

Определение оптимальных затрат на управление климатическими системами интеллектуального здания

К.т.н., доцент О.Д. Самарин;
аспирант Е.А. Гришнева,*

ФГБОУ ВПО Московский государственный строительный университет

Ключевые слова: интеллектуальное здание; энергосбережение; инженерное оборудование; совокупные дисконтированные затраты; срок окупаемости; глубина реализации

Как известно, одной из основных задач при строительстве и эксплуатации здания и его систем обеспечения микроклимата является энергоресурсосбережение. Особое значение данная тема приобретает в настоящее время, в условиях действия Закона РФ «Об энергосбережении ...» № 261-ФЗ от 23.11.09. При этом снижение энергопотребления должно достигаться комплексными средствами, включая не только повышение теплозащиты наружных ограждений, но и за счет решений, касающихся инженерного оборудования здания [1].

В странах Западной Европы проблемой энергоэффективности озаботились намного раньше. Начало разработок по экономии энергии при эксплуатации зданий явилось следствием энергетического кризиса 70-х годов, а с 1976 года в большинстве западных стран нормируемый уровень теплозащиты наружных ограждений увеличился в 2–3,5 раза. В настоящее время этот процесс продолжается, требования к используемым теплоизоляционным материалам постоянно повышаются, ужесточаются нормативы по сопротивлению теплопередаче и смежным параметрам отдельных строительных конструкций и сооружений в целом. В рамках этого подхода была создана концепция пассивного дома, которая заключается в улучшении качества всех компонентов здания и максимальном использовании внешних и внутренних теплоступлений для компенсации теплопотерь [2–4].

Немаловажную роль в энергосбережении западных стран играет и развитие концепции так называемого «интеллектуального» здания [5], где основными функциями являются эффективное использование энергопотребления, комфортность и безопасность в здании.

Концепция энергосберегающего дома, хотя и с заметным запозданием, но находит признание и в России. До недавнего времени относительная дешевизна энергоносителей в нашей стране не позволяла ощутить максимальный экономический эффект от использования современных теплоизоляционных материалов и соответствующих инженерных решений. Наблюдался такой парадокс: стоимость строительства в нашей стране была ниже уровня мировых цен всего на 20–30%, а стоимость энергоресурсов отличалась в 6–7 раз. Но поскольку Россия взяла курс на построение эффективной экономики и вхождение в мировое сообщество, баланс цен на энергоносители начал восстанавливаться стремительными темпами. Только за три последних года (с 2008 по 2011) цены на тепловую и электроэнергию выросли для разных категорий потребителей на 60–80 % [6, 7]. В особенно явном виде этот процесс будет наблюдаться в связи со вступлением РФ в ВТО в 2012 году.

В связи с этим вопрос строительства энергоэффективных зданий в нашей стране становится одним из ключевых, а проблема рационального использования энергоресурсов приобретает все большее значение. Особенно остро эта проблема встает в коммунальном хозяйстве, которое потребляет до 25% тепловой энергии [8] и примерно такую же долю электрической, производимых в стране. В России на единицу жилой площади зданий постройки до 1995 г., составляющих до сих пор основную часть существующего жилищного фонда, расходуется в 2–3 раза больше энергии, чем в странах Европы (в Германии в настоящее время расход тепловой энергии на отопление составляет 936 МДж/м², в Швеции – 486 МДж/м², а для сравнения в РФ – 1530 МДж/м² [9]), и не столько из-за более сурового климата, сколько благодаря существенно меньшей жесткости строительных стандартов и нормативов.

Многие российские компании (как строящие, так и эксплуатирующие здания) уже пришли к пониманию проблемы энергосбережения и осознанию необходимости применения новейших инженерных решений с привлечением современных теплозащитных материалов, многослойных стеновых конструкций, энергосберегающей сантехники и инженерного оборудования. Аналогичные технологии, но применительно к условиям промышленного производства отделочных материалов, рассматривались и за рубежом в работе [10].

