

DOI: 10.12737/article\_5c73fc1d3898a0.66784644

<sup>1</sup>Галюжин С.Д., <sup>1</sup>Лобикова Н.В., <sup>1,\*</sup>Лобикова О.М.<sup>1</sup>Белорусско-Российский университет

Республика Беларусь, 212000, г. Могилев, проспект Мира, д. 43

\*E-mail:olg.lobikova@yandex.ru

## МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНКИ ПРОЕКТОВ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЖИЛЫХ ДОМОВ

**Аннотация.** Проведены исследования целесообразности применения при строительстве индивидуальных жилых домов распространенных проектов систем отопления на различных видах топлива, а также инновационной системы отопления на основе теплового насоса. Проекты систем отопления в индивидуальном жилом доме рассмотрены всесторонне в долгосрочной перспективе с учетом всех прямых и сопутствующих реализации проекта доходов и расходов. Проведена оценка экологичности проектов, рассчитан экологический ущерб от выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. Осуществлены идентификация, количественная и качественная оценка рисков систем отопления на протяжении жизненного цикла проекта. Разработан перечень антирисковых мероприятий, дающих гарантию безопасной и эффективной эксплуатации систем отопления. Показана перспективность применения тепловых насосов для отопления индивидуальных жилых домов. Установлено, что применение нетрадиционных систем отопления на основе теплового насоса будет способствовать выполнению задачи по обеспечению всеобщего доступа к современным источникам энергии. Разработана методология, позволяющая выбрать проект системы отопления с минимальными совокупными затратами в долгосрочной перспективе, уменьшить нагрузку на окружающую среду за счет уменьшения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу и снизить риски реализации проекта.

**Ключевые слова:** система отопления, жилой дом, энергоэффективность, энергосбережение, возобновляемые источники энергии, тепловой насос.

Введение. Развитие цивилизации привело к нехватке энергетических ресурсов. Мировое общество стало перед необходимостью принятия серьезных мер по сокращению потребляемой энергии в промышленности и в жилищной сфере. Решение вопроса сбережения энергетических ресурсов актуально для всех отраслей экономики, в том числе и жилищного строительства [1].

На Саммите ООН 2015 года в Нью-Йорке поставлены семнадцать целей в области устойчивого развития на период до 2030 года. Седьмая цель – расширение области использования возобновляемых источников энергии [2].

Значимой составляющей национальной безопасности страны становится энергетическая безопасность. Этот факт закреплен в проводимой политике ряда стран. На протяжении последних 25 лет в Беларуси также разрабатываются мероприятия, направленные на сокращение потребления тепловой энергии при строительстве и эксплуатации жилья. Нормы по ее удельному расходу на нужды отопления и горячего водоснабжения в жилых домах начиная с 1993 года непрерывно снижаются. Поставлены цели достижения показателей на уровне европейских в области строительства и эксплуатации «пассивных» домов на уровне 30–40 кВт·ч/м<sup>2</sup> в год для многоэтажных зданий и 90 кВт·ч/м<sup>2</sup> в год – для малоэтажного строительства. Для государственной поддержки данного процесса в Беларуси при-

няты Закон Республики Беларусь «Об энергосбережении» [3] и Государственная программа «Энергосбережение» на 2016–2020 годы [4]. В них предусмотрены экономия энергоресурсов за счет внедрения инновационных энергоэффективных технологий, оборудования, приборов и материалов, вовлечение собственных ресурсов, в том числе возобновляемых источников энергии (ВИЭ), увеличение популярности энергосбережения среди населения, установление стимулирующих тарифов на энергоресурсы. Кроме того предусматриваются создание системы мониторинга и оценки управления энергосбережением.

Развитие успешных стратегий энергосбережения должно проводиться на всех уровнях, в том числе и на уровне населения страны в собственных домах [5].

Природные условия в Беларуси отличаются умеренно-континентальным климатом, что проявляется в необходимости наличия в жилых помещениях надежных и эффективных систем отопления. Принципиальное отличие проектов происходит в зависимости от вида потребляемого топлива.

Традиционные системы отопления популярны среди населения Беларуси благодаря их доступности, четко проработанными и апробированными множеством пользователей техническими решениями, наличию на рынке различных модификаций теплогенераторов и предложений услуг по их установке, а также, на первый взгляд,

экономичности [6]. Последнее утверждение, на взгляд авторов, является весьма спорным и подлежит пересмотру [7]. В настоящее время стоимость строительства и эксплуатации 1 м<sup>2</sup> в индивидуальном жилом доме выше, чем в жилом многоквартирном доме, при прочих равных условиях [8]. Одна из существенных статей расходов – отопление помещений в холодное время года. Применение традиционных систем отопления приводит к значительным текущим расходам.

На основе результатов прогнозирования энергетических перспектив развития строительства жилья более выигрышными сегодня являются два направления повышения энергетической эффективности объектов:

- экономия энергетических ресурсов путем минимизации энергопотребления и потерь энергии, в т.ч. путем утилизации энергетически ценных отходов;

- применение при эксплуатации жилых домов возобновляемых источников энергии.

Возможности применения нетрадиционных альтернативных источников энергии для отопления жилья расширяются [9]. Кроме того истощение невозобновляемых энергетических ресурсов заставляет задуматься о рациональном их использовании.

**Методология.** При проведении исследования использовалась установленная в мировой практике методика определения эффективности инвестиций, которая предполагает сопоставление полученного чистого дохода от реализации проекта за принятый горизонт расчета с вложенными в него инвестициями. Основой метода является определение чистого денежного потока, рассчитываемого как разность между достигнутыми к концу года доходами и расходами, рассматриваемыми в динамике за расчетный период [10].

Для приведения разновременных стоимостных значений расходов  $Z_T$  и доходов  $P_T$  к их ценности на момент старта проекта, применили метод дисконтирования денежных потоков [10]. Определение нормы дисконтирования произведено с учетом рекомендаций [10] в размере 15 % из расчета средней фактической ставки процента по долгосрочным кредитам с применением надбавки за риск [11–14].

Стоимостная оценка результатов использования систем отопления  $P_T$  за 10 лет представлена как величина дисконтированного денежного потока от реализации проекта [10]:

$$P_T = P_0 + P_1 \cdot K_1 + P_2 \cdot K_2 + \dots + P_{10} \cdot K_{10}, \quad (1)$$

где  $P_i$  – поступления средств от результатов использования проекта отопления за каждый год

расчетного периода (10 лет), EUR;  $K_1, K_2, \dots, K_i$  – коэффициенты дисконтирования.

Аналогично выполнен расчет дисконтированных расходов  $Z_T$  [10]:

$$Z_T = I_0 + I_1 \cdot K_1 + I_2 \cdot K_2 + \dots + I_3 \cdot K_{10}, \quad (2)$$

где  $I_{(i)}$  – издержки за каждый год расчетного периода (10 лет), EUR.

Расчет экологического ущерба в натуральном и денежном выражении производилина основе [15–19]. Сумма экологического ущерба  $U$  рассчитана исходя из массы выбросов загрязняющих веществ в атмосферу и ставки экологического налога:

$$U = \sum_{i=1}^n (P_i \cdot M_i), \quad (3)$$

где  $P_i$  – ставка экологического налога за выбросы  $i$ -го загрязняющего вещества (ЗВ) в атмосферный воздух, EUR/т;  $M_i$  – выбросы  $i$ -го загрязняющего вещества (ЗВ) в атмосферу за отопительный сезон, т.

