

ЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

УДК 658.26.004.18

В.В. Стерлигов, М.В. Темлянец

Сибирский государственный индустриальный университет

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В БЮДЖЕТНЫХ ОРГАНИЗАЦИЯХ. ПРОБЛЕМЫ. ПОИСКИ. РЕШЕНИЯ*

Процесс энергосбережения и повышения энергетической эффективности имеет глобальный характер и поэтому характеризуется не только большими масштабами, но и долгосрочными планами. Определение стратегии реализации этого процесса должно опираться на рациональное планирование на длительный период не только в пределах всей страны, но и отдельной отрасли. Особый интерес вызывает планирование процесса энергосбережения (ЭС) и повышения энергоэффективности (ЭЭ) для бюджетной сферы.

В России основным законодательным актом, регулирующим процессы ЭС и ЭЭ, является федеральный закон от 23 ноября 2009 г. № 261 – ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты РФ» (в дальнейшем «Закон»). Но хронологически первым в ряду документов по этой проблеме выступает Указ Президента РФ от 04 июля 2008 г. № 889 «О некоторых мерах по повышению энергетической и экологической эффективности российской экономики» (далее «Указ»). Распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 ноября 2009 г. № 1715 (далее «РП») была утверждена энергетическая стратегия России на период до 2030 г. Последним в этом пакете документов, устанавливающих цели энергосбережения, можно считать Государственную программу РФ «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 г.» (далее «Программа»), утвержденную распоряжением Правительства РФ от 27 декабря 2010 г. № 2446 – Р.

Все эти документы по-разному ориентируют исполнителей. В РП «Энергетическая стратегия...» установлено требование снижения энергоемкости национального валового продукта к 2030 г. вдвое по сравнению с показателями 2005 г., который, таким образом, выбран как базовый. В Указе записано: «Снижение к

2020 г. энергоемкости валового внутреннего продукта Российской Федерации не менее, чем на 40 % по сравнению с 2007 г.» (базовый – 2007 г.). А в Законе (ст. 24(1)) устанавливается для бюджетных учреждений требование снижения энергопотребления за 5 лет не менее, чем на 15 % от объема, фактически использованного в 2009 г., с ежегодным снижением такого объема не менее, чем на 3 %, т.е. Закон устанавливает 2009 г. как базовый.

На рис. 1 показана графическая интерпретация снижения энергоемкости E , установленная РП, Указом и Законом. Линия 1 отражает стратегию энергосбережения, заявленную в энергетической стратегии России (РП). Линия 2 характеризует стратегию, выраженную в Указе Президента РФ № 889 (Указ) и подтвержденную в Государственной программе (Программа). Линия 3 определяет показатели, утвержденные Законом № 261 – ФЗ «Об энергосбережении...». Во всех случаях представлен линейный характер понижения энергопоказателей, поскольку ни в одном из рассматриваемых документов не оговаривается другой характер, а в Законе прямо сказано – экономия 3 % в год на весь период действия заявленной нормы с 2010 по 2014 гг. включительно.

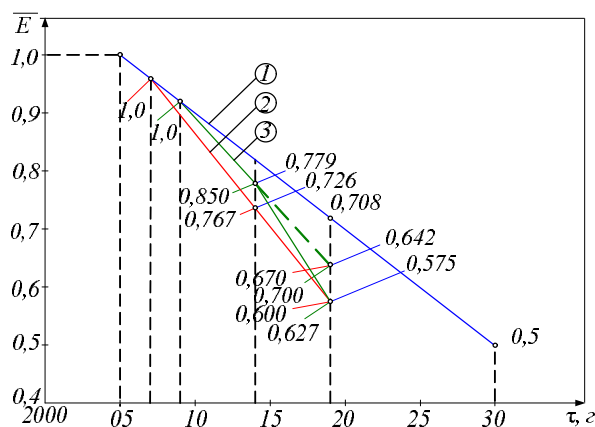


Рис. 1. Планирование энергопотребления по разным правовым актам:
1 – РП; 2 – Указ; 3 – Закон

