

УДК 339.9:658:630

**Н. А. Григорьева**

Белорусский национальный технический университет

**ФАКТОРЫ ЭКОЛОГИЧНОСТИ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ  
В ОЦЕНКЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕРОПРИЯТИЙ  
ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ  
ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ**

Для оценки экономической эффективности мероприятий, обеспечивающих повышение энергоэффективности жилых зданий, разработана соответствующая методика, которая базируется на методике расчета жизненного цикла жилого здания и учитывает единовременные и периодические затраты, связанные с реализацией мероприятий повышения энергоэффективности. Повышение энергоэффективности жилых зданий обеспечивает сокращение удельных показателей энергопотребления и, как следствие, сокращение вредного воздействия на окружающую среду, связанного с выработкой энергии. Влияние этих факторов на оценку экономической эффективности предлагается производить при помощи коэффициента экологичности и коэффициента учета класса энергоэффективности жилого здания. Предложены значения коэффициента экологичности в зависимости от класса энергоэффективности здания, которые предоставляют возможность сопоставить причиненный окружающей среде ущерб в виде выбросов CO<sub>2</sub>, образуемых от сжигания топлива. Значения коэффициента учета класса энергоэффективности базируются на существующей системе классификации здания и отражают влияние сокращения энергопотребления на сокращение государственной поддержки в виде субсидируемых тарифов оплаты тепловой энергии населением. В методике оценки экономической эффективности мероприятий повышения энергоэффективности жилых зданий с использованием коэффициента экологичности и коэффициента учета класса энергоэффективности здания учитываются особенности формирования затрат и выгод от повышения энергоэффективности жилых зданий в течение всего жизненного цикла, что позволяет комплексно рассматривать экономические аспекты внедрения мероприятий, обеспечивающих повышение энергоэффективности жилых зданий.

**Ключевые слова:** жилые здания, строительство, эксплуатация, классы энергоэффективности, экологичность, оценка экономической эффективности.

**N. A. Grigor'yeva**

Belarusian National Technical University

**ECOLOGICAL AND ENERGY EFFICIENCY FACTORS  
IN EVALUATION OF ENERGY EFFICIENCY ACTIVITIES  
INCREASE ECONOMIC EFFECTIVENESS OF RESIDENTIAL BUILDINGS**

An appropriate methodology has been developed to assess the economic efficiency of measures to improve the energy efficiency of residential buildings, which is based on the methodology for life cycle calculating of residential buildings and takes into account the one-time and periodic costs associated with the implementation of energy efficiency measures. Increasing the energy efficiency of residential buildings reduces the specific energy consumption indicators, and as a result, reduces the harmful environmental impact associated with energy production. The effect of these factors on the assessment of economic efficiency is proposed to be carried out using the Ecological Coefficient and the Energy Efficiency Coefficient of a residential building. The values of the Ecological Coefficient are proposed depending on the energy efficiency class of the building, which provide an opportunity to compare the damage caused to the environment in the form of CO<sub>2</sub> emissions from combustion of fuel. The values of the Energy Efficiency Coefficient are based on the existing classification system of the building, and reflect the impact of reduced energy consumption, on the reduction of state support in the form of subsidized tariffs for payment for heating energy by the population. In the methodology for assessing the economic efficiency of measures to improve the energy efficiency of residential buildings the Ecological Coefficient and the Energy Efficiency Coefficient are used. The peculiarities of cost and benefits formation from improving the energy efficiency of residential buildings throughout the life cycle are taken into account, which makes it possible to comprehensively consider the economic aspects of the implementation of activities, which provide increasing the energy efficiency of residential buildings.

**Key words:** residential buildings, construction, estimation, energy efficiency classes, environmental friendliness, economic efficiency methodology.