Самарин О.Д., Гришнева Е.А. Определение оптимальных затрат на управление климатическими системами интеллектуального здания

Однако для решения вопроса о составе и оптимальной последовательности операций по монтажу и наладке климатических систем энергоэффективного и особенно «интеллектуального» здания необходимо вначале определить наиболее целесообразный объем инвестиций в инженерные системы и их автоматизацию. В условиях рыночной экономики это можно сделать по величине совокупных дисконтированных затрат (СДЗ). Величину СДЗ, приведенную к концу расчетного срока T , г., можно определить по следующей формуле [11 – 12]:

$$СДЗ = K \cdot (1 + p/100)^T + Э \cdot \left[(1 + p/100)^T - 1 \right] \cdot (100/p). \quad (1)$$

Здесь K – дополнительные капитальные (инвестиционные) затраты на осуществление мероприятий по оборудованию интеллектуального здания, руб.; $Э$ – годовые эксплуатационные издержки на его функционирование и обслуживание, руб./г.; p – норма дисконта, %. В расчетах ее можно принимать равной ставке рефинансирования ЦБ РФ. В этом случае удастся четко выявить критерий экономической целесообразности, который сводится к превышению годовой экономии расходов на тепловую энергию над годовым процентом за кредит или, если капиталовложения осуществляются из собственных средств, над упущенной прибылью, которую можно было бы получить, если вместо затрат на энергосбережение соответствующую сумму положить в банк.

Составляющие затрат при вычислении СДЗ можно вычислить таким образом [13]:

$$Э = Э_m + Э_{эл} + Э_{ам}; K = K_0 x. \quad (2)$$

В последнем соотношении коэффициент x показывает относительную глубину реализации работ по интеллектуальному оборудованию здания по сравнению с максимально возможной, а параметр K_0 представляет собой значение K при $x = 1$. При этом $Э_t$ и $Э_{эл}$ – затраты соответственно на тепловую и электрическую энергию; $Э_{ам}$ – годовые амортизационные отчисления. Они могут быть выражены через величину K и расчетный срок амортизации дополнительного оборудования $T_{ам}$, г.:

$$Э_{ам} = 1,5K/T_{ам} = 1,5K_0 x/T_{ам}. \quad (3)$$

Коэффициент 1,5 учитывает дополнительные затраты на текущий и капитальный ремонт. Что касается составляющих $Э_t$ и $Э_{эл}$, их можно оценить с помощью ориентировочных зависимостей:

$$Э_m = C_m Q_{m,0} (1 - ax + bx^2); Э_{эл} = C_{эл} Q_{эл,0} (1 - acx + bcx^2). \quad (4)$$

Здесь $Q_{t,0}$ и $Q_{э,0}$ – соответственно значения годового потребления зданием и его инженерными системами тепловой энергии Q_t , Гкал/г., и электрической $Q_э$, кВт·ч/г., при $x = 1$; C_t и $C_{эл}$ – тариф на тепловую энергию, руб./Гкал, и электрическую, руб./(кВт·ч); a и b – аппроксимационные коэффициенты. На основании анализа результатов, приведенных в [13–14], отношение $b/a = 3/8$, а по данным [15] при $x = 1$ выражение $1 - ax + bx^2 = 0,8$ (телопотребление снижается на 20%), откуда $a = 0,32$; $b = 0,12$. Характер снижения теплопотребления с ростом x показан на графике рис. 1.

