

УДК 658.264:621.373

**А.Ю.БОНДАРЕНКО, А.С.КУПРИЯНОВ****ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЙ КОТТЕДЖ ДЛЯ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ПЕРСОНАЛА, РАБОТАЮЩЕГО В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ**

Проведені розрахунки теплових втрат через основні огорожуючі конструкції житлового будинку для інженерно-технічного персоналу, що працює в польових умовах при випробуваннях на електромагнітну сумісність великогабаритних об'єктів. Також проведено аналіз ринку та порівняння цін сучасних теплоізоляційних матеріалів і різних методів утеплення. Результати представлені у вигляді таблиць і графіків. Утеплення будівлі за запропонованими рекомендаціями дозволить заощадити 40-68 % теплової енергії.

**Ключові слова:** електромагнітний імпульс, електромагнітна сумісність, мікроклімат, утеплення, житловий будинок, рольставні.

Проведены расчеты тепловых потерь через основные ограждающие конструкции жилого дома для инженерно-технического персонала, работающего в полевых условиях при испытаниях на электромагнитную совместимость крупногабаритных объектов, проведен анализ рынка и сравнение цен современных теплоизоляционных материалов и различных методов утепления. Результаты представлены в виде таблиц и графиков. Утепление здания по приведенным рекомендациям позволит сэкономить 40–68 % тепловой энергии.

**Ключевые слова:** электромагнитный импульс, электромагнитная совместимость, микроклимат, утепление, жилой дом, рольставни.

The results of the research were recommendations that were provided on the basis of the existing CODE on sanitary standards in Ukraine. Calculation of thickness of insulation and choice of materials was carried out according to the results of thermal calculation for the specific house where the operating personnel in the field conditions. Were considered the main ways of improving thermal comfort in buildings with a simple engineering solutions. Were described the main technologies of external insulation of buildings such as «wet», «ventilated» facade, filling cavities with bulk material. Analysis of the market was conducted allowing to make the correct choice for a minimal price. Warming of the building according to the above recommendations will save 40-68% of the thermal energy.

**Keywords:** electromagnetic impulse, electromagnetic compatibility, microclimate, warming, house, shutters.

**Введение.** Исследования фундаментального и прикладного характера в области техники и электрофизики высоких напряжений требуют габаритного экспериментального оборудования, которое возможно установить только под открытым небом в полевых условиях на специальных полигонах. Такое оборудование предназначено для проведения испытаний на электромагнитную совместимость и стойкость объектов к воздействию естественных и искусственных электромагнитных импульсов. В полевой лаборатории Научно-исследовательского и проектно-конструкторского института «Молния» Национального технического университета «Харьковский политехнический институт» построены и эксплуатируются генераторы импульсных напряжений на 3; 4 и 14 МВ, имитаторы мощных электромагнитных импульсов волнового и квазистатического типа, СВЧ-излучения и сверхширокополосных электромагнитных импульсов, для проведения испытаний объектов различного назначения, с рабочими объемами до 75000 м<sup>3</sup>[1, 2]. Для создания комфортных условий работы обслуживающего персонала в полевых условиях построены производственные и жилые помещения. Определенный уровень теплового комфорта этих зданий является одним из основных факторов обеспечения жизненно необходимых санитарно-гигиенических условий пребывания человека в них. В современных условиях вопрос об экономном расходовании энергетических ресурсов является актуальной задачей. К сожалению, построенные несколько десятилетий тому назад дома не обла-

дают достаточной теплоизоляцией, поэтому утепление уже существующих и строящихся домов одна из первоочередных задач в строительстве.

**Цель работы.** Практические рекомендации по утеплению основных конструкций эксплуатируемого жилого дома для минимизации энергетических потерь при минимальной стоимости материалов и работ.

**Основная часть.** Вопросы энергообеспечения жилых помещений сотрудников, работающих в полевых условиях, рассматривались в работе [3]. Для получения практических рекомендаций по снижению энергопотребления и улучшению микроклимата помещений необходимо произвести теплотехнический расчет ограждающих конструкций здания, по результатам которого выбирается материал теплоизоляции и его толщина.

Теплотехнический расчет выполняют в предположении о стационарных условиях передачи теплоты в холодный период года [4]. Объектом служат дома, в которых проживает и работает обслуживающий персонал, при проведении испытаний на электромагнитную совместимость в полевых условиях.

Значения теплотехнических характеристик, в том числе теплоизоляционных, строительных материалов в конструкциях под воздействием эксплуатационных факторов изменяются во времени и могут существенно отличаться от значений, получаемых при лабораторных испытаниях и указанных в технических условиях.

Согласно [5] для условий г. Харькова расчетная средняя температура внутреннего воздуха принимает-ся  $t_{в} = 21\text{ }^{\circ}\text{C}$ , расчетная температура наружного воздуха в холодный период года  $t_{н} = -20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , продолжительность которого  $z = 178$  суток, средняя температура наружного воздуха за отопительный период  $t_{от} = -1,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Градусо-сутки отопительного периода  $D = 3751\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{сут}$ . При таких значениях  $D$  нормируемое сопротивление теплопередаче для окон и других ограждающих конструкций в Харькове должно быть не ниже значений указанных в табл. 3.

Исходные данные для анализа тепловых потерь и планирования работ представлены в табл. 1-3.