Отнесение загрязняющих веществ к определенным классам опасности производили в соответствии с классификатором отходов [20].

Использовался также метод оценки по приведенным затратам:

$$Z = E_n \cdot I + C, \quad (4)$$

где  $I$  – начальные инвестиции в проект системы отопления, EUR;  $C$  – текущие эксплуатационные затраты, EUR;  $E_n$  – коэффициент приведения инвестиционных вложений.

Наиболее экономичный вариант проекта выбирали исходя из условия минимума приведенных затрат:

$$Z = E_n \cdot I + C \rightarrow \min \quad (5)$$

Риски, возникающие при эксплуатации систем отопления оценивались по формуле [19]:

$$[Q] = Q \cdot w, \quad (6)$$

где  $Q$  – вероятность отказа;  $w$  – коэффициент последствия отказа (влияние).

Коэффициент последствия отказа принимали в зависимости от влияния на жизнь и здоровье жильцов, экономических потерь, последствий для окружающей среды. Вероятность отказа и коэффициент последствий отказа (влияние) определяли на основе данных статистики и экспертной оценки. Для оцифровки вероятности использована численная оценка от 1 до 3 [21].

В расчетах учтена степень влияния риска на следующие аспекты: цели, срок, бюджет и качество проекта отопления жилого дома [11, 12, 21]. Для расчета общего влияния риска на проект использована формула:

$$w = \frac{(w_1 + w_2 + w_3 + w_4)}{4}, \quad (7)$$

где  $w_1$  – влияние на срок;  $w_2$  – влияние на бюджет;  $w_3$  – влияние на содержание;  $w_4$  – влияние на качество.

Основная часть. Объектом исследования являются системы отопления индивидуальных жилых домов.

Цель работы – создание методологии, позволяющей проводить комплексную оценку проектов систем отопления индивидуальных жилых домов в Беларуси с учетом совокупных расходов, экологических последствий и рисков в долгосрочной перспективе, для последующего выбора оптимального проекта, удовлетворяющего требованиям заказчика.

Принципиальное отличие проектов систем отопления происходит в зависимости от вида потребляемого топлива [22]. Исторически формировался механизм получения тепла, приспособленный к доступным потребителю твердым видам топлива. За период развития цивилизации системы отопления прошли долгий путь эволюции от примитивного сжигания топлива в костре до систем центрального отопления. В настоящее время распространение получили системы отопления на основе возобновляемых источниках энергии [23].

В работе рассмотрены наиболее распространенные в настоящее время среди населения системы отопления на различных видах топлива [22]:

- на основе электрической энергии, марка теплогенератора WESPENHEIZUNG;
- на основе природного газа, марка теплогенератора ARISTON;
- на основе твердого топлива (каменном угле, антраците, торфобрикете, дровах), марка теплогенератора Космос-10;
- с использованием городской тепловой сети;
- на основе теплового насоса, марка NI-VEBO/W45.

Выбор марок теплогенераторов обусловлен следующими факторами:

- теплогенераторы по техническим параметрам подходят для применения в жилом доме;
- рассматриваемые теплогенераторы имеют средние технические параметры;
- рассматриваемые теплогенераторы имеют средние ценовые характеристики.

Среди населения Беларуси популярны системы отопления с минимальными первоначальными вложениями в приобретение, установку и монтаж оборудования, простые в эксплуатации, не требующие устройства специального помеще-

ния под оборудование. При определении эффективности систем отопления в жилом доме необходимо учитывать все последствия их реализации, в том числе социальные и экологические. Беларусь, субсидируя внутренние цены на энергоносители, дает возможность населению использовать сравнительно недорогие энергоносители. Эта практика, усугубляемая советскими традициями, провоцирует расточительное поведение граждан-пользователей энергоресурсов. В странах ЕС исторически сложился другой уровень цен на энергоносители для пользователей. Природный газ для населения в Германии в 6,26 раза дороже по сравнению с Республикой Беларусь и в 7,35 раз дороже по сравнению с Россией, в Швеции – в 11,12 раза и 13,07 раза, соответственно [24]. Поэтому в странах ЕС распространенным методом отопления индивидуальных домов является применение тепловых насосов [9].

Тепловой насос представляет собой устройство для переноса тепловой энергии от теплоотдатчика с низкой температурой к теплоприемнику с высокой температурой [25, 26]. Базовое отличие теплового насоса от других теплогенераторов (электрических, газовых, твердотопливных и т.д.) состоит в том, что при производстве тепла до 80 процентов энергии заимствуется из окружающей среды. Наиболее популярны в настоящее время парокомпрессионные тепловые насосы с электрокомпрессором. Показатель эффективности теплового насоса зависит от температуры окружающей среды, в которую помещен испаритель, и в современных насосах достигает 6 [27], то есть при расходе 1 кВт·ч электроэнергии может быть получено до 6 кВт·ч тепловой энергии.

Для отопления современного индивидуального жилого дома с отапливаемой площадью 200 м<sup>2</sup> и эффективной теплоизоляцией необходим теплогенератор с тепловой мощностью примерно 10 кВт [28, с. 52–53]. В проведенных ранее исследованиях [7, 22] были определены количество потребленного тепла за отопительный сезон, а также количество и стоимость топлива, необходимого для отопления дома. При расчетах использовались цены, обеспечивающие полное возмещение экономически обоснованных затрат. В качестве КПД теплогенераторов были приняты данные, заявленные производителем [29]. Удельная теплота сгорания топлива и цены выбраны из источников [29–35]. Для анализа первоначальных инвестиционных расходов цены на различные виды теплогенераторов приняты на основе [29–35], стоимость монтажа, подключения и ежегодного обслуживания рассчитаны исходя из среднего уровня цен (табл. 1).

Таблица 1

**Капитальные вложения при использовании различных теплогенераторов**

Тип (марка) теплогенератора	Цена теплогенератора, EUR	Стоимость монтажа и подключения, EUR	Стоимость ежегодного обслуживания, EUR
WESPE HEIZUNG (электродкотел)	644,93	80,62	11,29
Ariston (газовый котел)	483,60	886,77	22,57
Космос-10 (котел на твердом топливе)	548,99	112,86	13,7
Городская теплосеть	–	967,39	8,06
NIBE BO/W45 (тепловой насос типа «грунт-вода»)	4998,18	3627,71	57,24

Если рассматривать проекты с точки зрения первоначальных затрат или в краткосрочном периоде, то тепловой насос не конкурентоспособен традиционными системами отопления, т.к. первоначальные затраты на порядок выше таких же затрат для остальных теплогенераторов.

Оценка проектов систем отопления в жилом доме с учетом остаточной стоимости оборудования в долгосрочном периоде. При определении экономической эффективности систем отопления в жилом доме должны учитываться все последствия их реализации, как непосредственно экономические, так и социальные, экологические.