**Введение.** Значительным резервом повышения энергоэффективности экономики Республики Беларусь является сфера жилья. Жилищный сектор является одним из главных потребителей тепловой энергии. По данным Международного Энергетического Агентства, в 2014 г. жилищный сектор Беларуси потребил 43,8% выработанной тепловой энергии [1]. При этом структура энергопотребления в жилищном секторе свидетельствует о том, что 52% энергопотребления приходится на отопление помещений, 18% на приборы и оборудование, 16% на подогрев воды [2].

В соответствии с ТКП 45-2.04-196-2010 «Тепловая защита зданий» теплоэнергетический паспорт здания в Республике Беларусь предназначен для подтверждения соответствия показателей энергетической эффективности и теплотехнических показателей здания нормативным значениям, содержит расчетные геометрические, теплотехнические, энергетические характеристики здания, включая класс здания [3]. Также он входит в состав проектной документации, то есть контролируется государственной экспертизой, и предполагает контроль энергетических характеристик на стадии эксплуатации.

Класс энергетической эффективности здания – это характеристика уровня энергетической эффективности здания, определяемая интервалом значений удельного расхода тепловой энергии  $q_h^{des}$  в процентах от нормативных значений [4]. Выделяются 5 классов: I – энергоэффективный (–20%), II – с низким потреблением энергии (От –11 до –19%), III – с нормальным потреблением энергии (от +10 до –10%), IV – с повышенным потреблением энергии (от +6 до +75%), V – с высоким потреблением энергии (свыше 76%).

Класс энергоэффективности здания определяется при известных размерах и планировке здания, климатических данных, а также размерах приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций. Рассчитываются теплопотери через ограждающие конструкции здания и через систему вентиляции, определение теплопотерь, энергопотребления здания за отопительный период, удельного потребления тепловой энергии. Итогом данных расчетов служит определение класса энергоэффективности, который указывается в теплоэнергетическом паспорте здания.

Класс энергоэффективности зданий в международной практике определяется в зависимости от удельного расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания в киловатт часах на метр квадратный и отображается в мар-

кировке энергетического сертификата (рисунок) [5].

Около трети выбросов  $CO_2$  в стране образуется в жилом фонде [1]. Распространение энергоэффективных зданий, предусматривающих не 200 кВт · ч на квадратный метр в год удельного потребления тепловой энергии на отопление и горячее водоснабжение, а принятые в Евросоюзе 60 кВт · ч на квадратный метр в год, также существенно снизит выбросы.

| Класс энергоэффективности | кВт·ч/м <sup>2</sup> год |
|---------------------------|--------------------------|
| A++                       | 10                       |
| A+                        | <15                      |
| A                         | <25                      |
| B                         | <50                      |
| C                         | <100                     |
| D                         | <150                     |
| E                         | <200                     |
| F                         | <250                     |

Классификация энергоэффективности зданий

Таким образом, в настоящее время класс энергоэффективности учитывает лишь отклонение от проектируемого значения удельного расхода и только тепловой энергии, в то время как по величине выбросов  $CO_2$  при эксплуатации здания учета не ведется вовсе.

**Основная часть.** За основу методики оценки экономической эффективности мероприятий повышения энергоэффективности жилых зданий принята Методика расчета жизненного цикла жилого здания с учетом стоимости совокупных затрат, разработанная Международной ассоциацией фондов жилищного строительства и ипотечного кредитования (МАИФ) [6].

Для оценки влияния энергоэффективности жилого здания совокупная стоимость затрат жизненного цикла включает:

– для периодических затрат – коэффициент экологичности, учитывающий величину выбросов  $CO_2$  при эксплуатации здания;

– для единовременных – коэффициент энергоэффективности, учитывающий класс энергетической эффективности здания.