Таблица 1 – Геометрические параметры помещения

Название	Значение
Отапливаемая площадь	68 м <sup>2</sup>
Площадь стен	57 м <sup>2</sup>
Площадь окон (7 шт.)	12 м <sup>2</sup>
Площадь потолка	68 м <sup>2</sup>
Материал стен	Известковая штукатурка + дерево + глина + воздушная прослойка + кирпич снаружи
Окна	Однокамерные в деревянных рамах
Пол	Деревянный на лагах
Материал потолка	Известковая штукатурка +дерево + глина

Примечание: \* – площадь внешних стен мала т.к. есть смежная стена, тепловые потери через которую не учитываются.

Стены. Основа несущей конструкции, имеющая большую площадь и низкие показатели сопротивления теплопередаче, соответственно и самые большие тепловые потери.

Есть два основных способа размещения теплоизоляции: внутренняя и внешняя. У каждого типа есть свои плюсы и минусы. В работе рассмотрено внешнее утепление и его разновидность, когда утеплитель размещают в середине несущей конструкции. «Внешнее» способствует более длительному сроку эксплуатации несущих конструкций, превращает стены в аккумуляторы тепла, что, несомненно, помогает поддерживать благоприятный микроклимат при колебаниях температуры [6]. При монтаже теплоизоляции внутри, граница раздела теплой и холодной областей «перемещается» внутрь дома, вместе с ней и точка росы, где пары влаги конденсируются, что приводит к увлажнению и потере теплотехнических свойств конструкций.

Технологии наружного утепления. Технология мокрый фасад, на сегодняшний день самая распространенная технология. Конструкция содержит первичный слой клея, утеплитель, клей для армирующей сетки, финишная штукатурка, декоративная отделка. Преимущества: быстрый монтаж, эстетичный вид, умеренная цена, к недостаткам относят: невозможность монтажа при температурах ниже  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , высокие требования к качеству материалов. Наружная штукатурка плохо переносит циклы заморозки–разморозки, в связи с этим внешний вид, целостность и однородность слоя может быть нарушена. В качестве материала утеплителя могут быть использованы любые утеп-

лители, обладающие достаточной плотностью и прочностью, чтобы выдержать вес сетки и облицовочную штукатурку.

Вентилируемый фасад очень перспективная технология, обладает хорошими влагозащитными свойствами. Внешние воздействия, такие как влага, ветер и солнце никак не влияют непосредственно на утеплитель, что продлевает его срок эксплуатации. Конструкция: кронштейны для поддержки внешней облицовки, слой клея, утеплитель, ветрозащитная мембрана. Достоинства: хороший внешний вид, пожарная безопасность, нет необходимости выравнивать стены, длительный срок эксплуатации. К недостатками относят: дороговизну, сложность и длительное время монтажа, необходимость квалифицированного персонала. В качестве утеплителя могут применяться материалы, которые имеют достаточную влагонепроницаемость. Пенопласты и полиуретаны не пригодны для этой технологии, необходимыми свойствами обладают минеральные и базальтовые ваты [7].

Технология. Укладка сыпучих утеплителей применяется, когда есть несущая конструкция, которая обеспечивает форму для удерживания утеплителя. Могут использоваться для засыпки ниш, воздушных прослоек или плоских поверхностей. Преимущества: обеспечивает безшовность утеплителя, что в свою очередь хорошо сказывается на однородности теплового потока через ограждающую конструкцию, имеет низкую цену, легкость монтажа, работы может проводить низко квалифицированный персонал. Недостатками технологии является усадка материала при эксплуатации, трудно обеспечить равномерность в замкнутых объемах (зависит от материала). В качестве материала может использоваться эковата, перлит, вермукулит, пенопластовая крошка, керамзит, древесная стружка. Для потолочных конструкций преимущественна технология засыпки, т.к. цена на проведение работ существенно ниже, чем при укладке рулонных минераловатных утеплителей, что связано с необходимостью раскроить материал и каждый рулон укладывать отдельно.

Если конструкция здания содержит воздушную прослойку, она может быть использована как ниша для сыпучих утеплителей. Такой метод утепления помогает создать тепловой аккумулятор из несущих ограждающих конструкций. При этом утеплитель будет защищен от внешней среды гораздо лучше, а цена на проведение такого утепления гораздо ниже, потому что не требует отделочных фасадных работ.

Расчет сопротивления теплопередаче. Нормируемой величиной в инженерных расчетах, характеризующей теплозащитные качества ограждающих конструкций, в том числе оконных, является сопротивление теплопередаче, которое рассчитывается по формуле:

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_B} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{Вн}}, \quad (1)$$

где  $\alpha_B$  – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждения, Вт/(м<sup>2</sup>·°C);  $\alpha_{Вн}$  – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждения,

Вт/(м<sup>2</sup>·°C);  $\delta_i$  – толщина i-го конструкционного слоя, м;  $\lambda_i$  – коэффициент теплопроводности i-го конструкционного слоя, Вт/(м·°C).

Коэффициенты теплоотдачи  $\alpha_{вн}$   $\alpha_{вн}$  равны 8,7 и 23 Вт/(м<sup>2</sup>·°C) соответственно. Коэффициенты теплопроводности для различных материалов и толщин представлены в табл. 2 [5].