В рамках исследования были оценены проекты систем отопления жилого дома с учетом стоимости оборудования, пригодного для дальнейшего использования, остающейся после 10 лет его эксплуатации. Поскольку эффективный

срок использования теплогенератора составляет 9–11 лет, то при определении эффекта от внедрения инновационной системы отопления выбран средний расчетный период 10 лет. Оценены все денежные потоки за данный промежуток времени с учетом дисконтирования [22]. Выбор варианта инвестиций в данном случае целесообразно производить по максимальному значению положительной величины дисконтированного денежного потока или минимального значения дисконтированных расходов, уменьшенных на сумму поступлений. Остаточная стоимость оборудования, определена на основе экспертной оценки по видам систем отопления и учитывается как поступление денежных средств по окончании расчетного периода.

Описание суммарных денежных потоков по проектам отопления за расчетный период представлено в таблице 2.

Таблица 2

**Оценка систем отопления за расчетный период**

Вид топлива, энергии	Фактические расходы, EUR/расчетный период	Фактические поступления средств (остаточная стоимость оборудования), EUR	Суммарный денежный поток, EUR
Электрическая энергия	-16968,81	20,92	-16947,89
Природный газ	-5534,92	219,03	-5315,88
Каменный уголь	-3345,63	95,57	-3250,06
Антрацит	-5081,77	95,57	-4986,2
Торфобрикеты	-3595,5	95,57	-3499,93
Дрова березовые (20 % влажности)	-4092,01	95,57	-3996,44
Тепловая (городская теплосеть)	-7126,55	219,03	-6907,52
Тепловой насос	-13360,00	2080,81	-11279,19

При изучении результатов расчетов наибольшую привлекательность имеют проекты отопления на твердотопливном котле с использованием в качестве топлива каменного угля и торфобрикета. При оценке по чистой текущей стоимости (чистому дисконтированному денежному потоку с учетом фактора времени) система отопления на основе теплового насоса в 2,1 раз дороже системы отопления на природном газе. По

сравнению с вариантом проекта отопления жилого дома электродкотлом отопление тепловым насосом обойдется в 1,5 раза дешевле. Однако в этом плане тепловой насос проигрывает системам отопления твердотопливным котлом и центральному отоплению.

Оценка систем отопления с учетом экологических последствий реализации. Применение систем отопления на основе теплового насоса и электродкотлом экологически безопасно [36].

Применение традиционных для Республики Беларусь систем отопления на твердом топливе и природном газе приводит к выбросам в атмосферу загрязняющих веществ (ЗВ), которые оказывают негативное воздействие на человека [17]. В 2018 году ставка экологического налога за выбросы одной тонны ЗВ в атмосферный воздух для веществ различных классов опасности составляла [18, 19]:

– второй класс опасности ЗВ – 826,95 белорусских рублей или 333,33 EUR;

– третий класс опасности ЗВ – 273,38 белорусских рублей или 110,19 EUR;

– четвертый класс опасности ЗВ – 135,84 белорусских рублей или 54,75 EUR [37].

Указанные суммы с учетом объемов выбросов различных систем отопления в атмосферный воздух дают величину экологического ущерба. Суммы этого ущерба за отопительный сезон от выбросов ЗВ в атмосферу в зависимости от применяемой системы отопления по состоянию на 2018 г. представлены в табл. 3.

Таблица 3

## Суммы экологического ущерба от выбросов ЗВ системами отопления

Вид топлива, загрязняющего вещества,	Выбросы ЗВ в атмосферу, т/г	Суммы экологического ущерба, EUR/г
Электрическая энергия	–	Не определяется
Природный газ всего, в т. ч.:		27,40
Оксид углерода (CO)	0,0920	5,04
Диксид азота (NO <sub>2</sub> )	0,0577	19,23
Оксид азота (NO)	0,0094	3,13
Каменный уголь всего, в т. ч.:		207,76
Оксид углерода (CO)	0,1790	9,80
Диксид азота (NO <sub>2</sub> )	0,0520	17,33
Оксид азота (NO)	0,0084	2,80
Оксид серы (SO <sub>2</sub> )	0,0023	0,25
Твердые частицы (суммарно)	1,6115	177,58
Антрацит всего, в т. ч.:		137,29
Оксид углерода (CO)	0,1790	9,80
Диксид азота (NO <sub>2</sub> )	0,0607	20,23
Оксид азота (NO)	0,0099	3,30
Оксид серы (SO <sub>2</sub> )	0,0008	0,09
Твердые частицы (суммарно)	0,9426	103,87
Торфобрикеты всего, в т. ч.:		48,68
Оксид углерода (CO)	0,1790	9,80
Диксид азота (NO <sub>2</sub> )	0,0309	10,30
Оксид азота (NO)	0,0050	1,66
Оксид серы (SO <sub>2</sub> )	0,0003	0,03
Твердые частицы (суммарно)	0,2440	26,89
Дрова березовые (20 % влажности) всего, в т. ч.:		29,40
Оксид углерода (CO)	0,1380	7,56
Диксид азота (NO <sub>2</sub> )	0,0387	12,9
Оксид азота (NO)	0,0063	2,10
Оксид серы (SO <sub>2</sub> )	0,0076	0,84
Твердые частицы (суммарно)	0,0545	6,01
Тепловая (городская теплосеть)	–	Не определяется
Тепловой насос	–	Не определяется

Максимальной величины экологический ущерб от выбросов ЗВ в атмосферу достигает при внедрении проекта отопления жилого дома на основе твердотопливного котла на каменном угле.

Проведем оценку систем отопления с учетом экологического ущерба за расчетный период – 10 лет (табл. 4). Расчеты показывают, что суммарные затраты на внедрение проекта отопления тепловым насосом, с учетом фактов наличия остаточной стоимости оборудования через 10 лет

эксплуатации и выбросов ЗВ в атмосферу соизмеримы с суммарными затратами на проект отопления жилого дома с использованием городской теплосети, и в 1,5 раза ниже затрат на реализацию проекта отопления на основе электрокотла [22].

Рейтинг систем отопления при оценке по чистому дисконтированному денежному потоку с учетом совокупных затрат представлен в таблице 5.

Таблица 4

## Оценка систем отопления с учетом экологического ущерба за расчетный период

Вид топлива, энергии	Фактические расходы, EUR	Остаточная стоимость, EUR	Экологический ущерб за расчетный период, EUR	Чистый дисконтированный денежный поток, EUR
Электрическая энергия	-16968,81	20,92	-	-16947,89
Природный газ	-5534,92	219,03	-137,53	-5453,41
Каменный уголь	-3345,63	95,57	-1042,61	-4293,88
Антрацит	-5081,77	95,57	-688,98	-5675,18
Торфобрикет	-3595,5	95,57	-244,30	-3744,23
Дрова березовые	-4092,01	95,57	-147,53	-4143,98
Тепловая (городская теплосеть)	-7126,55	219,03	Не определяется	-6907,52
Тепловой насос	-13360,00	2080,81	Не определяется	-11279,19

Таблица 5

## Рейтинг систем отопления при оценке по чистому дисконтированному денежному потоку с учетом совокупных затрат

Место в рейтинге	Тип (марка) теплогенератора (вид топлива)
1	Космос-10 (твердотопливный котел на торфобрикете)
2	Космос-10 (котел на твердом топливе: дрова)
3	Космос-10 (котел на твердом топливе: каменный уголь)
4	Ariston (газовый котел)
5	Космос-10 (котел на твердом топливе: антрацит)
6	Городская теплосеть
7	NIBE BO/W45 (тепловой насос типа «грунт-вода»)
8	WESPE HEIZUNG (электрочотел)

**Оценка систем отопления по минимальным приведенным затратам.** Несмотря на широкое распространение метода срока окупаемости в качестве метода оценки эффективности, практическое его применение связано с рядом проблем. В частности затруднено сравнение нескольких вариантов, поскольку в своей простейшей форме он позволяет сравнивать варианты только попарно. При наличии большого числа вариантов, выбранных для сравнения, необходимо ранжировать варианты в порядке роста потребных инвестиций и последовательно попарно сопоставлять варианты, что является трудоемким и выглядит для пользователя неубедительно. Авторами проведена оценка оптимальности применения систем отопления в индивидуальном жилом доме по приведенным затратам [6].