* В порядке обсуждения

При выборе значений начальной ординаты каждой линии использовали следующую логику. В качестве основной исходной величины выбрали энергопотребление (энергоемкость) самого раннего момента времени, рассматриваемого в контексте обсуждаемой проблемы – 2005 г., обозначив его за 1,0. Проведя линию 1 между начальным и конечным моментами с абсциссами 2005 и 2029 гг. и ординатами для них 1,0 и 0,5, определили ход реализации энергетической стратегии (РП). А затем в качестве исходной ординаты для траектории, определенной Указом и Законом, выбрали точки на этой линии при абсциссах 2007 и 2009 гг., установленными в указанных документах. Безусловно, в этом случае нельзя гарантировать большую точность, но если учесть положение, заявленное во вступительной части Государственной программы, где на стр. 5 записано, что в течение 2000 – 2008 гг. наблюдалось интенсивное снижение энергоемкости внутреннего валового продукта 5 % в год, то можно определить состояние энергопотребления в 2007 и 2009 гг. Там же отмечается, что это произошло в значительной степени из-за структурных и даже институциональных изменений затрат при производстве внутреннего валового продукта. Это почти не коснулось бюджетной сферы, и для нее темп падения 2 % в год является реальным.

Некоторые показатели диаграммы представлены в таблице, а также показаны на самой диаграмме.

Если использовать темп уменьшения энергоемкости за самый большой период 2,1 % в год (линия 1), то в 2007 г. уровень энергоемкости составит 0,958 относительно уровня энергопотребления 2005 г., принятого за единицу. Соответственно для 2009 г. будем иметь значение 0,917 с округлением до третьего знака после запятой.

Для процесса энергосбережения, осуществляемого по условиям Указа к концу 2014 г., т.е. через 7 лет, при годовом темпе падения $40/12 = 3,33$ % энергопотребление составило 0,767 от начального условия 2007 г. (линия 2) или 0,726 по отношению к уровню 2005 г. (линия 1).

На это же время, т.е. конец 2014 г., в соответствии с указанным законом годовым темпом экономии 3 %, уровень энергопотребления составит 0,850 от базового уровня 2009 г., или 0,779 от уровня 2005 г. Как видно, разница $(0,779 - 0,726)$ составляет более 7 % от уровня 2005 г., что означает несовпадение во времени этих двух траекторий на два с лишним года по нормативам Закона.

Если использовать тот же темп экономии, что установлен Законом (штриховая линия), то еще через 5 лет, т.е. к 2020 г. (конец 2019 г.), уровень энергопотребления составит 0,700 от уровня 2009 г., или 0,642 от уровня 2005 г. Но Указом и Программой установлено, что на этот момент уровень энергоемкости должен соответствовать 0,575 от уровня 2005 г., что соответствует уровню 0,6 от уровня 2007 г. с разницей между характеристиками линий 2 и 3 около 7 %.

Таким образом, становится очевидным, что исполнение нормы прямого действия Закона (3 % в год) и законоисполнительного акта (Программы) с экономией 40 % к 2020 г. дает определенное расхождение. Это указывает на необходимость корректировки их количественных показателей для получения тождественных величин экономии энергоносителей при определении их в соответствии с разными нормативами.

Планирование самой траектории энергосбережения тоже имеет резервы по повышению рациональности. При анализе этого аспекта проблемы рассмотрели действие Закона как наиболее значимого правового акта, определяемого в соответствии с принципом верховенства правовых актов.

На рис. 2 представлена диаграмма, иллюстрирующая положение ст. 24 (1), уже упомянутой выше. Прямая линия 1 показывает заданную законом траекторию

$$\overline{E}_\tau = \overline{E}_0(1 - k\tau), \quad (1)$$

где $\overline{E}_0$ – начальные (базовые) значения энергопотребления, $\overline{E}_0 = 1$; τ – дискретное время, в

Характеристики вариантов траекторий энергосбережения

Вариант	Базовый год	Конечный год	Период, лет	Экономия, %	Годовой темп, %/год	Базовая величина			Конечная величина		
						05	07	09	РП	Указ	Закон
1. РП	2005	2029	24	50	2,08	1,0	–	–	0,500	–	–
2. Указ	2007	2019	12	40	3,33	0,962	1,0	–	0,575	0,600	–
3. Закон	2009	2014	5	15	3,00	0,912	–	1,0	0,779	–	0,850

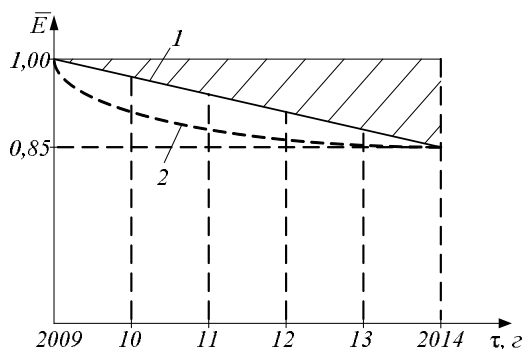


Рис. 2. Характер энергопотребления для бюджетных учреждений

годах; $\overline{E}_\tau$ – относительное значение требуемого объема энергопотребления за год; $k = 0,03$ – нормативный коэффициент (3 %).