Таблица 2 – Коэффициенты теплопроводности для различных материалов и толщин

Название материала	Теплопроводность $\lambda_i$ , Вт/(м·°C)	Толщина слоя $\delta_i$ , м	Термическое сопротивление $R_i$ , м <sup>2</sup> ·°C/Вт
Известковая штукатурка	0,81	0,04	0,05
Древесина сосна поперек волокон	0,18	0,07	0,39
Глина	0,87	0,05	0,06
Замкнутая воздушная прослойка	-	0,15	0,15
Кладка из керамического пустотного кирпича на цементно-песчаном растворе	0,48	0,12	0,25

Сопротивление теплопередачи наружных стен:

$$R_{0,ст} = \frac{1}{8,7} + \left( \frac{0,04}{0,81} + \frac{0,07}{0,18} + \frac{0,05}{0,82} + 0,15 + \frac{0,12}{0,48} \right) + \frac{1}{23} = 1,05;$$

$$R_{0,стен} = 1,05 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}.$$

Минимально допустимое значение сопротивления теплопередачи для первой температурной зоны для разных типов ограждающих конструкций приведены в табл. 3. Из приведенных данных следует, что ограждающие конструкции обладают недостаточным сопротивлением теплопередачи.

Для компенсации разницы между фактическими и минимально допустимыми сопротивлениями теплопередачи необходимо утеплять эксплуатируемое здание. Требуемое значение толщины утеплителя вычисляется согласно [5], по формулам:

$$R_{ут} = R_{мин} - R_0; \quad \delta_{ут} = \lambda_{ут} \cdot R_{ут}, \quad (2)$$

где  $R_{ут}$  – минимально необходимое сопротивление теплопередачи утеплителя для достижения  $R_{мин}$ ,

м<sup>2</sup>·°C/Вт;  $R_{мин}$  – нормируемая величина минимального сопротивления теплопередачи, м<sup>2</sup>·°C/Вт;  $R_0$  – расчетное значение сопротивления теплопередачи, м<sup>2</sup>·°C/Вт;  $\lambda_{ут}$  – теплопроводность материала, Вт/(м·°C);  $\delta_{ут}$  – необходимая толщина утеплителя, м.

Необходимое дополнительное сопротивление теплопередачи для стен равно 2,25 м<sup>2</sup>·°C/Вт, толщина утеплителя вычисленная по формуле (2) из минеральной ваты (135) равна 0,11 м. В скобках здесь и далее указана плотность материала в кг/м<sup>3</sup>.

Для определения эффективности и более наглядного представления информации проведен расчет тепловых потерь за отопительный период для одного квадратного метра различных ограждающих конструкций по формуле:

$$Q_i = D \cdot \frac{24}{R_i}, \quad (3)$$

где  $Q_i$  – тепловые потери через i-ю ограждающую конструкцию, кВт·час/м<sup>2</sup>; D – градусо-сутки за отопительный период, °C·сут;  $R_i$  – сопротивление теплопередачи, м<sup>2</sup>·°C/Вт. Тепловые потери с площади 1 м<sup>2</sup> через непрозрачную ограждающую конструкцию без утепления  $R_{0,стен} = 1,05 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$  в год составят  $Q_{0,стен} = 85,7 \text{ кВт} \cdot \text{час/м}^2$ , при  $R_{мин} = 3,3 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$  тепловые потери в год составят  $Q = 27,3 \text{ кВт} \cdot \text{час/м}^2$ , что позволит сэкономить до 68 % тепловой энергии.

Аналогичным образом рассчитаны сопротивления теплопередачи и тепловые потери за год для всех ограждающих конструкций, результаты представлены в табл. 3–5.

Все описанные технологии и материалы обеспечивают длительный срок эксплуатации ограждающих конструкций и нормативные санитарно гигиенические условия, поэтому основным критерием выбора является цена 1-го м<sup>2</sup>. На рис. 1 изображена гистограмма, показывающая зависимости толщины теплоизоляции, обеспечивающей минимальное значение сопротивления теплопередачи для различных современных теплоизоляционных материалов, и цены 1 м<sup>2</sup> при различных технологиях нанесения теплоизоляции на ограждающие конструкции.

Таблица 3 – Теплотехнические показатели ограждающих конструкций

Тип ограждающей конструкции	Сопротивление теплопередачи, м <sup>2</sup> ·°C/Вт			Тепловые потери за год, кВт·час/м <sup>2</sup>		Экономия тепловой энергии, %
	Минимально допустимое, $R_{мин}$	Расчетное значение, $R_0$	Дополнительно требуется, $R_{ут}$	Фактические с $R_0$	Соответствующие $R_{мин}$	
Внешние стены	3,3	1,05	2,25	85,7	27,3	68
Чердачные перекрытия	4,95	2,3	2,65	34,0	18,2	46
Окна	0,45	0,27	0,18	333,3	200,0	40
Полы	3,6	3,75	-	25,0	24,3	-

Из гистограммы, построенной по результатам расчетов, видно, что 7-й столбец является оптимальным по теплофизическим характеристикам на единицу цены, что соответствует технологии «Заполнение воздушных прослоек» материал перлит (70) толщиной от 9,4 см, цена 147 грн/м<sup>2</sup>, на втором месте та же технология с использованием материала «Эковата» (50) цена составляет 164 грн/м<sup>2</sup>. При отсутствии

воздушных прослоек оптимальным является использование технологии «мокрый фасад», при этом рациональным будет использование пенопласта (50) толщиной от 9,5 см, цена составляет 214 грн/м<sup>2</sup>, это на 31 % дороже, чем при задувке внутренних полостей перлитом. При использовании технологии «Вентилируемый фасад», цена составит 377 грн/м<sup>2</sup> и является самой дорогой среди представленных.