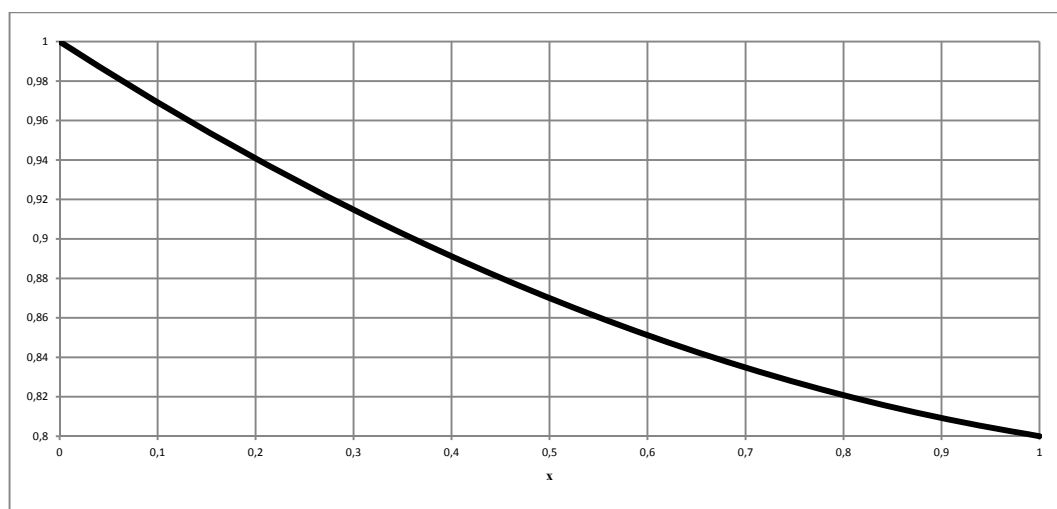


Рисунок 1. Зависимость снижения энергопотребления здания от относительной глубины реализации работ по интеллектуальному оборудованию здания

Самарин О.Д., Гришнева Е.А. Определение оптимальных затрат на управление климатическими системами интеллектуального здания

Такой вид зависимости – с постепенным уменьшением экономии на энергозатратах с увеличением x – принимается по аналогии с имеющимися исследованиями в этой области [16], касающимися влияния других энергосберегающих мероприятий на теплопотребление здания. Параметр c представляет собой коэффициент отклонения снижения электропотребления по сравнению со снижением теплопотребления; $c = 1,5$ [15] (электропотребление снижается в 1,5 раза быстрее).

Теперь найдем производную от СДЗ по x и приравняем ее к нулю:

$$\frac{d(СДЗ)}{dx} = K_0 \cdot (1 + p/100)^T (1 + 1,5/T_{ам}) - \left[(a - 2bx)C_m Q_{m,0} + (ac - 2bcx)C_{эл} Q_{э,0} \right] \cdot (100/p) = 0 \quad (5)$$

Отсюда для оптимального значения x получаем следующее выражение:

$$x_{опт} = \frac{\left[(1 + p/100)^T - 1 \right] \cdot (100/p) (aC_m Q_{m,0} + acC_{эл} Q_{э,0}) - K_0 \cdot (1 + p/100)^T (1 + 1,5/T_{ам})}{2 \left[(1 + p/100)^T - 1 \right] \cdot (100/p) (bC_m Q_{m,0} + bcC_{эл} Q_{э,0})} = \frac{a}{2b} - \frac{K_0 \cdot (1 + p/100)^T (1 + 1,5/T_{ам})}{2 \left[(1 + p/100)^T - 1 \right] \cdot (100/p) (bC_m Q_{m,0} + bcC_{эл} Q_{э,0})} = \frac{1}{2b} \left(a - \frac{K_0 (1 + 1,5/T_{ам}) K_T}{C_m Q_{m,0} + cC_{эл} Q_{э,0}} \right) \quad (6)$$

Здесь $K_T = \frac{(1 + p/100)^T}{\left[(1 + p/100)^T - 1 \right] \cdot (100/p)}$ – коэффициент учета дисконтирования затрат. Легко видеть, что его предельное значение при $T \rightarrow \infty$ равно $p/100$. При $p = 8\%$ годовых характер изменения K_T представлен на рис. 2.