В соответствии с этой статьей через 5 лет уровень энергопотребления для бюджетных учреждений должен составлять 0,85 от уровня энергопотребления «базового» 2009 г., который принят за 1,0.

Площадь под прямой в известном масштабе определяет общее количество потребленной энергии. Численно эта величина будет равна $\overline{E}_\Sigma = 4,625$. Заштрихованная площадь над линией процесса будет в масштабе определять общее количество сэкономленной за 5 лет энергии:

$$\Delta \overline{E}_\Sigma = 5\overline{E} - \overline{E}_\Sigma, \quad (2)$$

что при подсчете дает $\Delta \overline{E}_\Sigma = 0,375$.

Увеличение экономии визуально будет обозначать увеличение площади треугольника. При сохранении реперных точек $\overline{E}_0 = 1,00$ и $\overline{E}_5 = 0,85$ это легко достигается, если линия процесса будет кривой с обращенной вниз выпуклостью (штриховая линия). Это означает, что линейная траектория не оптимальна с точки зрения экономии энергии.

Кроме того, линейный характер траектории I , на наш взгляд, не является адекватным реальным процессам энергосбережения. Из опыта решения аналогичных задач минимизация потерь, или повышения эффективности, известна, что по мере приближения к предельным показателям при одной и той же величине воздействия эффект становится меньше. Доказательством может служить принцип минимизации энтропии, предложенный И. Пригожиным [1] для открытых неравновесных термодинамических систем. Система является открытой, если она состоит из нескольких взаи-

модействующих множеств и осуществляет обмен энергией или массой с окружающей средой. Все системы, где реализуют энергосбережение, обладают этими признаками и, следовательно, к ним применимы законы термодинамики.

Адекватность нелинейной модели повышения энергоэффективности можно проиллюстрировать на примере одного из важнейших понятий термодинамики – цикла Карно, а конкретнее, – анализе изменения его термического КПД [2]. Аналитически термический КПД (η) записывается как

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}, \quad (3)$$

где T_2 и T_1 – температуры «холодного» и «горячего» источников процессов, К.

Графически зависимость $\eta = f(T_1)$ будет выражаться линией, асимптотически стремящейся к единице при T_1 , стремящейся к бесконечности ($T_1 \rightarrow \infty$) (рис. 3).

Из диаграммы видно, что с увеличением температуры T_1 значение η возрастает, что математически выразится условием $\frac{d\eta}{dT_1} > 0$.

другой стороны, темп роста КПД замедляется: при одном и том же приращении температуры $\Delta T'_1 = \Delta T''_1$ эффект будет разным: $\Delta \eta_2 < \Delta \eta_1$, что можно записать через производную как $\frac{d^2\eta}{dT_1^2} < 0$.

Таким образом, в задачах энергосбережения, имеющих асимптотический характер, когда существует некоторый предел, траектория процесса должна подчиняться этим двум условиям:

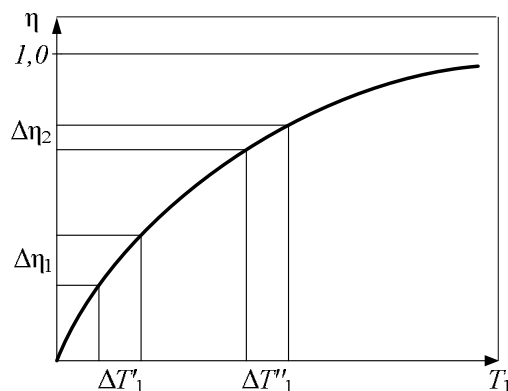


Рис. 3. Термодинамический КПД цикла Карно в зависимости от температуры T_1 «горячего» источника

$$\frac{dy}{dx} > 0 \text{ и } \frac{d^2y}{dx^2} < 0; \quad (4)$$

здесь y – некоторая зависимая («выходная») величина, определяемая действием независимой «входной» величины x (в рассматриваемом примере η , есть y , а $T_1 - x$).

