013	453741	3,63	86,60	11.2016	478858	-2,7	85,00
12.2013	621711	-1,67	84,40	12.2016	518844	-4,6	87,00
01.2014	573818	-8,92	85,24	01.2017	495778	-7,8	83,00
02.2014	500709	-1,82	78,07	02.2017	486580	-4,6	79,00
03.2014	479407	2,93	62,79	03.2017	443550	2,4	75,00
04.2014	265148	6,26	53,75	04.2017	343379	5,3	68,00
05.2014	265148	19,75	60,27	05.2017	313549	10,9	60,00
06.2014	212232	13,73	66,72	06.2017	238261	14,5	69,00
07.2014	228333	21,96	58,27	07.2017	233405	17,9	74,00
08.2014	203740	15,30	70,29	08.2017	208980	18,8	70,00
09.2014	248520	12,28	74,12	09.2017	309784	12,4	76,00
10.2014	410973	3,28	72,10	10.2017	405916	4,96	82,00
11.2014	466116	-3,65	82,73	11.2017	461606	0,65	85,00
1.2014	543988	-3,87	92,05	12.2017	470005	-0,11	89,00

**Показатели ежемесячного потребления тепловой энергии
зданием и иных факторов зданием бассейна**

№	Период	$T_{\text{СРЕДНЕМЕС.}}, ^\circ\text{C}$	$RH, \%$	$P_{\text{Э}}, \text{кВт}\cdot\text{ч}$	$N_{\text{ПОСЕТИТ.}}, \text{чел.}$	$n_{\text{САУН}}, \text{ч}$	$P_{\text{ТЭ}}, \text{Гкал}$
		x1	x2	x3	x4	x5	
1	01.2009	-5,60	86,00	51612	7 776	850	164,654
2	02.2009	-5,40	86,00	46460	10 596	826,25	196,684
3	03.2009	-0,60	79,00	43980	13 365	844,75	177,67
4	04.2009	5,10	63,00	42852	13 031	788,5	182,815
5	05.2009	13,60	71,00	32964	9 415	644,6	87,656
6	06.2009	17,30	74,00	28544	8 537	539	41,564
7	07.2009	18,80	78,00	27304	8 889	480	29,466
8	08.2009	15,70	81,00	31012	8 512	482	18,256
9	09.2009	13,80	83,00	30636	9 238	638	48,806
10	10.2009	5,80	86,00	35104	11 794	780,5	125,184
11	11.2009	2,20	90,00	33750	12 209	840,5	167,841
12	12.2009	-6,50	86,00	33700	11 067	991	198,868
13	01.2010	-14,45	83,00	34496	8 931	895,8	229,72
14	02.2010	-7,53	78,00	38832	11 349	895,8	226,813
15	03.2010	-1,03	75,00	33916	14 154	923,4	172,457
16	04.2010	8,61	66,00	34860	12 901	823	157,09
17	05.2010	16,70	74,00	31128	9 497	700	47,509
18	06.2010	18,78	73,00	30772	8 792	534	40,598
19	07.2010	26,04	61,00	26604	8 687	511,5	23,355
20	08.2010	21,58	69,00	28532	7 281	397,5	17,316
21	09.2010	11,42	81,00	30676	8 998	576,5	40,406
22	10.2010	3,84	81,00	29052	11 628	808,8	99,05
23	11.2010	1,66	86,00	34763	12 381	815,75	121,523
24	12.2010	-7,58	87,00	37856	11 209	950	207,177
25	01.2011	-7,50	86,00	33644	7 803	850	223,616
26	02.2011	-10,59	79,00	33412	10 536	826,25	259,166
27	03.2011	-2,04	75,00	32148	13 303	844,75	195,636
28	04.2011	6,55	68,00	34612	13 041	788,5	180,194
29	05.2011	14,59	68,00	28712	9 579	644,6	63,709
30	06.2011	19,28	68,00	29944	9 417	539	42,702
31	07.2011	23,27	70,00	33072	8 889	480	20,566
32	08.2011	18,65	73,00	27096	8 411	482	24,429
33	09.2011	11,88	84,00	31740	9 074	638	48,585
34	10.2011	6,64	83,00	35124	11 690	780,5	115,871
35	11.2011	0,05	81,00	44344	12 525	840,5	169,555
36	12.2011	-0,14	86,00	32376	11 067	991	175,521