В общем виде методику расчета чистого дисконтированного дохода (ЧДД или NPV) для оценки экономической эффективности мероприятий повышения энергоэффективности жилых зданий можно представить в следующем виде:

$$\begin{aligned} \text{ЧДД} = & \sum_{t=0}^T (\mathcal{E}_{\text{год}} / E_c) / (1+E)^t - \\ & - \mathcal{Z}_{\text{ед.нач}} \cdot K_e / (1+E)^t - \\ & - \sum_{t=0}^T \mathcal{Z}_{\text{пер}} / (1+E)^t - \mathcal{Z}_{\text{ед.кон}} / (1+E)^t, \quad (1) \end{aligned}$$

где ЧДД – чистый дисконтированный доход, руб.;  $\mathcal{E}_{\text{год}}$  – годовая экономия ресурсов, получаемая от реализации данного мероприятия (в стоимостном выражении), руб.;  $E_c$  – коэффициент экологичности;  $E$  – ставка дисконтирования;  $\mathcal{Z}_{\text{ед.нач}}$  – первоначальные единовременные затраты, связанные с повышением энергоэффективности жилых зданий, руб.;  $K_e$  – коэффициент энергоэффективности здания;  $\mathcal{Z}_{\text{пер}}$  – периодические затраты, связанные с техническим обслуживанием и ремонтом оборудования, конструктивных элементов, инженерных сетей и коммуникаций, обеспечивающих повышение энергоэффективности жилых зданий, руб.;  $\mathcal{Z}_{\text{ед.кон}}$  – единовременные затраты, возникающие после окончания срока службы оборудования при разборке и демонтаже оборудования, инженерных сетей и коммуникаций, руб.

Таким образом, при оценке экономической эффективности мероприятий повышения энергоэффективности жилых зданий необходимо учитывать экономический эффект от воздействия на окружающую среду. Так, энергоэффективное строительство имеет экологическую составляющую, снижающую вред, наносимый окружающей среде и человеку, направлено на устойчивое развитие общества в целом, учет факторов энергетической, экологической и социальной эффективности при экономической оценке мероприятий повышения энергоэффективности и позволяет дать комплексную оценку мероприятиям повышения энергоэффективности жилых зданий.

Для учета влияния повышения энергоэффективности на стоимость жизненного цикла здания в методике применяются коэффициент экологичности и коэффициент учета класса энергоэффективности. Таким образом, в методику оценки экономической эффективности повышения энергоэффективности жилых зданий предлагается ввести коэффициент экологичности и коэффициент учета класса энергоэффективности здания.

Коэффициент экологичности ( $E_c$ ) учитывает класс здания энергетической эффективности. Поскольку повышение энергоэффективности напрямую связано с сокращением энергопотребления, то пропорционально этому сокращению снижаются выбросы загрязняющих веществ, вредное воздействие на окружающую среду.

Объем выбросов парниковых газов при эксплуатации здания в  $\text{CO}_2$  эквиваленте рассчитывается по ТКП 17.09-01-2011(02120) «Правила оценки выбросов за счёт внедрения мероприятий по энергосбережению, нетрадиционных и возобновляемых источников энергии». В соответствии с ним, в случае получения электрической и (или) тепловой энергии от энергетической системы, в качестве источника, на котором использовано топливо, затраченное на отпуск одного киловатт-часа (кВт·ч), выбирается источник со средним по Республике Беларусь потреблением топлива, равным 271 кг у. т./кВт·ч. (Для более точного расчета выбросов  $\text{CO}_2$  конкретного здания необходимо знание о потреблении вторичных энергоресурсов (по видам топлива) для выработки электроэнергии и тепла, поскольку расчетный коэффициент выбросов зависит от конкретных видов топлива, затраченных на выработку энергии).

Также следует отметить, что прямой учет и мониторинг выбросов парниковых газов в секторе жилых зданий в Беларуси не ведется, поскольку данные официальной статистики о потреблении топлива в различных секторах агрегированы и не позволяют точно определить его потребление жилыми зданиями и их энергоэффективность, а следовательно, оценить выбросы парниковых газов.