Выбор метода приведенных затрат имеет ряд преимуществ по отношению к методу срока окупаемости:

- отсутствие необходимости попарного сравнения альтернативных вариантов и, как следствие, упрощение расчетов;

- получение результативного показателя в стоимостном выражении, что позволяет более наглядно представить потребителю результат исследования;

- снижение влияния погрешности исходных данных, в результате замены отношения погрешностей суммой;

- ликвидация искажения результатов при близких в данном случае по величине показателях текущих и начальных инвестиционных затрат в случае применения метода срока окупаемости.

Кроме того метод минимальных приведенных затрат удобен при поиске оптимальных параметров, а также в случаях, когда параметры проектируемого объекта и текущие эксплуатационные затраты зависят от инвестиционных затрат, что является актуальным в данной ситуации. Результаты расчетов приведенных затрат по сравниваемым проектам систем отопления, представлены в таблице 6.

В качестве первоначальных инвестиционных затрат приняты стоимость приобретения, монтажа и подключения оборудования в действующих ценах. В качестве текущих эксплуатационных затрат приняты затраты на обслуживание и стоимость топлива, энергии на отопительный сезон. Коэффициент приведения капитальных вложений принят на уровне средней стоимости финансовых ресурсов на рынке инвестиций (10 %) [13].

Максимальные приведенные затраты возникают при использовании электрочотлов для отопления дома. Связано это в первую очередь с высоким уровнем текущих затрат на электроэнергию. Следующие строчки рейтинга занимают системы отопления на основе использования энергии из городской теплосети и на основе теплового насоса. При использовании теплового насоса приведенные затраты ниже в 1,8 раза, чем при использовании электрочотла и в 1,8 раза выше, чем при отоплении природным газом.

Таблица 6

## Сравнение вариантов систем отопления по приведенным затратам

Тип (марка) теплогенератора	Первоначальные инвестиционные затраты, EUR	Годовые эксплуатационные расходы (стоимость топлива, энергии, техническое обслуживание), EUR	Приведенные затраты, EUR
WESPE HEIZUNG (электродкотел)	725,54	3236,36	3308,91
Ariston (газовый котел)	1370,47	829,74	966,78
Космос-10 (котел на твердом топливе: каменный уголь)	661,86	5347,24	600,91
Космос-10 (котел на твердом топливе: антрацит)	661,86	880,32	946,51
Космос-10 (котел на твердом топливе: торфобрикет)	661,86	584,5	650,69
Космос-10 (котел на твердом топливе: дрова)	661,86	683,46	749,65
Городская теплосеть	967,39	1227,13	1323,87
NIBE BO/W45 (тепловой насос типа «грунт-вода»)	8625,88	943,24	1805,83

Минимальный уровень приведенных затрат получен при применении отопления дома путем сжигания каменного угля или торфобрикета. Немного дороже обойдется отопление дровами. Объясняется данный факт применением сравнительно дешевого оборудования и невысокими ценами на торфобрикеты и каменный уголь. Далее в рейтинге (табл. 7) следуют системы отопления на основе природного газа и антрацита. Стоимость приобретения природного газа сопоставима со стоимостью приобретения электроэнергии для привода теплового насоса, при этом первоначальные затраты на установку газового котла более чем в 6 раз ниже, чем на установку теплового насоса, что отпугивает пользователей.

Таблица 7

## Рейтинг систем отопления при оценке по методу минимальных приведенных затрат

Место в рейтинге	Тип (марка) теплогенератора (вид топлива)
1	Космос-10 (котел на твердом топливе: каменный уголь)
2	Космос-10 (котел на твердом топливе: торфобрикеты)
3	Космос-10 (котел на твердом топливе: дрова)
4	Космос-10 (котел на твердом топливе: антрацит)
5	Ariston (газовый котел)
6	Городская теплосеть
7	NIBE BO/W45 (тепловой насос типа «грунт-вода»)
8	WESPE HEIZUNG (электродкотел)

Если рассматривать проекты по методу приведенных затрат, то тепловой насос не может конкурировать с системами отопления на природном газе и твердом топливе. В сравнении с

центральным отоплением и, особенно отоплением электродкотлом, проект отопления тепловым насосом является эффективным. Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений в оборудование с тепловым насосом по сравнению с электродкотлом составляет 3,5 года.

Оценка рисков при выборе системы отопления. При выборе системы отопления кроме ценовых параметров важными являются надежность, безопасность эксплуатации, простота обслуживания и экологичность.

Опыт аварийных ситуаций в жилищном строительстве доказывает, что причинами аварий являются комплексное действие внешнего, непредусмотренного проектом воздействия на объект, и фактор человеческой ошибки. Авторами идентифицированы риски, возникающие при применении различных систем отопления жилых домов, соответствующие всем стадиям реализации проекта. Проведены их качественная и количественная оценки. Также разработан перечень антирисковых мероприятий.

При эксплуатации систем отопления причинами возникновения рисков являются [11, 12]:

- выбор технологий, не соответствующих фактическим условиям;
- низкая квалификация специалистов;
- погрешности в проекте системы отопления;
- просчеты при производстве работ;
- сознательные или случайные негативные действия персонала подрядчика или третьих лиц;
- отсутствие возможности наладить качественное обслуживание при эксплуатации;
- изменение цен на энергоносители;
- загрязнение окружающей среды выбросами в атмосферу.

При выборе системы отопления риски зависят от вида топлива. При применении традиционных систем отопления на основе природного газа, твердого топлива необходимо принимать в расчет вероятность повышения цен на энергоносители, высокие текущие расходы пользователя, а также высокий уровень опасности оборудования. Необходимо привлекать к работам по монтажу только специалистов с опытом работ, а при эксплуатации соблюдать осторожность и вовремя выполнять работы по обслуживанию систем. Кроме того при применении системы отопления на основе твердого топлива необходимо принимать в расчет загрязнение окружающей среды выбросами в атмосферу [12]. Результаты расчетов представлены в таблице 8.

В целях повышения безопасности и эффективной эксплуатации систем отопления разработан перечень антирисковых мероприятий [11, 12].

