

**Кузьмин Сергей Иванович,**

к.т.н., доцент, Ангарский государственный технический университет,  
e-mail: sergey.kuzmin@mail.ru

**Камолова Екатерина Анатольевна,**

магистрант, Ангарский государственный технический университет,  
e-mail: pgs@angtu.ru

**АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ ЕДИНОВРЕМЕННЫХ ЗАТРАТ  
ПРИ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ МЕРОПРИЯТИЯХ  
ДЛЯ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ЖИЛОГО ЗДАНИЯ**

**Kuzmin S.I., Kamolova E.A.**

**ANALYSIS OF THE STRUCTURE OF ONE-TIME COSTS  
FOR ENERGY-SAVING MEASURES FOR AN INDIVIDUAL  
RESIDENTIAL BUILDING**

**Аннотация.** В работе представлены результаты анализа влияния энергосберегающих мероприятий на структуру единовременных затрат для индивидуального жилого здания. Рассмотрены варианты утепления наружной вертикальной оболочки здания для стены, выполненной из керамического кирпича, газобетона и двухслойной конструкции – газобетон с полистиролом.

**Ключевые слова:** энергосбережение, тепловая защита здания, оборудование системы отопления, капитальные вложения.

**Abstract.** The paper presents the results of an analysis of the impact of energy-saving measures on the structure of one-time costs for an individual residential building. The options of insulation of the external vertical shell of the building for a wall made of ceramic bricks, aerated concrete and a two-layer structure - aerated concrete with polystyrene are considered.

**Keywords:** energy saving, thermal protection of the building, heating system equipment, capital investments.

В соответствии с действующим законодательством [1], тепловая защита зданий должна соответствовать определенному классу энергопотребления [2].

Это достигается в основном за счёт утепления внешней оболочки здания путем применения многослойных конструкций с эффективным теплоизоляционным материалом или увеличением толщины стены. Увеличение сопротивления теплопередачи ограждения снижает теплопотребления на отопление, но увеличивает затраты на сооружение внешней оболочки. Многовариантность решений, обеспечивающих требуемые показатели, сопровождается различными затратами на их реализацию. При этом соотношение между отдельными составляющими в общих единовременных затратах могут меняться в зависимости от степени утепления здания. И представляется полезным выявить тенденцию формирования структуры единовременных затрат при реализации теплосберегающих решений. Это может оказаться полезным при выборе конструкции оболочки здания.

В настоящей работе представлены результаты анализа влияния мероприятий по утеплению внешней оболочки на структуру единовременных затрат для индивидуального жилого здания.

На рисунке 1 представлена схема структуры элементов здания и инженерного оборудования, определяющих структуру единовременных затрат для здания с водяной системой отопления и автономным источником тепла.