Таблица 4 – Данные для стен

Тип наружного утепления	Название материала	$\lambda_{ут}, \text{Вт/(м}^\circ\text{C)}$	$\delta_{ут}, \text{м}$	Цена $\text{грн/м}^2$
Вентилируемый фасад	Минеральная вата (45)	0,043	0,10	377
Мокрый фасад	Минеральная вата (135)	0,047	0,11	344
Мокрый фасад	Экструдированный пенополистерол (30)	0,030	0,07	292
Мокрый фасад	Пенопласт (50)	0,042	0,10	214
Внутреннее	Эковата (50) [8]	0,053	0,12	164
Внутреннее	Перлит (70) [9]	0,055	0,125	147

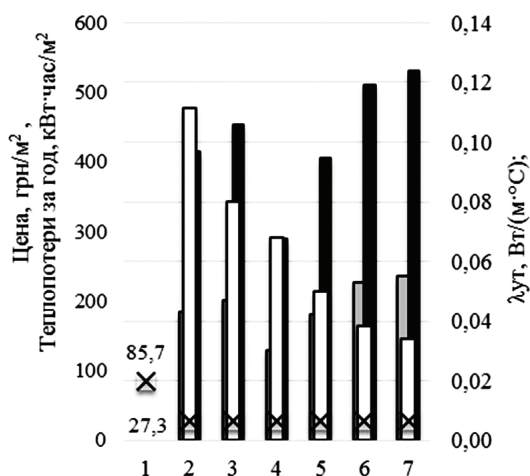


Рисунок 1 – Сравнение цен современных теплоизоляционных материалов и различных методов утепления: 1 – до проведения утепления; 2 – технология «Вентилируемый фасад», материал: минеральная вата (45); 3, 4 и 5 – технология «Мокрый фасад», материалы: минеральная вата (135), экструдированный пенополистерол (30), пенопласт (50); 6, 7 – технология «Заполнение воздушных прослоек», материалы «Эковата» (50), перлит (70); белые столбцы – это цена за  $1\text{ м}^2$  утепления ограждающей конструкции обеспечивающая  $R_{тр}, \text{грн/м}^2$ ; черные столбцы – необходимая толщина утеплителя  $\delta_{ут}, \text{м}$ ; серые столбцы – теплопроводность материала  $\lambda_{ут}, \text{Вт/(м}^\circ\text{C)}$ . Кресты соответствуют тепловым потерям через  $1\text{ м}^2$  ограждающей конструкции за отопительный сезон,  $\text{кВт} \cdot \text{час/м}^2$

Потолок. Тепловые потери через потолочные конструкции больше, чем через вертикальные непрозрачные ограждающие, т.к. тепло поднимается вверх и покидает помещение. В рассматриваемом случае потолочные конструкции имеют большую площадь  $68\text{ м}^2$  и недостаточное сопротивление теплопередачи  $R_{пот.} = 2,3\text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C/Вт}$ . Необходимое дополнительное сопротивление теплопередачи равно  $2,65\text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C/Вт}$ , а толщина утеплителя из минеральной ваты (45), рассчитанная по формуле (2) равна  $0,11\text{ м}$ .

В таблице 5 приведены результирующие данные для наружного утепления потолка, рассчитанные по формулам (1) и (2). Основным параметром расчета являлась толщина необходимого слоя для каждого конкретного вида теплоизоляции. При проведении

наружного утепления для всех материалов снижение тепловых потерь за год с одного квадратного метра площади составит  $18,2\text{ кВт} \cdot \text{час/м}^2$ , что позволит сократить расходы на отопление на  $46\%$ .

Таблица 5 – Данные для потолка

Тип утеплителя	Название материала	$\lambda_{ут}, \text{Вт/(м}^\circ\text{C)}$	$\delta_{ут}, \text{м}$	Цена, $\text{грн/м}^2$
Рулонный	Минеральная вата (35)	0,040	0,11	179
Насыпной	Эковата (50)	0,046	0,12	123
Насыпной	Перлит (70)	0,05	0,13	140

По результатам расчетов построена гистограмма рис. 2, на которой приведены зависимости толщины и цены  $1\text{ м}^2$  теплоизоляционных материалов при разных технологиях укладки на потолочные конструкции для достижения необходимого сопротивления теплопередачи.

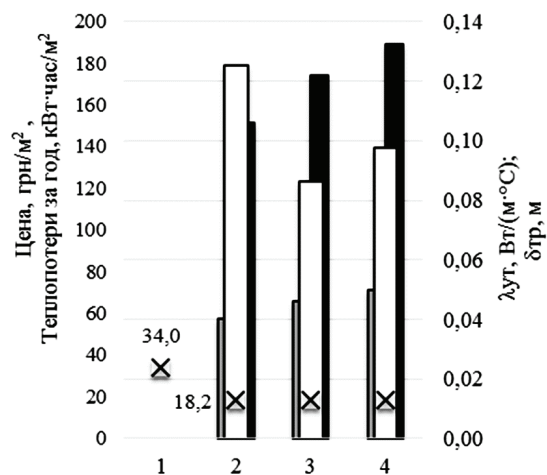


Рисунок 2 – Сравнение цен современных теплоизоляционных материалов для потолочных конструкций и различных методов утепления: 1 – без утеплителя; 2 – рулонный утеплитель минеральная вата (35); 3 – насыпной утеплитель из эковаты (50); 4 – насыпной утеплитель перлит (70); белые столбцы – это цена утепления  $1\text{ м}^2$  для обеспечения  $R_{min}, \text{грн/м}^2$ ; черные столбцы – необходимая толщина утеплителя  $\delta_{ут}, \text{м}$ ; серые столбцы – теплопроводность материала  $\lambda_{ут}, \text{Вт/(м}^\circ\text{C)}$ ; кресты соответствуют тепловым потерям через  $1\text{ м}^2$  ограждающей конструкции за отопительный период,  $\text{кВт} \cdot \text{час/м}^2$