- изучение текущей ситуации и возможностей возникновения аварийных ситуаций;
- выбор решений, гарантирующих надежность работы системы;
- постоянный систематичный контроль состояния инженерных коммуникаций;
- разработка комплекса антитеррористических мероприятий;
- выбор конструктивных решений, обеспечивающих минимальные совокупные затраты при эксплуатации жилого дома в долгосрочном периоде;
- своевременное устранение последствий и причин возникновения аварий, вместе с минимизацией ущерба;
- выбор современных конструктивных решений обеспечивающих экологическую эффективность проекта реконструкции жилого дома;
- внедрение системы управления проектами в подрядных организациях;
- переход на проектно-ориентированное управление в эксплуатирующих организациях;
- привлечение частных и институциональных инвесторов, привлечение научных кадров для проведения работ по повышению эффективности антирисковых мероприятий;
- разработка и внедрение эффективных энергосберегающих технологий, экологических решений (таких, как тепловой насос) при строительстве и реконструкции жилых домов.
- страхование рисков путем заключения со страховым акционерным обществом полисов страхования.

Описание разработанной методологии. Разработанная методология оценки эффективности различных систем отопления индивидуальных

жилых домов с учетом экологичности проектов [37] включает четыре этапа.

Первый этап – выявление имеющихся традиционных и потенциально-возможных инновационных технологий отопления жилого дома, с учетом различных групп факторов.

Таблица 8

#### Сравнительный рейтинг важности рисков различных систем отопления

Место в рейтинге	Тип (марка) теплогенератора (вид топлива)	Интегральная оценка важности риска
1	NIBE BO/W45 (тепловой насос типа «грунт-вода»)	19
2	Космос-10 (котел на твердом топливе: торфобрикет, дрова)	21
2	Городская теплосеть	21
3	Ariston (газовый котел)	23
4	Космос-10 (котел на твердом топливе: кам. уголь, антрацит)	27
4	WESPE HEIZUNG (электрокотел)	27

Второй этап – качественная и количественная оценка факторов. Для качественной оценки влияния каждой группы факторов использован экспертный метод. Количественная оценка определялась как сумма совокупной экономии на всех этапах реализации проекта, а также экологического эффекта. При определении эффекта от внедрения инновационной системы отопления выбран период планирования 10 лет и оценены все доходы и расходы. При этом осуществлялось дисконтирование денежных потоков.

Третий этап – оценка проектов по минимальным приведенным затратам.

Четвертый этап – оценка рисков применения систем отопления жилых домов, соответствующих всем этапам жизненного цикла проекта и разработка перечня антирисковых мероприятий [11].

Разработанная методология позволяет минимизировать экономические издержки на протяжении жизненного цикла проекта, уменьшить нагрузку на окружающую среду и снизить риски.

Выводы. Наличие эффективной системы отопления в жилом доме в условиях продолжительного холодного периода в Беларуси является неременным требованием для обеспечения нормального процесса жизнедеятельности. Необходимо рассматривать проекты систем отопления в жилом доме всесторонне в долгосрочной перспективе с учетом всех доходов и расходов. В



условиях постоянного повышения цен на энерго-ресурсы и перехода на полное возмещение затрат за отопление решающим фактором оценки становится величина текущих расходов [38]. При этом нельзя пренебрегать вопросами экологичности, безопасности проектов, так как здесь цена ошибки очень велика [39, 40]. Внедрение в сознание граждан экологической ответственности диктуется современными требованиями. Седьмая цель устойчивого развития на период до 2030 года, определенная на Саммите ООН 2015 года в Нью-Йорке гласит: «Обеспечение всеобщего доступа к недорогим, надежным, устойчивым и современным источникам энергии для всех, предполагает развитие применения возобновляемых источников энергии, в частности в жилищном строительстве» [2]. Применение нетрадиционных систем отопления на основе теплового насоса способствует выполнению данной цели [41].

Повышение энергетической эффективности страны – важная современная задача. Решать ее необходимо комплексно на государственном уровне и на уровне отдельных потребителей. Экономия энергии на внутреннем рынке, путем применения энергосберегающих экологически чистых систем отопления в жилых домах, будет содействовать повышению энергетической безопасности страны и экономии средств населения в условиях постоянного роста тарифов на электрическую энергию и цен на традиционные энергоносители (природный газ, уголь, дрова). С экологической точки зрения массовое использование систем отопления тепловыми насосами позволит уменьшить объем выбросов загрязняющих веществ в атмосферу.

Природно-климатические и экономические условия Беларуси и России имеют общие черты. Поэтому данная методология может применяться и для выбора проекта системы отопления в России. Разработанная методология позволяет провести оценку систем отопления при изменении цен на энергоносители и другие ресурсы, используемые в расчетах, минимизируя экономические издержки на протяжении жизненного цикла проекта, позволяет уменьшить нагрузку на окружающую среду и снизить риски реализации проекта.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кадочкин А.Н. Нетрадиционные возобновляемые источники / Теория и практика технических, организационно-технологических и экономических решений: сб. научных трудов // Иваново: Изд-во Ивановский государственный политехнический университет, 2018. С. 147–152.
2. ООН: Цели в области устойчивого развития. [Электронный ресурс].– Систем. требования: <http://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/issues/people/energy/> Дата обращения: 28.11.2018.
3. Закон Республики Беларусь «Об энергосбережении» (8 января 2015 г. № 239-З). Нац. правовой Интернет-портал Респ. Беларусь, 11.01.2015, 2/2237.
4. Государственная программа «Энергосбережение» на 2016 – 2020 годы (28 марта 2016 г. № 248). В ред. Пост. Сов. Мин. Респ. Беларусь от 26 декабря 2017 г. № 1002. Нац. правовой Интернет-портал Респ. Беларусь, 30.12.2017, 5/44611.
5. Попова А.К. Экостроительство и экодом – основные понятия и современное восприятие нового типа жилья // Colloquium-journal. 2018. Т. 1. №6 (17). С. 4–7.
6. Лобикова О.М., Лобикова Н.В. Инвестиционная привлекательность нетрадиционных систем отопления для населения как составляющая энергетической безопасности страны / Информационное обеспечение устойчивого развития экономики: материалы междунар. науч. конф. молодых ученых и преподавателей вузов // сост. Ю.И. Сигидов, Н.С. Власова, Г.Н. Ясменко, В. В. Башкатов. Краснодар: Изд-во КубГАУ, 2018. С. 235–242.
7. Лобикова Н.В., Галюжин А.С., Лобикова О.М., Галюжин С.Д. Экологическая целесообразность применения тепловых насосов для отопления индивидуальных жилых домов в Беларуси // Вестник Белорусско-Российского университета. 2018. № 2 (59). С. 33–44.
8. Подкорытов Е.В., Минин А.А., Матрунчик А.С. Экономическая выгода мероприятий для повышения энергоэффективности многоквартирных жилых домов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. 2018. Т. 9 №3. С. 88–98.
9. Тепловые насосы: статистика использования в Европе и мире. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <https://econet.ru/articles>. (дата обращения: 10.11.2018).
10. Правила по разработке бизнес-планов инвестиционных проектов (в ред. постановлений Минэкономики от 07.12.2007 № 214, от 29.02.2012 № 15) Утв. Пост. Мин. экономики Республики Беларусь 31.08.2005 № 158.
11. Лобикова Н.В., Лобикова О.М. Риски при выборе системы отопления в индивидуальных жилых домах // Сборник материалов Международной научно-технической конференции молодых ученых БГТУ им. В. Г. Шухова, 21 - 25

мая Белгород 2018 г. [Электронный ресурс]. Систем. требования: [http://www.bstu.ru/about/press\\_center/news/55457/opublikovan-sbornik-statey-molodih-uchenih-bgtu-im.v.g.shuhova](http://www.bstu.ru/about/press_center/news/55457/opublikovan-sbornik-statey-molodih-uchenih-bgtu-im.v.g.shuhova). (дата обращения: 12.12.2018)

12. Лобикова Н.В., Лобикова О.М. Управление рисками при реконструкции жилых домов с учетом современных требований энергоэффективности: проблемы и практика решения / Общество. Экономика. Культура: актуальные проблемы, практика решения: сборник научных статей / VIII Международная научно-практическая конференция. // Барнаул: Изд.-во Санкт-Петербургского университета технологий управления и экономики, 2018. С.160–165.