Анализ выражения (3) подтверждает правильность полученных условий $\frac{d\eta}{dT_1} = \frac{T_2}{T_1^2} > 0$

и $\frac{d^2\eta}{dT_1^2} = -\frac{2T_2}{T_1^3} < 0$, так как T_1 и T_2 всегда мо-

гут быть только положительными величинами.

Условию (4) могут удовлетворять множества нелинейных функций, в частности, гиперболическая, показательная, экспоненциальная и ряд других. Наиболее часто для отображения динамики реальных процессов используют экспоненциальную функцию, которая в нашем случае будет иметь вид

$$\overline{E}_\tau = \overline{E}_0 e^{-k\tau}, \quad (5)$$

где все члены имеют тот же смысл, что и в выражении (1). Однако использовать экспоненциальную зависимость для определения требуемой траектории энергосбережения нецелесообразно, так как в ней используется в качестве входного фактора не текущее состояние энергопотребления, а постоянное значение, установленное в начальный момент.

Для планирования энергосбережения наиболее рационально использовать выражения следующего вида:

$$\overline{E}_\tau = \overline{E}_0 (1 - k)^\tau, \quad (6)$$

откуда

$$\overline{E}_{\tau+1} = \overline{E}_\tau (1 - k). \quad (6a)$$

Выражение (6) позволяет планировать не от единого (базового) уровня $\overline{E}_0$, а от достигнутого за предстоящий период $\overline{E}_\tau$, что видно из соотношения (6a). Такой метод в большей степени соответствует программно-целевому подходу в планировании, так как позволяет корректировать нормативные показатели для достижения установленного целевого показателя.

Очень важным при выборе траектории энергосбережения является определение структуры энергопотребления (энергоемко-

сти). На рис. 4 представлены слагаемые потребляемой энергии.

Горизонтальная линия 1 выражает полезную энергию ($E_{\text{пол}}$), идущую на осуществление какого-либо процесса (отопление, технология, нагрев и т.д.). Эта величина является «паспортной» для данного случая, определяется его условиями, техническими возможностями и не может быть изменена эволюционным путем.

Линия 2 характеризует некие нормативные затраты энергии:

$$E_{\text{норм}} = E_{\text{пол}} + E_{\text{вп}}, \quad (7)$$

где $E_{\text{вп}}$ – внутренние потери агрегата, процесса (эта величина может быть уменьшена за счет рационализации внутренних условий).

Линия 3 выражает фактическое среднее энергопотребление и учитывает дополнительно наружные потери ($E_{\text{нар}}$), т.е.

$$E_{\text{факт}} = E_{\text{пол}} + E_{\text{вп}} + E_{\text{нар}}. \quad (8)$$

Линия 4 учитывает случай превышения потерь и энергопотребления над некоторым средним уровнем и включает дополнительно излишние (extra) потери (E_{ex}), т.е.

$$E = E_{\text{пол}} + E_{\text{вп}} + E_{\text{нар}} + E_{\text{ex}}. \quad (9)$$

Очевидно, что при задании экономить 3 % от общего энергопотребления легче всего выполнить это требование при низком уровне работы и обслуживании, когда наружные и излишние потери достаточно велики. Таким образом, Закон легко реализуем для незначительных хозяйств, допускающих большие потери. Как правило, в этом случае необходимой экономии можно будет достичь за счет реализации безли или малозатратных мероприятий. Там, где работы по энергосбережению организованы на высоком уровне, дополнительную экономию по-

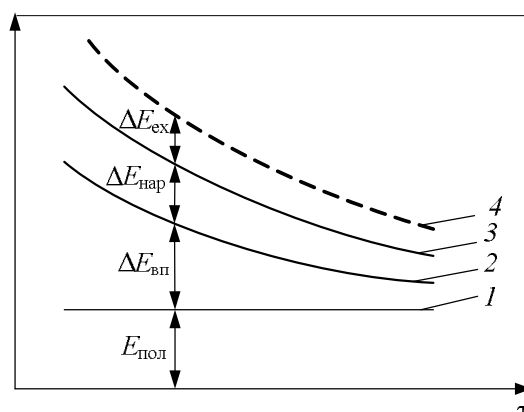


Рис. 4. Структура энергопотребления

лучить труднее, так как почти все мероприятия уже реализованы. В связи с этим именно величину потерь рационально выбирать в качестве одного из основных показателей энергосбережения.