Насыпная технология имеет минимальную цену на единицу площади, требует минимальных затрат времени, обеспечивает хорошую равномерность сопротивления теплопередачи, безшовность теплоизоляционной оболочки. Наилучшим является насыпка из эковаты (50), цена составляет  $123\text{ грн/м}^2$ , далее по привлекательности, при той же технологии, перлит (70), цена  $139,5\text{ грн/м}^2$  и на последнем месте утепление при использовании рулонной минеральной ваты (35), цена  $179\text{ грн/м}^2$ .

Окна. Процесс теплообмена через оконный блок проходит через светопрозрачное заполнение – стекло и профиль – рама. Теплопередача через воздушные прослойки осуществляется излучением, конвекцией и теплопроводностью. Составляющие потока тепла че-



рез стеклопакет следующие: около 65% за счет лучистого теплообмена (излучения), около 20% за счет теплопроводности и около 15% – конвекцией [4].

Большая часть тепловых потерь приходится на излучение, эту составляющую можно уменьшить благодаря использованию Low-E покрытий [10], которые наносятся на внутреннюю поверхность стекол и играют роль экрана для теплового излучения. Также могут быть использованы рольставни, которые помимо отражения части тепловой энергии, обратно внутрь помещения, создают воздушную прослойку, что в свою очередь увеличивает сопротивление теплопередачи оконного блока в целом.

Расчет дополнительного сопротивления теплопередачи выполнен согласно [11] в зависимости от типа рольставень, их наполнения и уплотнителей. Цены и теплофизические характеристики взяты с сайтов производителей [12–13], тепловые потери за отопительный период рассчитывались по формуле (3).

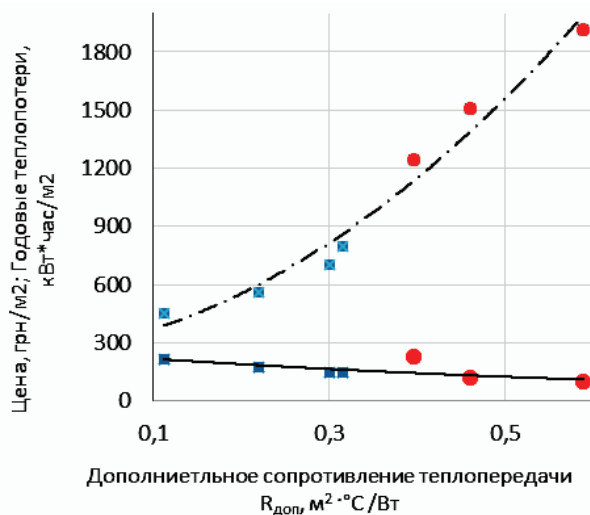


Рисунок 3 – Характеристики рольставень: штрихпунктирная линия – цена 1-го  $m^2$  рольставни от дополнительного сопротивления теплопередачи  $R_{доп}$  ( $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$ ); сплошная линия – зависимость тепловых потерь за отопительный период с  $1 m^2$  от сопротивления теплопередачи; точки – теплые рольставни, внутренние полости (8-14 мм) которых наполнены экструдированным пенополистиролом ( $\lambda = 0,025 \text{ Вт/м} \cdot ^\circ \text{C}$ ); квадраты – рольставни (5-6 мм) без наполнения

Результаты анализа оконных конструкций [14-16] и дополнительного сопротивления теплопередачи при использовании рольставень показаны на рис. 4.

Если не выполнять замену оконных конструкций, то наилучшим выбором будут простые рольставни (5мм) без наполнителей,  $R_{доп} = 0,22 m^2 \cdot ^\circ C / Вт$ , цена 560 грн/ $m^2$ , они обеспечат должный уровень сопротивления теплопередачи, в сравнении с дорогими утепленными  $R_{доп} = 0,4 m^2 \cdot ^\circ C / Вт$ , цена 1200 грн/ $m^2$ .