Продолжение приложение 2

№	Период	Т _{СРЕДНЕМЕС.} , °С RH, %		Π _{ЭЭ} , кВт·ч	Ν _{ПОСЕТИТ.} , чел.	η _{САУН} , ч	Π _{ГЭ} , Гкал
		х1	х2	х3	х4	х5	у
37	01.2012	-7,11	83,00	34596	9 532	849,5	196,804
38	02.2012	-11,14	81,00	37732	11 090	865	240,474
39	03.2012	-3,11	77,00	32544	14 208	874,75	171,795
40	04.2012	8,24	75,00	33620	13 994	774,75	166,818
41	05.2012	15,00	70,00	24308	9 745	669,5	70,378
42	06.2012	17,13	75,00	24492	8 674	589	53,266
43	07.2012	20,89	71,53	24012	8 831	435,25	29,93
44	08.2012	17,53	77,25	21140	8 452	417	23,988
45	09.2012	12,79	76,08	22752	9 591	603,75	61,963
46	10.2012	6,25	82,90	25040	12 341	781,75	109,307
47	11.2012	1,52	86,56	26956	12 857	828,3	183,79
48	12.2012	-8,41	84,88	27396	11 116	904,1	230,889
49	01.2013	-7,88	85,59	27632	8 484	840,75	233,934
50	02.2013	-3,90	83,13	29436	11 209	822,25	236,228
51	03.2013	-6,48	67,85	24020	13 004	856	213,344
52	04.2013	6,25	41,77	25628	12 929	824,5	171,323
53	05.2013	16,84	66,15	21692	8 882	589,2	88,592
54	06.2013	19,74	67,07	22548	8 637	514,75	51,319
55	07.2013	18,87	74,00	23244	8 208	458,5	35,051
56	08.2013	18,15	71,97	21600	6 590	418,25	39,008
57	09.2013	6,66	87,82	20064	8 361	627,55	77,402
58	10.2013	6,26	82,73	22828	11 557	801,5	140,795
59	11.2013	3,63	86,60	25888	11 394	852,5	157,229
60	12.2013	-1,67	84,40	25132	10 707	861	191,937
61	01.2014	-8,92	85,24	25696	7855	829	212,799
62	02.2014	-1,82	78,07	27832	10729	792	240,791
63	03.2014	2,93	62,79	23416	11985	889,25	167,419
64	04.2014	6,26	53,75	21730	10982	753,7	161,135
65	05.2014	19,75	60,27	23472	8413	626,85	79,661
66	06.2014	13,73	66,72	21476	7760	521,25	35,131
67	07.2014	21,96	58,27	21000	7716	489,75	39,337
68	08.2014	15,30	70,29	22200	6293	440	24,762
69	09.2014	12,28	74,12	19960	8670	590,25	22,061
70	10.2014	3,28	72,10	22160	10500	755	117,563
71	11.2014	-3,65	82,73	25640	10327	866	219,629
72	12.2014	-3,87	92,05	26880	9603	868,5	193,123
73	01.2015	-5,65	89,06	29760	7744	868,25	207,534