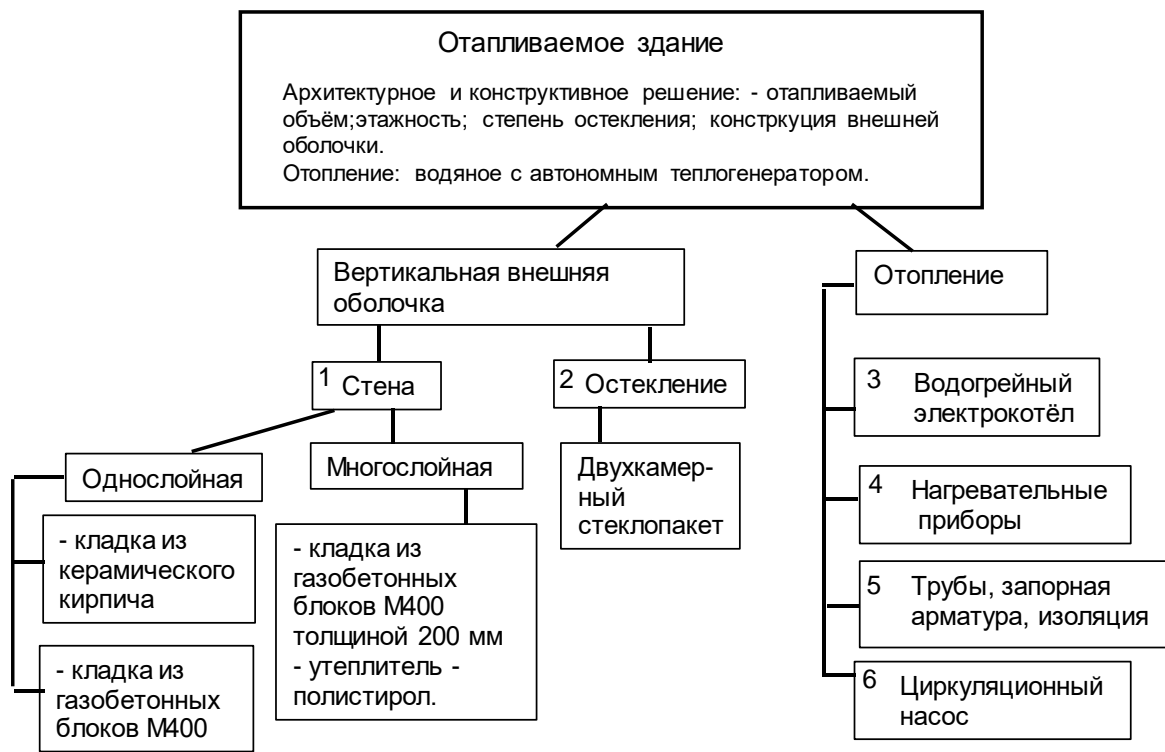


Рисунок 1 – Структурная схема теплосберегающих элементов здания

Общие единовременные затраты элементов, влияющих на энергоэффективность здания, определяются по (1):

$$Z = Z_{в.об.} + Z_{со.} = Z_{ст.к} + Z_{ст.ут.} + Z_{ок} + Z_{кот.} + Z_{тр} + Z_{нп} + Z_{цн}, \quad (1)$$

где  $Z_{в.об.}$  и  $Z_{со.}$  – единовременные затраты соответственно на утепление вертикальной части внешней оболочки и систему отопления, у.е.;

$Z_{ст.к}$ ,  $Z_{ст.ут.}$  и  $Z_{ок}$  – единовременные затраты соответственно на конструктивный и утеплительный слои стены, конструкцию остекления, у.е.;

$Z_{кот.}$ ,  $Z_{тр}$ ,  $Z_{нп}$  и  $Z_{цн}$  – единовременные затраты соответственно на водогрейный котёл, линейные элементы системы отопления (трубы, запорная арматура, тепловая изоляция), нагревательные приборы и циркуляционный насос, у.е.

Единовременные затраты на конструктивную часть оболочки  $Z_{ст.к}$  (у.е.) выразятся через полную стоимость материалов  $c_{к.м}$ , строительно-монтажных работ (у.е./м<sup>3</sup>) и их объём  $V_{ст.к}$ :

$$Z_{об.к} = V_{ст.к} \cdot c_{к.м} \cdot k_{к.м}, \quad (2)$$

где  $k_{к.м}$  – коэффициент, учитывающий долю затрат на строительно-монтажные работы от стоимости материалов.

Единовременные затраты на утепление оболочки  $Z_{\text{ст.ут}}$  (у.е.) выразятся через стоимость теплоизоляционных материалов и монтажных работ  $c_{\text{и.м}}$  (у.е./м<sup>3</sup>) и их объём  $V_{\text{и.м}}$ :

$$Z_{\text{ут.и}} = c_{\text{и.м}} \cdot V_{\text{и.м}} \cdot K_{\text{м}}. \quad (3)$$

Объём материалов зависит от степени утепления оболочки и её площади:

$$V_{\text{м.}f} = \Sigma(\delta_{\text{и.м.}f} \cdot A_f) = \Sigma R_{of} \cdot \lambda_{\text{м.}f} \cdot A_f, \quad (4)$$

где  $\delta_{\text{и.м.}f}$  – толщина слоя материала  $f$ -го вида оболочки, м;

$A_f$  – площадь утепляемой части оболочки, м<sup>2</sup>;

$R_{of}$  – сопротивление теплопередачи  $f$ -го элемента оболочки, м<sup>2</sup> °С/Вт;

$\lambda_{\text{и.м.}f}$  – коэффициент теплопроводности материала  $f$ -го вида оболочки, Вт/м·°С.

Единовременные затраты на светопрозрачную оболочку  $Z_{\text{ок}}$  примут вид:

$$Z_{\text{ок}} = c_{\text{ок}} \cdot \bar{A}_o \cdot 2 \cdot (a + b) \cdot h_{\text{эт}} \cdot n_{\text{эт}}, \quad (5)$$

где  $c_{\text{ок}}$  – полная стоимость заполнения оконного проёма, у.е./м<sup>2</sup>;

$\bar{A}_o$  – доля светопрозрачных проёмов в общей площади вертикальных ограждений;

$a$  и  $b$  – размер сторон здания в плане, м;

$h_{\text{эт}}$  – высота этажа отапливаемого объёма здания этажностью  $n_{\text{эт}}$ , м.