Замена оконного блока на самый дешевый однокамерный без покрытий не имеет смысла, цена 438 грн/ $m^2$ , сопротивление теплопередачи на  $0,04 m^2 \cdot ^\circ C / Вт$  больше, чем у существующего. Необходимо сопротивление теплопередачи может обеспечить однокамерный стеклопакет с Low-E покрытием

$R_{min} < R_{ок} = 0,59 m^2 \cdot ^\circ C / Вт$ , цена 533 грн/ $m^2$ . Экономия тепловой энергии составит 40% за отопительный период с  $1 m^2$ . Наилучшими удельными теплофизическими характеристиками обладает двухкамерный стеклопакет с использованием Low-E покрытий на обоих стеклах, при заполнении инертным газом (Ar) пространства между стеклами. Полное сопротивление теплопередачи составляет  $1,1 m^2 \cdot ^\circ C / Вт$ , что в 2,4 раза превышает необходимое, цена 800 грн/ $m^2$ . Если использовать рольставни и новые окна, лучшим вариантом будут двухкамерные стеклопакеты с Low-E покрытием без наполнения газом,  $R_{ок} = 0,59 m^2 \cdot ^\circ C / Вт$ , цена составляет 533 грн/ $m^2$ , и простые рольставни  $R_{доп} = 0,22 m^2 \cdot ^\circ C / Вт$ . Сопротивление теплопередачи такой комбинации будет больше нормируемого, а минимальная цена порядка 1190 грн/ $m^2$ , экономия тепловой энергии за отопительный период может достигать 67%. Установка теплых рольставень в комбинации с «холодными» окнами дороже по сравнению с установкой газонаполненных стеклопакетов, оснащенных Low-E покрытиями, на 40%, поэтому необходимо произвести замену окон для повышения качества микроклимата. Это позволит сократить расходы тепла на 40-75 %, при затратах 533-800 грн/ $m^2$ .

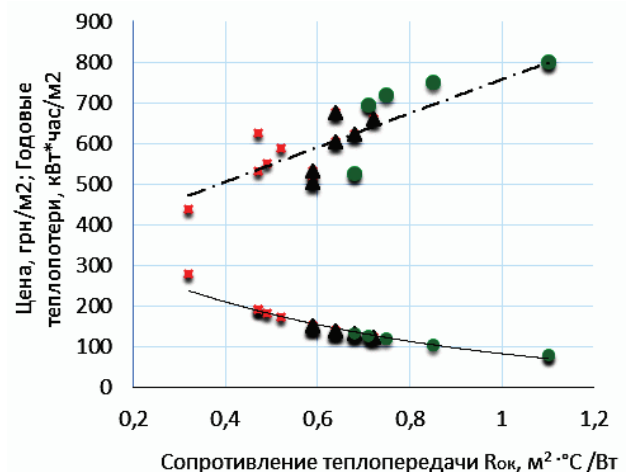


Рисунок 4 – Характеристики оконных конструкций: штрихпунктирная линия – зависимость цены  $1 m^2$  стеклопакета от сопротивления теплопередачи  $R$  ( $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$ ); сплошная линия – зависимость тепловых потери за отопительный период с  $1 m^2$  от сопротивления теплопередачи  $R_{ок}$  ( $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$ ); квадратный маркер – обычные стеклопакеты (24-44 мм), треугольные маркеры – стеклопакеты (24-44 мм) с Low-E покрытиями, круглые маркеры – стеклопакеты (24-44 мм) с Low-E покрытием заполненные инертным газом (Ar)

## Выводы

1. Утепление стен эксплуатируемого здания необходимо проводить снаружи, что позволяет превратить их в аккумулятор тепла, перенести большой перепад температур из основного массива стены в утеплитель и переместить точку росы ближе к наружному краю ограждающей конструкции.

2. Пустоты в конструкциях здания необходимо использовать, как пространство для засыпки утеплителя, дополнительное сопротивление теплопередачи при этом до 15 раз больше того, что дает воздушная

прослойка, а цена такой технологии утепления самая низкая.

3. Для утепления окон наиболее оптимальным является замена оконного блока на стеклопакет с Low-E покрытием.

4. Расчеты показали, что благодаря достижению нормируемой величины минимального сопротивления теплопередачи, экономия тепловой энергии в эксплуатируемом здании составит от 40 до 68 %. Лучшим утеплителем для стен является перлит (70), для потолка эковата (50). Технология их монтажа простая, имеет минимальную цену на единицу площади и обеспечивает длительный срок эксплуатации ограждающих конструкций и требуемые санитарно-гигиенические условия.