Коэффициент экологичности вводится для учета фактора влияния выбросов  $\text{CO}_2$  на стоимость жизненного цикла здания. За единичное значение принимается средний класс энергоэффективности «В» с удельным потреблением тепловой энергии на отопление не более 60 кВт·ч/м<sup>2</sup>. Далее пропорционально различиям в выбросах парниковых газов принимаются значения коэффициента экологичности.

Таким образом, пропорционально выбросам, коэффициент экологичности рекомендуется принимать в размерах, приведенных в табл. 1.

Таблица 1

## Значение коэффициента экологичности

| Класс энергоэффективности | кВт·ч/м <sup>2</sup> | Выбросы кг у. т., эквивалента $\text{CO}_2$ на 1 м <sup>2</sup> | Коэффициент экологичности |
|---------------------------|----------------------|---|---------------------------|
| A++                       | 10                   | 2 710   | 0,85                      |
| A+                        | <15                  | <4 065  | 0,9                       |
| A                         | <25                  | <6 775  | 0,95                      |
| B                         | <50                  | <13 550   | 1                         |
| C                         | <100                 | <27 100   | 1,1                       |
| D                         | <150                 | <40 650   | 1,2                       |
| E                         | <200                 | <54 200   | 1,3                       |
| F                         | <250                 | <67 750   | 1,4                       |

Примечание. Собственная разработка автора

Коэффициент экологичности дает возможность сопоставить причиненный окружающей среде дополнительный «неосязаемый» ущерб в виде выбросов  $\text{CO}_2$ , образуемых от сжигания топлива.

При прочих равных условиях, затратах на строительство и эксплуатационных расходах с точки зрения устойчивого развития и влияния на окружающую среду стоимость затрат жизненного цикла эффективного экологичного здания всегда ниже стоимости стандартного здания за счет меньшего экологического отрицательного воздействия на окружающую среду, выраженного, в первую очередь, в количестве выделенного в атмосферу тепла и  $\text{CO}_2$ .

В любом случае, при одинаковой стоимости строительства, выбросы в окружающую среду экологичного дома меньше. Поэтому при расчете затрат жизненного цикла экологичного дома применяется понижающий коэффициент экологичности, который позволяет учесть остальные нематериальные экологические факторы.

$$E_c = \frac{LCC_{eco}}{LCC_{standart}} = C_{energo} \cdot \left( \frac{\text{CO}_2^{eco}}{\text{CO}_2^{standart}} \right)^Y, \quad (2)$$

где  $E_c$  – коэффициент экологичности – интегрированный показатель общей энергоэффективности и экологичности дома, учитывающий соответствие строительного объекта белорусским и международным стандартам энергоэффективного строительства;  $LCC_{eco}$  – стоимость затрат жизненного цикла энергоэффективного дома, руб.;  $LCC_{standart}$  – стоимость затрат жизненного цикла жилого дома стандартных показателей энергопотребления, руб.  
 $C_{energo} = C_{el} \cdot C_{\sigma} \cdot C_h \cdot C_{cw} \cdot C_{hw} \cdot C_{se}$  – коэффициент общей энергоэффективности (ресурсоэффективности) дома, определяемый как произведение удельных весов показателей регулярных затрат, таких как  $C_{el}$  – удельный вес затрат

на электроэнергию;  $C_g$  – удельный вес затрат на газ;  $C_h$  – удельный вес затрат на отопление;  $C_w$  – удельный вес затрат на холодное водоснабжение;  $C_{hw}$  – удельный вес затрат на горячее водоснабжение;  $C_{se}$  – удельный вес затрат на водоотведение.