13. Динамика ставок кредитно-депозитного рынка. [Электронный ресурс]. Систем. требования: <https://www.nbrb.by/statistics/CreditDepositMarketRates/> (дата обращения: 28.09.2018).

14. Соколовская Е.А. Расчет и обоснование ставки дисконтирования методом WACC / Планово-экономический отдел № 12 (162), 2016 г. [Электронный ресурс]. Систем. требования: [https://peomag.by/number/2016/12/Raschet\\_i\\_obosnovanie\\_stavki\\_diskontirovaniya\\_metodom\\_WACC/](https://peomag.by/number/2016/12/Raschet_i_obosnovanie_stavki_diskontirovaniya_metodom_WACC/) (дата обращения : 25.11.2018).

15. ТКП 17.08.01-2006 (02120) Охрана окружающей среды и природопользование. Атмосфера. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Порядок определения выбросов при сжигании топлива в котлах теплопроизводительностью до 25 МВт (с изм. и доп.) (в ред. Пост. Минприроды Респ. Беларусь от 12 февраля 2009 г. № 2-Т): Минск. Минприроды. 47с.

16. СТБ 17.08.05-02-2016 Охрана окружающей среды и природопользование. Атмосферный воздух. Методы определения скорости и расхода газов, поступающих в атмосферный воздух от стационарных источников выбросов. [Электронный ресурс]. Систем. требования: <https://energodoc.by/document/view?id=2941> / (дата обращения: 28.09.2018).

17. Санитарные нормы и правила «Требования к обращению с отходами производства и потребления», утв. Пост. Минздрава Республики Беларусь 30.12.2016 № 143. [Электронный ресурс]. Систем. требования: <http://minzdrav.gov.by/ru/dlya-spetsialistov/normativno-pravovaya-baza/tekhicheskie>. (дата обращения: 28.10.2018).

18. Налоговый кодекс Республики Беларусь (особенная часть) в ред. Закон Республики Беларусь от 9 января 2017 г. № 15-3 (Нац. правовой Интернет-портал Респ. Беларусь, 12.01.2017,

2/2453) N11700015 / [Электронный ресурс]. Систем. требования: <http://etalonline.by/?type=text&regnum=Nk0900071/> (дата обращения: 28.10.2018).

19. Указ Президента Республики Беларусь №29 от 25 января 2018 г. О налогообложении [Электронный ресурс]. Систем. требования: <http://president.gov.by/uploads/documents/2018/29uk.pdf/> (дата обращения: 28.10.2018).

20. Об утверждении классификатора отходов, образующихся в Республике Беларусь. Пост. Мин. природных ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь 8 ноября 2007 г. № 85 в ред. Пост. Мин. природных ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь от 7 марта 2012 г. № 8 (Нац.реестре – № 8/25211 от 02.04.2012 г.) [Электронный ресурс] Систем. требования: <https://otxody.by/klassifikator/> (дата обращения: 29.10.2018).

21. Филюшина К.Э., Минаев Н.Н., Гусакова Н.В. Добрынина О.И. Управление рисками при реализации малоэтажных проектов в строительстве // Вопросы управления. 2017. №1 (44). С. 172–182.

22. Лобикова Н.В., Лобикова О.М., Галужин С.Д. Эффективность различных систем отопления индивидуальных жилых домов с учетом экологичности проектов // Вестник Белорусско-Российского университета. 2018. № 4 (61). С. 120–130.

23. Exergetic and thermo-ecological assessment of heat pump supported by electricity from renewable sources Stanek W., Simla T., Gazda W. Renewable Energy. 2019. Т. 131. С. 404–412.

24. Рейтинг стран Европы по стоимости природного газа для населения [Электронный ресурс]. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. URL: <http://riarating.ru/countries/20170608/630064777.html>. (дата обращения: 21.02.2018).

25. Большая советская энциклопедия: [в 30 т.]. Гл. ред. А. М. Прохоров. 3-е изд. Т. 25. М.: Советская энциклопедия, 1976. С.448.

26. Мацевитый Ю.М., Чиркин Н.Б. Об использовании тепловых насосов в мире и что тормозит их широкомасштабное внедрение // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. 2014. № 2. С. 2–17.

27. Васильев Г.П. Теплохладоснабжение зданий и сооружений с использованием низкопотенциальной тепловой энергии поверхностных слоев Земли. М.: Изд-во Граница, 2006. 176 с.

28. Нащокин В.В. Техническая термодинамика и теплопередача: учеб. пособие для вузов. М.: Высш.шк., 1975. 469с.

29. Электрические котлы WESPE HEI-ZUNG (Германия). [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL:<http://rubikont.by/elektricheskiye-kotly?uclid>. (дата обращения: 14.02.2018).

30. Физико-химические свойства природного газа. Добыча и применение природного газа. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL:<http://fb.ru/article/199563/fiziko-himicheskie-svoystva-prirodnogo-gaza>. (дата обращения: 15.02.2018).

31. Уголь каменный: свойства, происхождение, добыча, цена. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL:<http://fb.ru/article/166986/ugol-kamennyiy-svoystva-kamennyiy-ugol-proishojdenie-tsena>. (дата обращения: 15.02.2018).

32. Котлы для отопления дома на угле. [Электронный ресурс]. Систем. требования: <http://climanova.ru/kotly-otopleniya-dlya-doma-na-ugle.html>. (дата обращения: 16.02.2018).

33. Теплотворность древесины – таблица теплоты сгорания дров: [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL:<http://kotlobzor.ru/teplotadrov>. (дата обращения: 11.09.2018).

34. Теплотворная способность различных видов топлива: дрова, уголь, пеллеты, брикеты [Электронный ресурс]. Систем. требования: <http://pechnoedelo.com/toplivo/teplotvornaya>. (дата обращения: 16.02.2018).

35. Тепловые насосы – вид оборудования, созданный для комфорта: [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL:<https://obogreem.by/catalog/teplovye-nasosy>. (дата обращения: 16.02.2018).

36. Никитин А.А., Крылов В.А., Рябова Т.В., Василенок А.В. Экономические и экологические аспекты использования геотермальных

технологий в народном хозяйстве // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Экономика и экологический менеджмент. 2015. №2. С.348–357.

37. Лобикова Н.В., Лобикова О.М., Галюжин С.Д. Методический подход к оценке инновационных систем отопления в жилом доме / Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: Материалы Международной научно-технической конференции молодых ученых. ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет», 2018. С. 138.