#### Список литературы:

1. Кравченко В.И. Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт «Молния» на рубеже тысячелетий / Под общ. ред. проф. В.И. Кравченко. – Х.: Изд. «НТТМ», 2014. – 388 с.
2. Гладков В.С. Ретроспектива созданных НИПКИ «Молния» обострителей мегавольтных импульсов напряжения / В.С. Гладков, А.А. Гученко, А.В. Шестериков, Л.В. Ваврив // Вісник НТУ «ХП». Тем. вип. Електроенергетика і перетворююча техніка. – Х.: НТУ «ХП». – 2004. – № 35. – С. 21-29.
3. Бондаренко А.Ю. Экспериментальный стенд для исследования характеристик прозрачных материалов для гелиоколлекторов / А.Ю. Бондаренко, Р.А. Рылский // Вісник НТУ «ХП». Тем. вип. Техніка і електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХП». – 2011. – № 16. – С. 22-29.
4. Мхитарян Н.М. Энергосберегающие технологии в жилищном и гражданском строительстве / Н.М. Мхитарян. – К.: Наукова думка, 2000. – 420 с.
5. Державні будівельні норми України. Конструкції будинків і споруд Теплова ізоляція будівель. : ДБН В.2.6-31 :2006. – [Чинний від 2006-01-01]. – К.: Міністерство будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України, 2006. – IV, 73 с. – (Національний стандарт України).
6. Умнякова Н.П. Как сделать дом теплым. Справочное пособие / Н.П. Умнякова. – М.: Стройиздат, 1992. – 320 с.
7. Каммерер И.С. Теплоизоляция в промышленности и строительстве / И.С. Каммерер. – М.: Стройиздат, 1965 – 342 с.
8. «Юнизол» утеплитель [Электронный документ] // компания ООО «Юнизол», К.: 2010-2017. URL: <http://unizol.com.ua/index11.html/>. (Дата обращения: 01.12.2016).
9. Циммерман Р. Металлургия и металловедение / Р. Циммерман, К. Гюнте // ред. Дж. Вэн Райзин. – М.: Металлургия, 1982. – 480с.
10. Гоффин А. Low-E покрытия / А. Гоффин // Строительные технологии. – THW, К. 28 октября 2010. – Режим доступа: <http://www.windowstec/m/articles/?id=107>. – (Дата обращения: 01.11.2016).
11. Колысов В.Н. Жалюзи и ставни / В.Н. Колысов // Строительная орбита. – 2010. – № 9. – С. 57–62.
12. Прайс цен на продукцию SDS Group [электронный документ] // Компания SDS Group X., 2002-2017 URL: <http://www.rolets.ua/rolstaven.html/> (Дата обращения: 01.11.2016).
13. Рольставни, рулонные автоматические ворота, прайс компании Alutech [Электронный документ] // Компания Alutech, К. 2001-2017. URL: <http://rolstavni-alutech.com/>. (Дата обращения: 18.11.2016).
14. Прайс на окна [Электронный документ] // Представительство компании ROTOX в Украине, К. 2006-2017. URL: <http://rotox-steklo/plusbs.ua/?act=viewrazdel&razdel=5/>. (Дата обращения: 01.12.2016).
15. Прайс на оконную продукцию ВДС [Электронный документ] // Компания Miroplast (WDS) К., 1998-2017. URL: <http://wds.ua/ru/продукция/оконные-и-дверные-системы/>. (Дата обращения: 01.12.2016).
16. Прайс на окна [Электронный документ] // Компания Veka представитель немецкой продукции URBAN, HOLLINGER. К., 2003-2017. URL: <http://veka-bc.com/g6605349-steklopakety-okna/092price/>. (Дата обращения: 18.12.2016).

#### References (transliterated):

1. Kravchenko V.I. Nauchno-issledovatel'skiy i proektno-konstruktorskiy institut «Molniya» na rubezhe tysyacheletiy [Scientific-research and design Institute "Lightning" at the turn of the Millennium]. Pod obshch. red. Prof. V.I. Kravchenko. Kharkiv: Izd. «NTTM», 2014. 388 p.
2. Gladkov V.S., Guchenko A.A., Shesterikov A.V., Vavriv L.V. Retrospektiva stvorennykh NIPKI «Molniya» obostriteley megavolt'nykh impul'sov napryazheniya [Retrospective created NIPKI "Lightning" obstacles megavolt voltage pulses]. Visnik NTU "KhPI" [Bulletin of the National Technical University "KhPI"]. Seriya: tem. vip.: Elektroenergetika i peretvoryuyucha tekhnika. Kharkiv NTU "KhPI", 2004, no. 35, pp. 21-29.
3. Bondarenko A.Yu., Ryl'skiy R.A. Eksperimental'nyy stend dlya issledovaniya kharakteristik prozrachnykh materialov dlya geliokollektorov [Experimental setup to study the characteristics of transparent materials for solar collectors] // Visnik NTU "KhPI". [Bulletin of the National Technical University "KhPI"]. Tem. vip.: Tekhnika i elektrofizika visokikh naprug. – Kharkiv NTU "KhPI", 2011, no. 16, pp. 22-29.
4. Mkhitarjan N.M. Energoberegayushchie tekhnologii v zhilishchnom i grazhdanskom stroitel'stve [Energy saving technologies in housing and civil construction]. Kiev: Naukova dumka, 2000. 420 p.
5. Derzhavni budivel'ni normy Ukrayiny. Konstruktsiyi budynkiv i sporud Teplova izolyatsiya budivel. [The state construction norms of Ukraine. Design of buildings Thermal insulation of buildings] : DBN V.2.6- 31 :2006. [Chynnyy vid 2006-01- 01]. Kyiv: Ministerstvo budivnytstva, arkhitektury ta zhytlovo-komunal'noho hospodarstva Ukrayiny, 2006. vol. IV, 73 p. (Natsional'nyy standart Ukrayiny).
6. Umnyakova N.P. Kak sdelat' dom teplym. Spravochnoe posobie [How to make a house warm. Handbook]. Moscow: Stroyizdat, 1992. 320 p.
7. Kammerer I.S. Teploizolyatsiya v promyshlennosti i stroitel'stve [Thermal insulation in industry and construction]. Moscow: Stroyizdat, 1965. 342 p.
8. "Yunizol". uteplitel' ["Cellulose". insulation]. Kompaniya OOO "Yunizol". Available at: <http://unizol.com.ua/index11.html/>. (accessed 01.12.2016).
9. Tsimmerman R., Gyunte K. Metallurgiya i metallovedenie [Metallurgy and metallography]. Moscow: Metallurgiya 1982. 480 p.
10. Goffin A. Low-E pokrytiya [ Low-E cover]. Stroitel'nye tekhnologii THW, Kyiv: 2010, no. 28 october 2010, pp. 33–37. Available at: <http://www.windowstec/m/articles/?id=107> (accessed 01.11.2016)
11. Kolysov V.N. Zhalyuzi i stavni [Blinds and shutters]. Stroitel'naya orbita [Construction orbit]. 2010. No 9. pp. 57-62.
12. Prays tsen na produktsiyu SDS Group [Prices of products SDS Group]. Kompaniya SDS Group. Available at: <http://www.rolets.ua/rolstaven.html> (accessed 01.11.2016).
13. Rol'stavni, rulonnye avtomaticheskie vorota, prays

kompanii Alutech [Shutters, roller shutters automatic gates, the price of the company Alutech]. Kompaniya Alutesh. Available at: <http://rolstavn-alutech.rolstaven.com/> (accessed 18.11.2016).