Регулярные затраты рассчитываются в течение планового периода эксплуатации и соотносятся в долях от общих затрат ЖКХ здания.

$$\left( \frac{\text{CO}_2^{eco}}{\text{CO}_2^{standart}} \right)^Y$$
 – отношение количества вы-

бросов (углекислого газа, тепла, других вредных веществ), выделяемых стандартным и экологичным энергоэффективным домом в окружающую среду, в соответствии с белорусскими и международными строительными и экологическими стандартами, в течение одного года эксплуатации (или суммарно за весь период жизненного цикла здания – строительство, эксплуатация, снос) с учетом цены  $Y$  (степень отношения сравниваемых факторов) в натуральном или денежном выражении.

Расчет показателя экологичности здания необходимо проводить ежегодно, так как во время эксплуатации здания расчетные значения выбросов  $\text{CO}_2$  могут отличаться от реальных, а также в связи с изменением норм проектирования класс энергоэффективности также может претерпевать изменения. Таким образом, для наиболее точной оценки экономической эффективности повышения энергоэффективности жилых зданий коэффициент экологичности должен учитываться в методике оценки и пересчитываться ежегодно.

Коэффициент учета класса энергоэффективности ( $K_e$ ) учитывает класс энергоэффективности здания в соответствии с ТКП 45-2.04-196-2010 «Тепловая защита зданий». Значения коэффициента учета класса энергоэффективности показаны в табл. 2.

Таблица 2

Значения коэффициента учета класса энергоэффективности зданий

| Обозначение класса                    | Наименование класса энергетической эффективности | Отклонение («+» или «-») фактических значений удельного расхода тепловой энергии на отопление здания $q_h^{des}$ от нормативных значений, % | Значение коэффициента учета класса энергоэффективности |
|---------------------------------------|--|---|--|
| Для новых и реконструированных зданий |  |   |  |
| I                                     | Энергоэффективный                                | -20   | 0,8  |
| II                                    | С низким потреблением энергии                    | От -11 до -19   | 0,9  |
| III                                   | С нормальным потреблением энергии                | От +10 до -10   | 1  |
| Для существующих зданий               |  |   |  |
| IV                                    | С повышенным потреблением энергии                | От +6 до +75  | 1,1  |
| V                                     | С высоким потреблением энергии                   | Св. +76   | 1,2  |

Примечание. Собственная разработка автора

За единичное значение принимается здание типа III «с нормальным потреблением» и отклонением расчетных (фактических) значений удельного расхода тепловой энергии на отопление здания от нормативных значений в пределах 10% в стороны увеличения и уменьшения.

Коэффициент учета класса энергоэффективности зданий позволяет учесть массу факторов, влияющих на расход тепловой энергии, через класс энергетической эффективности. При изменении классификации зданий, норм удельных расходов тепловой энергии на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение значение коэффициента подлежит пересчету, приведению в соответствие с энергией в зависимости от класса энергоэффективности.

**Заключение.** При оценке экономической эффективности мероприятий повышения энергоэффективности жилых зданий необходимо учитывать экономический эффект от воздействия на окружающую среду. Так, энергоэффек-

тивное строительство имеет экологическую составляющую, снижающую вред, наносимый окружающей среде и человеку, направлено на устойчивое развитие общества в целом, учет факторов энергетической, экологической и социальной эффективности при экономической оценке мероприятий повышения энергоэффективности и позволяет дать комплексную оценку мероприятиям повышения энергоэффективности жилых зданий. Для учета влияния повышения энергоэффективности на стоимость жизненного цикла здания в представленной методике расчета стоимости жизненного цикла здания применяются коэффициент экологичности и коэффициент учета класса энергоэффективности. При внедрении данных коэффициентов будут учтены особенности затрат и будущих выгод от энергоэффективных зданий, с предположением возможности расчета необходимого субсидирования на повышение энергоэффективности от государства.