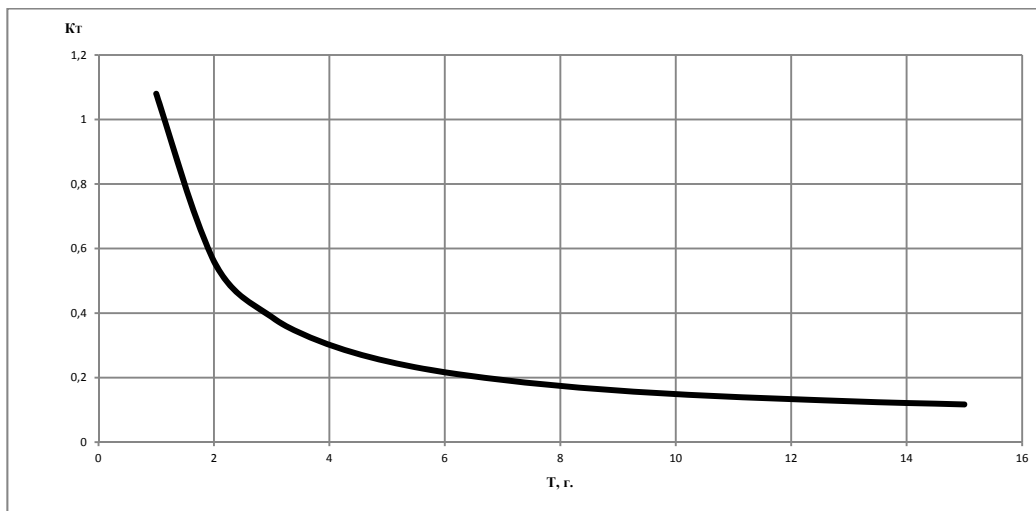


Рисунок 2. Зависимость коэффициента учета дисконтирования затрат от расчетного срока T

Следовательно, чем больше предполагаемый срок окупаемости дополнительных капиталовложений в инженерное оборудование и системы его автоматизации и управления, тем выше оптимальное значение $x_{опт}$. В то же время сам по себе уровень K оказывает на $x_{опт}$ противоположное влияние – при увеличении затрат величина $x_{опт}$ будет падать. Если использовать удельные значения, отнесенные к 1 м^2 отапливаемой площади здания и приведенные в работе [15], получим: $K_0 = 600 \text{ руб./м}^2$; $Q_{т,0} = 0,31 \text{ Гкал/(м}^2 \cdot \text{г.)}$; $Q_{эл,г} = 12,4 \text{ кВт} \cdot \text{ч/(м}^2 \cdot \text{г.)}$; $C_T = 1325,7 \text{ руб./Гкал}$; $C_{эл} = 2,66 \text{ руб./кВт} \cdot \text{ч}$ по состоянию на 2011 год. Расчетный срок амортизации $T_{ам}$ можно принять равным 15 лет, а $T = 10$ лет так же по данным [15], откуда $K_T = 0,15$. За рубежом имеются аналогичные рекомендации о расчетных сроках окупаемости энергосберегающих мероприятий, например, [17]. Некоторые смежные вопросы рассматривались также в публикации [18]. В этом случае для оптимального уровня $x_{опт}$ находим:

$$x_{опт} = \frac{1}{2b} \left(a - \frac{K_0 (1 + 1,5/T_{ам}) K_T}{C_m Q_{m,0} + cC_{эл} Q_{э,0}} \right) = \frac{1}{2 \cdot 0,12} \left(0,32 - \frac{600(1 + 1,5/15) \cdot 0,15}{1325,7 \cdot 0,31 + 1,5 \cdot 2,66 \cdot 12,4} \right) = 0,437.$$

Самарин О.Д., Гришневая Е.А. Определение оптимальных затрат на управление климатическими системами интеллектуального здания

Отсюда оптимальные удельные капиталовложения будут равны $600 \cdot 0,437 = 262$ руб./м², или 8,75 USD/м² (при курсе 30 руб./USD).

Таким образом, в рассматриваемом примере экономически целесообразная глубина реализации инженерного оборудования «интеллектуального» дома составляет чуть меньше половины максимально возможного объема, принятого за основу в [15]. Полученная информация может быть использована при решении вопроса о составе и оптимальной последовательности операций по монтажу и наладке климатических систем в подобных объектах, что предполагается осуществить в ходе дальнейших исследований.