14. Prays na okna [Price list for windows]. Predstavitel'stvo kompanii ROTOX v Ukraine. Available at: <http://rotox-steklo/plusbs.ua/?act=viewrazdel&razdel=5/> (accessed 01.12.2016).

15. Prays na okonnuyu produktsiyu WDS [Price list for

window products VDS]. Kompaniya Miroplast (WDS). Available at: <http://wds.ua/ru/produktsiya/okonnnye-i-dvernye-sistemy> (accessed 01.12.2016).

16. Prays na okna [Price list for windows]. Kompaniya Veka predstavitel' nemetskoy produktsii URBAN, HOLLINGER. Available at: <http://veka-bc.com/g6605349-steklopakety-okna/092price/> (accessed 18.12.2016).

Поступила (received) 22.03.2017

#### Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

**Енергозберігаючий будинок для інженерно-технічного персоналу, що працює в польових умовах / О. Ю. Бондаренко, А. С. Купріянов** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХПІ», 2017. – № 15 (1237). – С. 17-23. – Бібліогр.: 16 назв. – ISSN 2079-0740.

**Энергосберегающий коттедж для инженерно-технического персонала, работающего в полевых условиях / А. Ю. Бондаренко, А. С. Куприянов** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХПІ», 2017. – № 15 (1237). – С. 17-23. – Бібліогр.: 16 назв. – ISSN 2079-0740.

**Energy saving cottage for engineering personnel working in the field / A. Yu. Bondarenko, A. S. Kupriyanov** // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Technique and electrophysics of high voltage. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2017. – № 15 (1237). – С. 17-23. – Bibliogr.: 16. – ISSN 2079-0740.

#### Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Бондаренко Олександр Юрійович** – кандидат технічних наук, доцент, НТУ «ХПІ»; тел.: (057)7076245; e-mail: abondarenko51@gmail.com.

**Бондаренко Александр Юрьевич** – кандидат технических наук, доцент, НТУ «ХПИ»; тел.: (057)7076245; e-mail: abondarenko51@gmail.com.

**Bondarenko Aleksandr Yurevich** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, NTU "KhPI"; tel: (057)7076245; e-mail: abondarenko51@gmail.com.

**Купріянов Антон Сергійович** – студент, НТУ «ХПІ»; тел.: (057)7076245; e-mail: daff@email.ua

**Куприянов Антон Сергеевич** – студент, НТУ «ХПИ»; тел.: (057)7076245; e-mail: daff@email.ua.

**Kupriyanov Anton Sergeevich** – Student, NTU "KhPI"; tel.: (057)7076245; e-mail: daff@email.ua.

УДК 621.35.035 : 621.365

**Л.В. ВАВРІВ, В.М. ІВАНОВ, В.Є. МАРЦЕНЮК, Р.С. МІРЗОЄВ**

### ПРИСТРОЇ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ІМПУЛЬСІВ ВИСОКОЇ НАПРУГИ В ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЇ

Розглянуто основні питання, які вирішуються фізикою і технікою генерації періодичних високовольтних імпульсів мікро-мілісекундного діапазону тривалості. Розглянуті схеми пристроїв, принципи і способи отримання високої напруги можуть бути використані при розробці нових і вдосконаленні електротехнологічних установок різного призначення, але безпосереднє застосування розглянутих схем пристроїв для живлення нових високовольтних електрофізичних установок можливо тільки після вдосконалення таких пристроїв з урахуванням вимог до конкретної електротехнології.

**Ключові слова:** високовольтний імпульс, ємнісний накопичувач енергії, індуктивний накопичувач енергії, високовольтний генератор імпульсів.

Рассмотрены основные вопросы, решаемые физикой и техникой генерации периодических высоковольтных импульсов микро-миллисекундного диапазона длительностей. Рассмотренные схемы устройств, принципы и способы получения высокого напряжения могут быть использованы при разработке новых и совершенствовании электротехнологических установок различного назначения, но непосредственное применение рассмотренных схем устройств для питания новых высоковольтных электрофизических установок возможно только после усовершенствования таких устройств с учетом требований к конкретной электротехнологии.

**Ключевые слова:** высоковольтный импульс, емкостной накопитель энергии, индуктивный накопитель энергии, высоковольтный генератор импульсов.

The main problems solved by physics and technique of generation of periodic high-voltage pulses of a micro-millisecond range of durations are considered. The considered circuits of devices, principles and methods for obtaining high voltage can be used in the development of new and improvement of electrotechnological installations for various purposes, but the direct application of the considered circuits of devices for feeding new high-voltage electrophysical units is possible only after the improvement of such devices, taking into account the requirements for specific electrotechnology.

**Keywords:** High-voltage pulse, capacitive energy storage, inductive energy storage, high-voltage pulse generator.