Характерно, что величина $E_{\text{пол}}$ будет оставаться постоянной лишь на определенной эволюционной стадии развития технического уровня оборудования. При смене оборудования или технологий она может меняться скачком, создавая новое распределение составляющих энергопотребления.

Если ориентировать исполнителя на уменьшение именно потерь, то необходимо учесть следующие обстоятельства. Величина потерь может быть представлена следующим образом, если использовать выражение коэффициента полезного действия:

$$\eta = \frac{E_{\text{пол}}}{E_{\text{затр}}} \quad (10)$$

Поскольку $E_{\text{пол}} = E_{\text{затр}} - E_{\text{пот}}$, то тогда получим

$$\eta = \frac{E_{\text{затр}} - E_{\text{пот}}}{E_{\text{затр}}} = 1 - \frac{E_{\text{пот}}}{E_{\text{затр}}}, \quad (11)$$

откуда

$$E_{\text{пот}} = (1 - \eta)E_{\text{затр}}. \quad (12)$$

Если выразить в соответствии с траекторией закона падение энергопотребления за год через величину нормативного показателя общего энергопотребления k_{Σ} как

$$\Delta E_{\Sigma} = E_0 k_{\Sigma}, \quad (13)$$

то такое же уменьшение энергопотребления, выраженное через величину нормативного показателя потерь $k_{\text{пот}}$, будет записано так:

$$\Delta E_{\text{пот}} = E_{\text{пот}0} k_{\text{пот}}. \quad (14)$$

А так как $\Delta E_{\text{пот}} = \Delta E_{\Sigma}$, то тогда $E_0 k_{\Sigma} = (1 - \eta)E_0 k_{\text{пот}}$, откуда

$$k_{\text{пот}} = \frac{1}{1 - \eta} k_{\Sigma}. \quad (15)$$

Из последнего выражения видно, что нормативный показатель уменьшения энергопотребления, выраженный через величину потерь, будет всегда больше нормативного пока-

зателя k_{Σ} для общего энергопотребления, т.е.

$$k_{\text{пот}} > k_{\Sigma}, \text{ поскольку } 1 - \eta < 1 \text{ и } \frac{1}{1 - \eta} > 1.$$

Кроме того, показатель $k_{\text{пот}}$ будет разным для различных исполнителей при одном и том же нормативном общем показателе с предоставлением лучших условий тем, у кого КПД уже достаточно высок. Это создает жесткие условия для тех, у кого в настоящее время энергоэффективность, выражаемая через показатель η , низкая, и мотивирует энергосберегающее поведение.

Используя выражение (11), можно определить текущее значение КПД η_t в момент τ после начала процесса энергосбережения, которое характеризовалось значением КПД η_0 .

Текущее значение величины потерь $E_{\text{пот}}^{\tau}$ определится как $E_{\text{пот}}^{\tau} = E_{\text{пот}}^0 - \Delta E_{\text{пот}} = E_0 (1 - \eta_0) - E_0 (1 - \eta_0) k \tau = E_0 (1 - \eta_0) (1 - k \tau)$, где η_0 – КПД в базовый год. Тогда

$$\begin{aligned} \eta_{\tau} &= \frac{E_{\text{пол}}^{\tau}}{E_{\text{пол}}^0 - E_{\text{пот}}^{\tau}} = \frac{E_0 \eta_0}{E_0 \eta_0 + E_0 (1 - \eta_0) (1 - k \tau)} = \\ &= \frac{\eta_0}{\eta_0 + (1 - \eta_0) (1 - k \tau)}. \end{aligned} \quad (16)$$

Сравнение значений η_{τ} и η_0 покажет тенденцию к изменению КПД, что можно выразить через отношение

$$\begin{aligned} \frac{\eta_{\tau}}{\eta_0} &= \frac{\eta_0}{\eta_0 + (1 - \eta_0) (1 - k \tau)} \frac{1}{\eta_0} = \\ &= \frac{1}{\eta_0 + (1 - \eta_0) (1 - k \tau)}. \end{aligned}$$

После почленного перемножения выражений в скобках окончательно получим

$$\frac{\eta_{\tau}}{\eta_0} = \frac{1}{1 - k_{\text{пот}} \tau (1 - \eta_0)}. \quad (17)$$

Поскольку все члены знаменателя числа положительные, то получим знаменатель меньше единицы и $\frac{\eta_{\tau}}{\eta_0} > 1$; это означает увеличение энергоэффективности, что и является целью процесса.