Литература

1. Горшков А. С. Энергоэффективность в строительстве: вопросы нормирования и меры по снижению энергопотребления зданий // Инженерно-строительный журнал. 2010. №1. С. 9–13.
2. Файст В. Основные положения по проектированию пассивных домов / Пер. с нем. с доп. под ред. Елохова А. Е. М.: АСВ, 2008. 144 с.
3. Feist W. Das Niedrigenergiehaus. 4.Auflage. Heidelberg: C.F.Müller Verlag, 1997. 144 p.
4. Lapinskiene V, Paulauskaite S, Motuziene V. The analysis of the efficiency of passive energy saving measures in office buildings // Pap. of the 8-th conf. "Environmental engineering" of VGTU. Vilnius, 2011. Pp. 769 – 775.
5. Harke W. Smart Home. Vernetzung von Haustechnik und Kommunikationssystemen im Wohnungsbau. Heidelberg: C.F.Müller Verlag, 2004. 288 p.
6. Мосэнергосбыт. Тарифы. Тарифы для частных клиентов. Тарифы на 2011 год. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: http://www.mosenergosbyt.ru/portal/page/portal/site/tarifs/physical_person_tarifs/#y9u9. (Дата обращения: 20.12.2011).
7. Московская объединенная энергетическая компания. Тарифы. Сведения об утвержденных тарифах для ОАО «МОЭК» на 2011 год. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <http://www.oaomok.ru/ru/content/view/414/119/> (Дата обращения: 20.12.2011).
8. Дмитриев А. Н. Управление энергосберегающими инновациями в строительстве зданий. М.: АСВ, 2000. 320 с.
9. Комков В. А., Тимахова Н. С. Энергосбережение в жилищно-коммунальном хозяйстве. М.: ИНФРА-М, 2010. 320 с.
10. Kapliński O. Information technology in the development of the polish construction industry // Technological and economic development of economy. 2009. №15 (3). Pp. 437–452.
11. Гагарин В. Г. Методы экономического анализа повышения уровня теплозащиты ограждающих конструкций зданий. Часть 1 // АВОК, 2009. №1. С. 10–16.
12. Гагарин В. Г. Макроэкономические аспекты обоснования энергосберегающих мероприятий при повышении теплозащиты ограждающих конструкций зданий // Строительные материалы. 2010. №3. С. 8–16.
13. Самарин О. Д. Вопросы экономики в обеспечении микроклимата зданий. М.: АСВ, 2011. 128 с.
14. Самарин О. Д. Теплофизика. Энергосбережение. Энергоэффективность. 2-е изд. М.: АСВ, 2011. 296 с.
15. Самарин О. Д., Гришневa Е. А. Оценка экономической целесообразности системы управления интеллектуальным зданием // Монтажные и специальные работы в строительстве. 2012. №2. С. 12-14.
16. Лобов О. И., Ананьев А. И., Абарыков В. П., Синютин А. Е. Физические основы проектирования фасадных систем зданий // Кровельные и изоляционные материалы. 2009. №2. С. 40–43.
17. Uzsilaityte L., Martinaitis V. Impact of the implementation of energy saving measures on the life cycle energy consumption of the building. Pap.of conf. of VGTU, 2008. Vol. II. Pp. 875–881.
18. Šliogerienė J., Kaklauskas A., Zavadskas E. K., Bivainis J., Seniut M. Environment factors of energy companies and their effect on value: analysis model and applied method // Technological and economic development of economy. 2009. №15 (3). Pp. 490–521.

**Олег Дмитриевич Самарин, Москва, Россия
Тел. раб.: +7(499)188-36-07; эл. почта: samarin1@mtu-net.ru*

© Самарин О.Д., Гришневa Е.А., 2012

Самарин О.Д., Гришневa Е.А. Определение оптимальных затрат на управление климатическими системами интеллектуального здания

doi: 10.5862/MCE.32.9

Determining the optimal costs on engineering equipment control systems for smart house

**O.D. Samarin,
E.A. Grishneva,**

Moscow State Building University, Moscow, Russia
+7(499)188-36-07; e-mail: samarin1@mtu-net.ru

Key words

smart house; energy saving; engineering equipment; cumulative discounted costs; payback term; implementation level

Abstract

In the paper some candidate solutions of a problem of a decrease of energy consumption in civil buildings were reviewed. The features of implementation of measures on the engineering equipment for smart house were shown.

The basic constituents of the working costs were submitted at operation of such object. The dependence of costs change on the depth of engineering measures implementation was investigated. The economically optimum degree of building equipping according to criterion of cumulative discounted costs minimization was detected.