### Литература

1. Belarus: Electricity and Heat // Международное энергетическое агентство. ЕС 2017. URL: <https://www.iea.org/statistics/statisticssearch/report/?country=Belarus&product=electricityandheat> (дата обращения: 08.09.2017).
2. Углубленный обзор политики и программ в сфере энергоэффективности: Республика Беларусь // Секретариат энергетической хартии. Минск, 2013. URL: [www.encharter.org](http://www.encharter.org). (дата обращения: 01.08.2017).
3. Тепловая защита зданий. Теплоэнергетические характеристики. Правила определения: ТКП 45-2.04-196-2010. Минск, 2010. 14 с.
4. Тепловая защита зданий. Теплоэнергетические характеристики. Правила определения: ТКП 45-2.04-196-2010. Минск, 2010. 32 с.
5. Энергетическая сертификация зданий: первый опыт в Республике Беларусь // ПРОЕКТ ПРООН/ГЭФ «Повышение энергетической эффективности жилых зданий в Республике Беларусь». Минск, 2017. URL: [http://www.ecoproject.by/sites/default/files/6624\\_Polish%20](http://www.ecoproject.by/sites/default/files/6624_Polish%20) (дата обращения: 02.08.2017).
6. Методика расчета жизненного цикла жилого здания с учетом стоимости совокупных затрат: Международная ассоциация фондов жилищного строительства и ипотечного кредитования (МА-ИФ). Введ. 04.06.16. М.: Национальное объединение проектировщиков, 2014. 72 с.

### References

1. Belarus: Electricity and Heat. *Mezhdunarodnoye energeticheskoye agentstvo. ES 2017* [International Energy Agency. EU 2017]. Available at: <https://www.iea.org/statistics/statisticssearch/report/?country=Belarus&product=electricityandheat> (accessed 08.09.2017).
2. In-depth review of energy efficiency policies and programs: Republic of Belarus. *Sekretariat energeticheskoy khartii* [Secretariat of the Energy Charter]. Minsk, 2013. Available at: [www.encharter.org](http://www.encharter.org). (accessed 01.08.2017).
3. Thermal protection of buildings. Heat power characteristics. Rules of the determination: TCP 45-2.04-196-2010. Minsk, 2010. 14 p.
4. Thermal protection of buildings. Heat power characteristics. Rules of the definition: TCP 45-2.04-196-2010. Minsk, 2010. 32 p.
5. *Energeticheskaya sertifikatsiya zdaniy: pervyy opyt v Respublike Belarus'. PROEKT PROON/GEF "Povysheniye energeticheskoy effektivnosti zhilykh zdaniy v Respublike Belarus'"* [Energy certification of buildings: first experience in the Republic of Belarus. UNDP / GEF PROJECT "Improving the energy efficiency of residential buildings in the Republic of Belarus"]. Minsk, 2017. Available at: [http://www.ecoproject.by/sites/default/files/6624\\_Polish%20](http://www.ecoproject.by/sites/default/files/6624_Polish%20) (accessed 02.08.2017).

6. *Metodika rascheta zhiznennogo tsikla zhilogo zdaniya s uchetom stoimosti sovokupnykh zatrat: mezhdunarodnaya assotsiatsiya fondov zhilishchnogo stroitel'stva i ipotechnogo kreditovaniya (MAIF)* [The methodology for calculating the life cycle of a residential building, taking into account the cost of total costs: International Association of Housing and Mortgage Lending Funds (MAIF)]. Moscow, Natsional'noye ob'yedineniye proektirovshchikov Publ., 2014. 72 p.

#### **Информация об авторе**

**Григорьева Наталия Александровна** – магистр экономических наук, ассистент кафедры «Экономика строительства». Белорусский национальный технический университет (220013, г. Минск, пр-т Независимости, 150, Республика Беларусь). E-mail: 9grigoryeva@gmail.com

#### **Information about the author**

**Grigor'yeva Nataliya Alexandrovna** – Master of Economic Sciences, Assistant of the “Economics in Civil Engineering” Department. Belarusian National Technical University (150, Nezavisimosty Ave., Minsk, 220013, Republic of Belarus,). E-mail: 9grigoryeva@gmail.com

*Поступила 04.10.2017*