38. Chicherin S. Low-temperature district heating distributed from transmission distribution junctions to users: energy and environmental modelling. // В сб.: Energy Procedia Ser. "International Scientific Conference «Environmental and Climate Technologies», CONECT 2018" 2018. С. 382–389.

39. Показатели энергоэффективности: основы формирования политики. International Energy Agency, OECD/IEA, 2014. [Электронный ресурс]. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. URL: [http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Essentials\\_RU\\_final\\_FULL.PDF](http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Essentials_RU_final_FULL.PDF). (дата обращения: 16.12.2018).

40. Показатели энергоэффективности: основы статистики. International Energy Agency, OECD/IEA, 2014. [Электронный ресурс]. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. URL: <https://www.iea.org/media/training/eeu-ukraine2015/EEIrussianversion.PDF>. (дата обращения: 16.02.2018).

41. Moia-Pol A., Nazmitdinov R., Morzhukhin A. Analysis of heat pump market in Russia. Prospects of application of combined system for small buildings. // V sb. Refrigeration Science and Technology 13. Ser. «13th IIR Gustav Lorentzen Conference on Natural Refrigerants: Natural Refrigerant Solutions for Warm Climate Countries, Proceedings» 2018. С. 1111–1116.

#### *Информация об авторах*

**Галюжин Сергей Данилович**, кандидат технических наук, доцент, действительный член Белорусской инженерной академии, доцент кафедры «Безопасность жизнедеятельности». E-mail: [serg.galujin@yandex.ru](mailto:serg.galujin@yandex.ru). Белорусско-Российский университет. Республика Беларусь, 212000г. Могилев, проспект Мира, д. 43

**Лобикова Надежда Васильевна**, магистрант, кафедра «Промышленное и гражданское строительство». E-mail: [nadya.lobickova@yandex.ru](mailto:nadya.lobickova@yandex.ru). Белорусско-Российский университет. Республика Беларусь, 212000, г. Могилев, проспект Мира, д. 43

**Лобикова Ольга Михайловна**, старший преподаватель кафедры «Промышленное и гражданское строительство». E-mail: [olg.lobikova@yandex.ru](mailto:olg.lobikova@yandex.ru). Белорусско-Российский университет. Республика Беларусь, 212000, г. Могилев, проспект Мира, д. 43

*Поступила в январе 2019 г.*

© Галюжин С.Д., Лобикова Н.В., Лобикова О.М., 2019

<sup>1</sup>Galyuzhin S.D., <sup>1</sup>Lobikava N.V., <sup>1,\*</sup>Lobikava O.M.<sup>1</sup>Belarusian-Russian University

Republic of Belarus, 212000, Mogilev, Mira Ave, 43

\*E-mail:olg.lobikova@yandex.ru

## METHODOLOGY FOR EVALUATING THE PROJECTS OF HEATING SYSTEMS FOR INDIVIDUAL RESIDENTIAL HOUSES

**Abstract.** Studies on feasibility of using in the construction of individual houses the common projects of heating systems for various types of fuel and an innovative heating system based on a heat pump are given. The projects of heating systems in residential house are considered comprehensively taking into account all direct, associated incomes and expenses of the project. An assessment of the environmental projects are carried out, the environmental damage from the emissions of pollutants into the atmosphere is calculated. Identification, quantitative and qualitative risk assessment of heating systems throughout the project life cycle is made. A list of anti-risk measures has been developed. They give a guarantee of safe and efficient operation of heating systems. The prospects for the use of heat pumps for residential houses are shown. It is established that the use of unconventional heating systems based on a heat pump contribute the task of ensuring universal access to modern energy sources. A methodology has been produced that allows to select a heating system project with minimal total costs in the long term, to reduce the environmental load by reducing emissions of pollutants into the atmosphere and to reduce the risks of project implementation.

**Keywords:** heating system, residential building, energy efficiency, energy saving, renewable energy sources, heat pump.

### REFERENCE

1. Kadochkin A.N. Non-traditional renewable sources. Theory and practice of technical, organizational, technological and economic decisions: Coll. scientific papers. Ivanovo: Publishing house of Ivanovo State Polytechnic University, 2018. pp. 147–152.
2. UN: Sustainable Development Goals. Available at: <http://www.un.org/sustainabledevelopment/en/issues/people/energy/> (accessed 11.28.2018).
3. The Law of the Republic of Belarus «On Energy Saving» (January 8, 2015 No. 239-3). Nat legal Internet portal Rep. Belarus 11.01.2015, 2/2237.
4. The State Program «Energy Saving» for 2016–2020 (March 28, 2016 No. 248). Ed. Fast. Ow. Min Rep. Belarus of December 26, 2017, No. 1002. Nat. legal Internet portal Rep. Belarus, 30.12.2017, 5/44611.
5. Popova A.K. Eco-building and eco-house - basic concepts and modern perception of a new type of housing. Colloquium-journal, 2018, vol.1, no.6 (17), pp. 4–7.
6. Lobikova O.M., Lobikova N.V. Investment attractiveness of non-traditional heating systems for the population as a component of the country's energy security. Information support for sustainable economic development: materials of the international. scientific conf. young scientists and university professors. comp. Yu.I. Sigidov, N.S. Vlasov, G. N. Yasmenko, V.V. Bashkatov. Krasnodar: Publishing house KubGAU, 2018, pp. 235–242.
7. Lobikova N.V., Galyuzhin A.S., Lobikova O.M., Galyuzhin S.D. Ecological expediency of using heat pumps for heating individual houses in Belarus. Bulletin of the Belarusian-Russian University, 2018, no. 2 (59), pp. 33–44.
8. Podkorytov E.V., Minin A.A., Matrunchik A.S. The economic benefits of measures to improve the energy efficiency of apartment buildings. Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Construction and architecture, 2018, vol. 9, no. 3, pp. 88–98.
9. Heat pumps: usage statistics in Europe and the world. Available at: <https://econet.ru/articles>. (accessed: 10.11.2018).
10. Rules for the development of business plans for investment projects (as amended by the Ministry of Economy Decree dated December 7, 2007, no. 214, dated February 29, 2012 no. 15) Approved. Fast. Min of Economy of the Republic of Belarus, 31.08.2005 no. 158.
11. Lobikova N.V., Lobikova O.M. Risks when choosing a heating system in individual residential houses. Proceedings of the International Scientific and Technical Conference of Young Scientists of BSTU. V. G. Shukhov, May 21–25 Belgorod, 2018. Available at: [http://www.bstu.ru/about/press\\_center/news/55457/opublikovan-sbornik-statey-molodih-uchenih-bgtu-im.v.g.shuhova](http://www.bstu.ru/about/press_center/news/55457/opublikovan-sbornik-statey-molodih-uchenih-bgtu-im.v.g.shuhova). (accessed: 12.12.2018)
12. Lobikova N.V., Lobikova O.M. Risk management in the reconstruction of residential buildings with current energy efficiency requirements: problems and solution practice. Society. Economy. Culture: actual problems, solution practice: collection of scientific articles. VIII International Scientific and

Practical Conference. Barnaul: Edition of the St. Petersburg University of Management and Economics of Technologies, 2018, pp.160–165.