The presentation is illustrated by graphic examples and numerical examples of calculations.

References

1. Gorshkov A. S. *Magazine of Civil Engineering*. 2010. No. 1. Pp. 9-13. (rus)
2. Fayst V. *Osnovnye polozheniya po proektirovaniyu passivnykh domov* [The main provisions for the design of passive houses]. Translated from the German. Moscow: ASV, 2008. 144 p. (rus)
3. Feist W. *Das Niedrigenergiehaus. 4. Auflage*. Heidelberg: C. F. Müller Verlag, 1997. 144 p.
4. Lapinskiene V, Paulauskaite S, Motuziene V. The analysis of the efficiency of passive energy saving measures in office buildings. *Pap. of the 8-th conf. "Environmental engineering" of VGTU*. Vilnius, 2011. Pp. 769-775.
5. Harke W. *Smart Home. Vernetzung von Haustechnik und Kommunikationssystemen im Wohnungsbau*. Heidelberg: C. F. Müller Verlag, 2004. 288 p.
6. *Mosenergosbyt. Tarify. Tarify dlya chastnykh kliyentov. Tarify na 2011 god* [Mosenergosbyt. Rates. Fees for private clients. Rates for 2011]. [Internet resource]. URL: http://www.mosenergosbyt.ru/portal/page/portal/site/tarifs/physical_person_tarifs/#y9u9. (rus)
7. *Moskovskaya obedinnaya energeticheskaya kompaniya. Tarify. Svedeniya ob utverzhdennykh tarifakh dlya OAO «MOEK» na 2011 god* [Moscow United Energy Company. Rates. For information about approved-tion rates for OJSC "MIPC" in 2011]. [Internet resource]. URL: <http://www.oaomoek.ru/ru/content/view/414/119/>. (rus)
8. Dmitriyev A. N. *Upravleniye energosberegayushchimi innovatsiyami v stroitelstve zdaniy* [Managing energy-efficient innovations in the construction of buildings]. Moscow: ASV, 2000. 320 p. (rus)
9. Komkov V. A., Timakhova N. S. *Energoberezhenie v zhilishchno-kommunalnom khozyaystve* [Energy savings in the residential sector]. Moscow: INFRA-M, 2010. 320 p. (rus)
10. Kapliński O. Information technology in the development of the polish construction industry. *Technological and economic development of economy*. 2009. No. 15 (3). Pp. 437-452.
11. Gagarin V. G. *AVOK*. 2009. No. 1. Pp. 10-16. (rus)
12. Gagarin V. G. *Stroitelnyye materialy* [Building materials]. 2010. No. 3. Pp. 8-16. (rus)
13. Samarin O. D. *Voprosy ekonomiki v obespechenii mikroklimata zdaniy* [Issues of economy on climate buildings]. Moscow: ASV, 2011. 128 p. (rus)
14. Samarin O. D. *Teplofizika. Energoberezhenie. Energoeffektivnost* [Thermal physics. Energy conservation. Energy Efficiency]. Second edition. Moscow: ASV, 2011. 296 p. (rus)

15. Samarin O. D., Grishneva E. A. *Montazhnye i spetsialnye raboty v stroitelstve* [Erecting and special works in construction]. 2012. No. 2. Pp. 12-14. (rus)
16. Lobov O. I., Ananov A. I., Abarykov V. P., Sinyutin A. E. *Krovelnye i izolyatsionnye materialy* [Roofing and insulation materials]. 2009. No. 2. Pp. 40-43. (rus)
17. Uzsilaityte L., Martinaitis V. Impact of the implementation of energy saving measures on the life cycle energy consumption of the building. *Pap.of conf. of VGTU*. 2008. Vol. 2. Pp. 875-881.
18. Šliogerienė J., Kaklauskas A., Zavadskas E. K., Bivainis J., Seniut M. Environment factors of energy companies and their effect on value: analysis model and applied method. *Technological and economic development of economy*. 2009. No. 15 (3). Pp. 490-521.

Full text of this article in Russian: pp. 60-63