Единовременные затраты на систему отопления определяются стоимостью оборудования и материалов и зависят от расчетной тепловой мощности системы  $Q_{\text{со}}$ . Стоимость элементов системы отопления определим по следующим зависимостям [3]:

- водогрейные электрические котлы марки ZOTA и мощностью  $N_{\text{котл}}$  (кВт):

$$Z_{\text{КТ}} = N_{\text{котл}} \cdot 78,191 \cdot (0,667 \cdot Q_{\text{со}} - 2)^{-0,423}, \quad (6)$$

- трубы лёгкие газопроводные (ГОСТ 3262-75):

$$Z_{\text{т.д}} = l_{\text{тр}} \cdot 0,51 \cdot \exp(1,1 \cdot \ln d_y - 2,66), \quad (7)$$

где  $d_y$  – условный диаметр трубы, мм;

$l_{\text{тр}}$  – длина трубы, м;

- циркуляционные насосы однофазные марок (Grundfos, Wilo) для условий эксплуатации с к.п.д не ниже 75%:

$$Z_{\text{ЦН}} = 91,2 \cdot \exp[0,222 \cdot (H_p - 1,5)], \quad (8)$$

где  $H_p$  – номинальный (паспортный) напор насоса, м вод. ст.

- секционные алюминиевые нагревательные приборы:

$$Z_{\text{НП}} = n_{\text{НП}} \cdot n_{\text{секц}} \cdot c_{\text{секц}}, \quad (9)$$

где  $n_{\text{НП}}$  и  $n_{\text{секц}}$  – соответственно количество нагревательных приборов в системе и число секций в приборе, шт.;

$c_{\text{секц}}$  – стоимость одной секции прибора, у.е.

- запорно-регулирующая арматура (типа «шаровой муфтовый кран») марки Valtec:

$$Z_{\text{а.д}} = n_{\text{НП}} \cdot 6,29 \cdot \exp(2,1 \cdot \ln d_y - 5,3), \quad (10)$$

- тепловая изоляция из вспененного синтетического каучука:

$$Z_{т.и.} = l_{из.} \cdot 1,28 \cdot \exp(0,89 \cdot \ln d_y - 2,2), \quad (11)$$

где  $l_{из.}$  – длина труб, покрытых тепловой изоляцией, м.

Для здания, имеющего отапливаемый объём в форме параллелепипеда, расчётная тепловая мощность системы отопления может быть определена по выражению [4]:

$$Q_{co} = V \cdot (R_o^{-1} \cdot (V \cdot a \cdot b^{-1} \cdot h_{эт} \cdot n_{эт})^{-0,33} \cdot \{2 \cdot (1 + a \cdot b^{-1}) \cdot [1 + \bar{A}_o \cdot (K_o \cdot R_{o.об} - 1)] + R_{o.ст} \cdot (0,9K_{пт} + 0,6K_{пл}) \cdot h_{эт} \cdot n_{эт} \cdot b^{-1}\} + 0,24) \cdot (t_b - t_H), \quad (12)$$

где  $V$  – отапливаемый объём здания, м<sup>3</sup>;

$K_o, K_{пт}, K_{пл}$  – коэффициенты теплопередачи, соответственно остекления, потолка, пола, Вт/м<sup>2</sup> °С.

Линейные размеры элементов определяются габаритами здания [4].

По представленным уравнениям был проведён анализ изменения структуры единовременных затрат при различной степени утепления вертикальной оболочки здания.

Анализ проводился для 2-х этажного индивидуального жилого здания, расположенного в климатических условиях Ангарска. Размер здания в плане – 12х8 м с высотой этажа 3 м. Отапливаемый объём составляет 576 м<sup>3</sup>. Конструкция наружных стен рассмотрена для трёх вариантов:

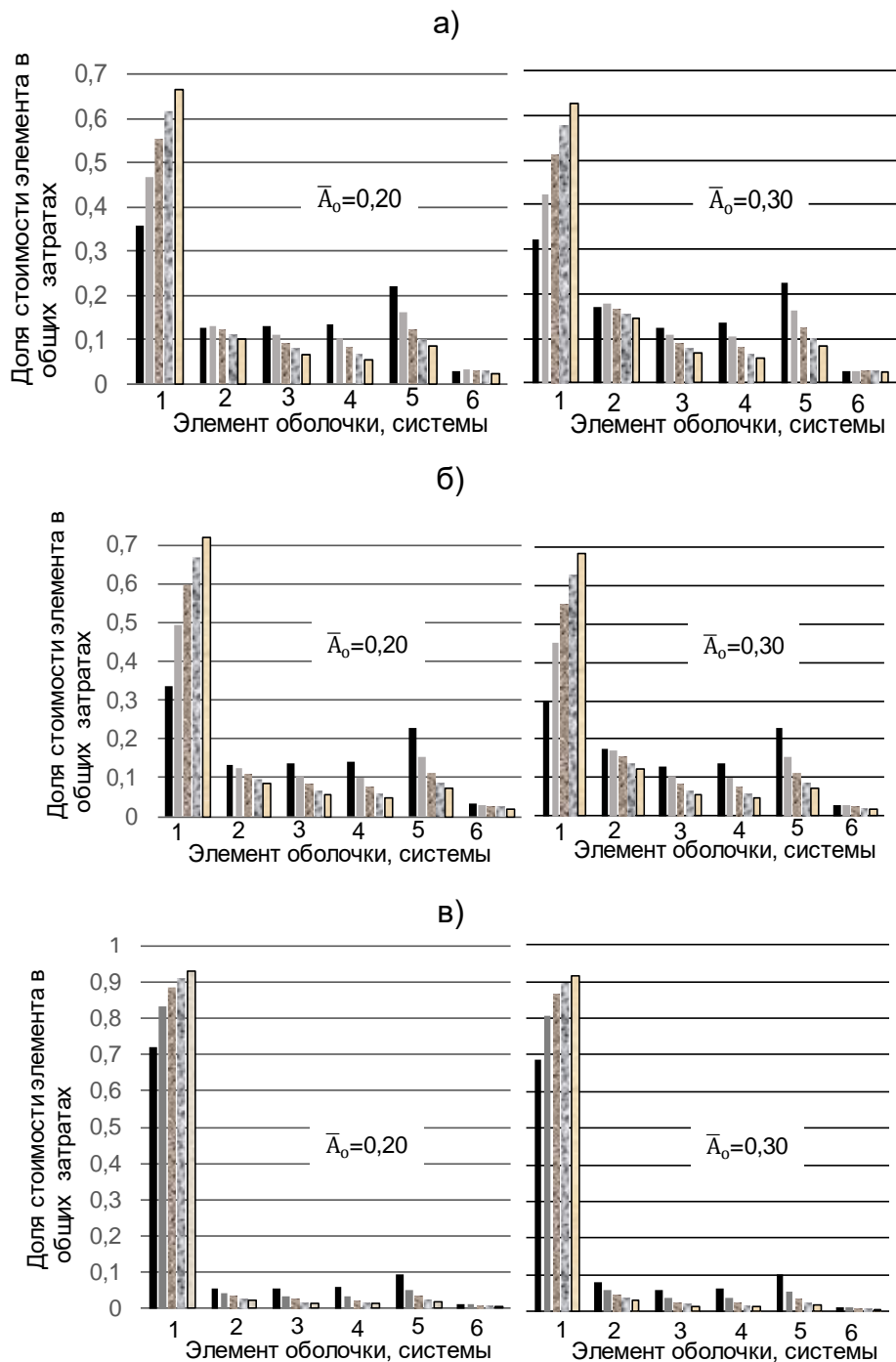
- однослойная из газобетона ( $\lambda = 0,14 \text{ Вт/м} \cdot \text{°С}$ );
- двухслойная с конструкционным материалом из газобетона толщиной 0,2 м и теплоизоляционного слоя из пеноплекса ( $\lambda = 0,055 \text{ Вт/м} \cdot \text{°С}$ );
- однослойная: кирпичная кладка ( $\lambda = 0,56 \text{ Вт/м} \cdot \text{°С}$ ).

Конструкция остекления – двухкамерные стеклопакеты с сопротивлением теплопередачи  $R_o = 1,23 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}$ . Стоимость материалов приняты по прайс-листам поставщиков и изготовителей [5-7]: - кирпич керамический пустотный – 140 у.е./м<sup>3</sup>; - газобетон – 56,52 у.е./м<sup>3</sup>; - пеноплекс – 97,73 у.е./м<sup>3</sup>; оконных заполнений – 15 у.е./м<sup>2</sup>.