Окончание приложение 2

№	Период	T _{СРЕДНЕМЕС., °C}		ПЭЭ, кВт·ч	N _{ПОСЕТИТ., чел.}	n _{САУН, ч}	ПТЭ, Гкал
		x1	x2				
74	02.2015	-0,76	73,13	26360	10192	821,1	191,824
75	03.2015	2,05	66,48	22040	11523	857	162,978
76	04.2015	10,78	66,75	22840	11347	760,25	156,496
77	05.2015	14,30	67,77	17559	7745	697	94,822
78	06.2015	18,00	64,32	19891	6377	530	39,215
79	07.2015	19,00	69,13	18826	6 219	470	32,785
80	08.2015	17,60	66,47	19760	5 825	452	27,557
81	09.2015	13,80	74,83	21800	8 427	643,3	43,604
82	10.2015	4,40	74,40	26600	9 808	801,5	136,063
83	11.2015	0,80	85,00	24800	9 590	787	146,08
84	12.2015	0,20	83,45	25160	8 897	874	167,808
85	01.2016	-10,1	85,21	27560	5895	827,5	217,833
86	02.2016	-0,6	81,05	23600	9488	799	165,301
87	03.2016	0,3	69,98	22120	10680	823	173,13
88	04.2016	8,1	64,68	23160	9779	758	131,383
89	05.2016	15	60,00	18560	6011	640,5	51,862
90	06.2016	18,2	62,00	20400	5652	471	32,33
91	07.2016	20,9	70,00	22680	5464	420,5	17,734
92	08.2016	19,5	73,00	22320	5471	346,5	28,51
93	09.2016	11,4	81,00	24960	7512	573	57,326
94	10.2016	4,4	79,00	20440	8469	792	140,242
95	11.2016	-2,7	85,00	25720	8236	781	170,048
96	12.2016	-4,6	87,00	2900	7294	818	175,528
97	01.2017	-7,8	83,00	24690	7455	799,5	179,048
98	02.2017	-4,6	79,00	33920	8631	756	152,125
99	03.2017	2,4	75,00	21160	10732	769	141,342
100	04.2017	5,3	68,00	22340	9129	737,5	139,33
101	05.2017	10,9	60,00	19720	6918	592,75	93,14
102	06.2017	14,5	69,00	21160	5440	521	47,977
103	07.2017	17,9	74,00	17480	5427	441	36,459
104	08.2017	18,8	70,00	23760	5596	450	11,518
105	09.2017	12,4	76,00	22200	7758	588	38,255
106	10.2017	4,96	82,00	24760	9042	688,5	129,613
107	11.2017	0,65	85,00	25100	8754	589,2	158,568
108	12.2017	-0,11	89,00	25960	7965	554,75	161,302

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Основной

1. Практическое пособие по выбору и разработке энергосберегающих проектов / под общей ред. О.Л. Даниловича, П.А. Костюченко. – М.: Технопромстрой, 2006. – 668 с.

2. РНП АВОК 5-2005. Рекомендации по оценке экономической эффективности инвестиционного проекта теплоснабжения. Общие положения // ООО ИПП «АВОК-ПРЕСС», 2006. М., 2007.

3. Табунщиков, Ю.А. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий / Ю.А. Табунщиков, М.М. Бродач. – М.: АВОК-ПРЕС, 2002. –194 с.

Дополнительный

1. Щевьева, В.А. Финансирование инновационных проектов и экономическая оценка инвестиций: учеб. пособие / В.А. Щевьева. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. – 228 с.

2. Гмурман, В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособие / В.Е. Гмурман. – 12-е изд. – М.: Юрайт, 2013. – 479 с.: ил.

Учебное издание

Гужов Сергей Вадимович
Глазов Василий Степанович
Шувалов Сергей Юрьевич

**ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ
ОБОСНОВАНИЕ ВНЕДРЕНИЯ
ТИПОВЫХ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ
МЕРОПРИЯТИЙ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ**

Учебное пособие

Редактор Д.Р. Чернова
Компьютерная верстка З.Х. Айнетдиновой

Подписано в печать	21.08.2018.	Печать офсетная	Формат 60×84/16
Печ. л. 5,25	Тираж 100 экз.	Изд. № 18у-047	Заказ №

Оригинал-макет подготовлен в РИО НИУ «МЭИ».
111250, г. Москва, ул. Красноказарменная, д. 14.
Отпечатано в типографии НИУ «МЭИ».
111250, г. Москва, ул. Красноказарменная, д. 13