Представление энергозатрат в виде структуры, показанной на рис. 4, позволяет определить среднюю или нормативную величину потерь и по сравнению с фактическими показате-

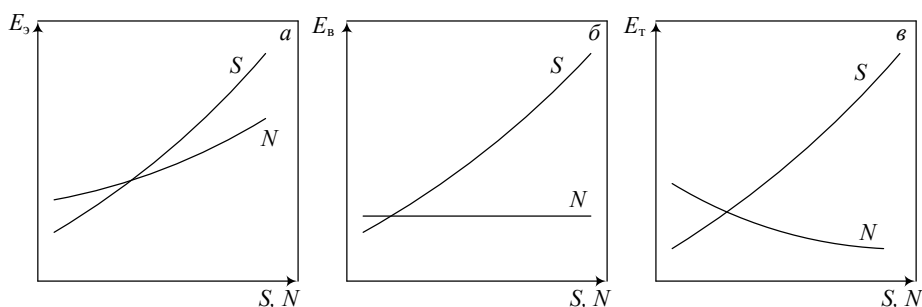


Рис. 5. Качественные зависимости потребления электроэнергии (а), холодной воды (б) и тепла (в) от площади здания и количества обучающихся и работников

лями агрегата или процесса оценивать уровни энергоэффективности как это делается, например, для зданий.

Не менее важным аспектом проблемы энергосбережения и энергоэффективности является природа экономии. Она может быть натурной и выражаться в тоннах, гигакалориях или кВт·ч, а может иметь стоимостное выражение. И хотя для бюджетной организации статья 24(1) закона № 261-ФЗ «Об энергосбережении...» устанавливает экономию 3 % от объема всех энергоносителей, установка на экономию в стоимостной форме представляется более предпочтительной, поскольку экономия физических энергоносителей в 3 % легко будет уничтожаться ежегодным повышением тарифов, которое в несколько раз превышает установленный норматив экономии.

Для бюджетной организации, например высшего учебного заведения, детского сада, больницы, основным показателем является все же не физическая экономия, а снижение нагрузки на бюджет, поэтому задание для них по энергосбережению должно закладываться в виде снижения общей стоимости затрат на энергоносители. А уже сама организация выберет, что и как ей экономить, потому что общая «тотальная» экономия неразумна, а подчас не достижима.

На рис. 5 представлены качественные зависимости потребления электроэнергии, холодной воды и тепла от количества N обучающихся и работников и площади S здания. Очевидным является рост расходов электроэнергии при увеличении площади здания и количества находящихся в нем человек, увеличение от количества человек и практическая независимость от площади здания расходов холодной воды, увеличение от площади и некоторое

уменьшение от количества человек расходов тепла.

Перспективным направлением в энергосбережении для образовательных учреждений является разработка удельных показателей энергозатрат, например на 1 кв. м здания или на 1 человека (обучающегося или работника), а возможно и комплексных – на 1 кв. м на 1 человека. Таким образом, можно будет оценить и сравнить степень энергоэффективности различных образовательных учреждений.

В современных условиях функционирования вузов в большинстве случаев наблюдаются тенденции сохранения имеющихся площадей зданий при ежегодном сокращении контингента обучающихся и количества работников. Это может приводить к росту удельных показателей энергопотребления при неизменном уровне технического состояния, оборудования и оснащённости здания. В таком случае для сохранения показателей энергоэффективности могут потребоваться дополнительные организационные и технические мероприятия.

Выводы. Проведен анализ условий законодательных актов по энергосбережению. Предложены мероприятия по уменьшению бюджетных затрат.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах. – М.: Мир, 1979. – 512 с.
2. Теплотехника: Учебник для вузов / В.Н. Луканин, М.Г. Шатров, Г.М. Камфер и др.; Под ред. В.Н. Луканина. – М.: Высшая школа, 1999. – 671 с.

© 2014 г. В.В. Стерлигов, М.В. Темлянецов
Поступила 20 марта 2014 г.