На рисунке 2 представлены графики, иллюстрирующие соотношение между единовременными затратами на отдельный элемент здания  $Z_i$  (рис. 1) в общих затратах на утепление здания:

$$\bar{Z}_i = Z_i / \sum_1^6 Z_i, \quad i = 1, 2, 3, 4, 5, 6. \quad (13)$$

Основная доля единовременных затрат в здании составляют затраты на оболочку. Но изменяя конструкцию стены можно снизить их долю с 93 % (однослойная кирпичная кладка) до 64 % (газобетон с утеплителем пеноплексом). В то же время, если предпочтительным параметром являются затраты на сооружение конструкций, то их долю в затратах можно существенно снизить до (30-35) % без существенной экономии тепла.



а) – газобетон+пеноплекс; б) – газобетон; в) – кирпичная кладка

■  $R_0 = 1$ ; ■  $R_0 = 1,5$ ; ■  $R_0 = 2$ ; ■  $R_0 = 2,5$ ; ■  $R_0 = 3$ ;

Рисунок 2 – Структура единовременных затрат по элементам здания

На рисунке 3 приведены изменения общих затрат на оболочку и систему отопления при увеличении сопротивления теплопередачи по отношению к затратам при минимально-допустимом утеплении.

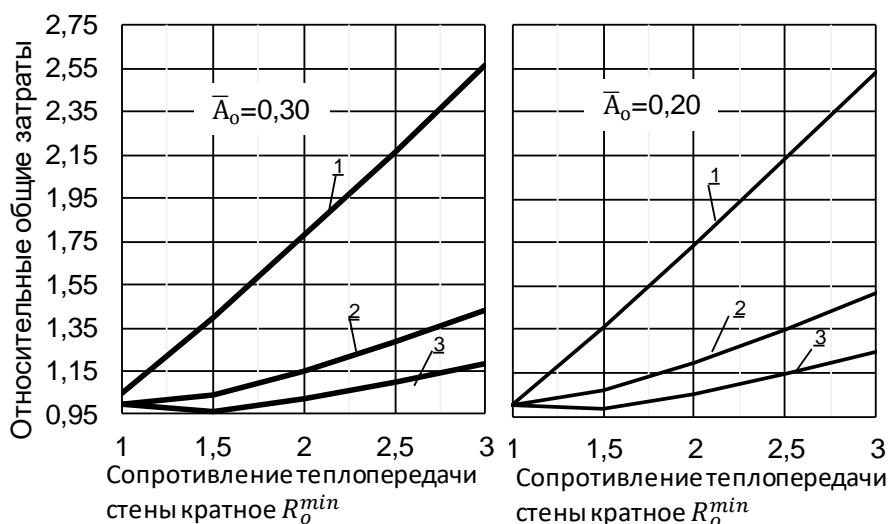


Рисунок 3 – Изменение относительных общих единовременных затрат от утепления оболочки и конструкции: 1 – кирпичная кладка; 2 – газобетон; 3 – газобетон + пеноплекс

Увеличение сопротивления теплопередачи, как правило, ведёт к возрастанию общих затрат. Наиболее существенно это сказывается при выполнении оболочки из однородного «холодного» материала – затраты возрастают в 2,5 раза и в меньшей степени – для многослойного ограждения с применением эффективного утеплителя. Интересно, что введение в конструкцию утеплителя в умеренном объёме ( $R_o = 1,5R_o^{min}$ ) может снизить общие затраты за счёт уменьшения затрат на оборудование отопления.

Результаты анализа изменения единовременных затрат при утеплении оболочки на примере выбранного объекта позволяют судить об общей тенденции в формировании структуры затрат и соответственно принимать обоснованное решение при выборе конструкции элементов здания.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Российская Федерация. Законы.** № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности». – Текст: непосредственный.
2. **Российская Федерация. Стандарты.** СП 50.133330.2012. Тепловая защита зданий. – Текст: непосредственный.
3. **Кузьмин, С.И. Затеева, А.В.** Анализ влияния расчетной разности температуры теплоносителя на стоимость системы отопления индивидуального жилого здания /С.И. Кузьмин, А.В. Затеева. – Текст: непосредственный // Сборник докладов международной научно-практической конференции «Инвестиции. Строительство. Недвижимость. Новые технологии и целевые приоритеты развития» (ICRE-2020). – С. 244-248.
4. **Кузьмин, С.И.** Анализ влияния параметров здания на теплопотребление / С.И. Кузьмин. – Текст: непосредственный //Сборник АнГТУ. – 2019. – С. 116-122.