13. The dynamics of the rates of the loan and deposit market. Available at: <https://www.nbrb.by/statistics/CreditDepositMarketRates/> (appeal date: 09.28.2018).

14. Sokolovskaya E.A. Calculation and justification of the discount rate using the WACC method / Economic Planning Department no. 12 (162), 2016. Available at: [https://peomag.by/number/2016/12/Raschet\\_i\\_obosnovanie\\_stavki\\_diskontirovaniya\\_metodom\\_WACC/](https://peomag.by/number/2016/12/Raschet_i_obosnovanie_stavki_diskontirovaniya_metodom_WACC/) (accessed: 25.11.2018).

15. TCP 17.08.01-2006 (02120) Environmental protection and environmental management. Atmosphere. Emissions of pollutants into the air. The procedure for determining emissions from fuel combustion in boilers with a heating capacity of up to 25 MW (as amended and added). (As amended. Permanent Ministry of Environment of the Republic of Belarus of February 12, 2009 No. 2-T): Minsk. Ministry of Environment. 47 p.

16. STB 17.08.05-02-2016 Environmental protection and environmental management. Atmospheric air. Methods for determining the velocity and flow of gases entering the air from stationary sources of emissions. Available at: <https://energodoc.by/document/view?id=2941> / (accessed: 09.28.2018).

17. Sanitary norms and rules «Requirements for the treatment of production and consumption wastes», approved. Fast. Ministry of Health of the Republic of Belarus December 30, 2016 no. 143. Available at: <http://minzdrav.gov.by/ru/dlya-spetsialistov/normativno-pravovaya-baza/tekhnicheskie/> (accessed: 10.28.2018).

18. Tax Code of the Republic of Belarus (special part) in red. Law of the Republic of Belarus of January 9, 2017 No. 15-3 (National Legal Internet Portal of the Republic of Belarus, January 12, 2017, 2/2453) H11700015 / Available at: <http://etalonline.by/?type=text&regnum=Hk0900071> / (accessed: 10.28.2018).

19. Decree of the President of the Republic of Belarus No. 29 of January 25, 2018. On taxation. Available at: <http://president.gov.by/uploads/documents/2018/29uk.pdf/> (accessed: 10.28.2018).

20. On approval of the classifier of wastes generated in the Republic of Belarus. Fast. Min natural resources and environmental protection resp. Belarus November 8, 2007, № 85 ed. Fast. Min natural resources and environmental protection resp. Belarus of March 7, 2012, no. 8 (National Register - no. 8/25211 of April 2, 2012) Available at: <https://otxod.by/klassifikator/> (accessed: 10.29.2018).

21. Filyushina K.E., Minaev N.N., Gusakova N.V. Dobrynina O.I. Risk management in the implementation of low-rise projects in construction. Management issues, 2017, no. 1 (44), pp. 172–182.

22. Lobikova N.V., Lobikova O.M., Galyuzhin S.D. Efficiency of various heating systems of individual residential houses, taking into account environmental projects. Bulletin of the Belarusian-Russian University, 2018, no. 4 (61), pp. 120–130.

23. Electric heating and heat pump, renewable sources by Stanek W., Simla T., Gazda W. Renewable Energy, 2019, vol. 131, pp. 404–412.

24. Rating of European countries by the cost of natural gas for the population. Available at: <http://ri-rating.ru/countries/20170608/630064777.html>. (accessed: 02.21.2018).

25. Great Soviet Encyclopedia: [in 30 tons] / ch. red.A. M. Prokhorov. 3rd ed. T. 25. M.: Soviet Encyclopedia, 1976, 448 p.

26. Matsevity Yu.M., Chirkin NB On the use of heat pumps in the world and what hampers their large-scale implementation. Energy Saving. Energy. Energy audit, 2014, № 2, pp. 2–17.

27. Vasiliev, G.P. Cooling of buildings and structures using low-grade thermal energy of the surface layers of the Earth. M.: Publishing House Border. 2006, 176 p.

28. Nashchokin V.V. Technical thermodynamics and heat transfer: studies. allowance for universities. M.: Higher School. 1975, 469 p.

29. Electric boilers WESPE HEIZUNG (Germany). Available at: <http://rubikont.by/elektricheskiye-kotly?Yclid/> (accessed: 02.14.2018).

30. Physical and chemical properties of natural gas. Extraction and use of natural gas. Available at: <http://fb.ru/article/199563/fiziko-himicheskie-svoystva-prirodnogo-gaza>. (the date of circulation: 02/15/2018).

31. Coal stone: properties, origin, production, price. Available at: <http://fb.ru/article/166986/ugol-kamennyiy-svoystva-kamennyiy-ugol-proishozhdenie-tsena>. (accessed: 02.15.2018).

32. Boilers for heating a house on coal. Available at: <http://climanova.ru/kotly-otopleniya-dlya-doma-na-ugle.html>. (accessed: 02.16.2018).

33. Wood calorific value - table of heat of combustion of wood: Available at: <http://kotlobzor.ru/teplotadrov>. (accessed: 11.09.2018).

34. Calorific value of various types of fuel: firewood, coal, pellets, briquettes. Available at: <http://pechnoedelo.com/toplivo/teplotvornaya>. (accessed: 16.02.2018).

35. Heat pumps - a type of equipment designed for comfort: Available at: <https://obogreem.by/catalog/teplovyie-nasosy>. (accessed: 16.02.2018).

36. Nikitin A.A., Krylov V.A., Ryabova T.V., Vasilenok A.V. Economic and environmental aspects of using geothermal technologies in the national economy. Scientific journal NRU ITMO. Series: Economics and Environmental Management, 2015, no. 2, pp. 348–357.

37. Lobikova N.V., Lobikova O.M., Galyuzhin S.D. Methodical Approach to the Evaluation of Innovative Heating Systems in a Residential Buildin. New Materials, Equipment and Technologies in Industry: Materials of the International Scientific and Technical Conference of Young Scientists, Belarusian State University Belarusian-Russian University, 2018, p. 138.

38. Chicherin S. Low-temperature heating and environmental modeling. In Sat: Energy Procedures Ser. «International Scientific Conference «Environmental and Climate Technologies», CONECT 2018» 2018, pp. 382–389.

39. Energy Efficiency Indicators: A Policy Framework. International Energy Agency, OECD / IEA, 2014. Available at: [http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Essentials\\_EN\\_final\\_FULL.PDF](http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Essentials_EN_final_FULL.PDF). (accessed: 12.16.2018).

40. Energy Efficiency Indicators: The Basics of Statistics. International Energy Agency, OECD / IEA, 2014. Available at: <https://www.iea.org/media/training/eeukraine2015/EEIrussianversion.PDF>. (accessed: 16.02.2018).

41. Moia-Pol A., Nazmitdinov R., Morzhukhin A. Analysis of heat pump market in Russia. Prospects of application of combined system for small buildings. V sb. Refrigeration Science and Technology 13. Ser. «13th IIR Gustav Lorentzen Conference on Natural Refrigerants: Natural Refrigerant Solutions for Warm Climate Countries, Proceedings» 2018. pp. 1111–1116.

#### *Information about the authors*

**Galyuzhin, Sergey D.** PhD, Assistant professor, Member of Belarusian Academy of Natural Science, Associate Professor of the Department «Life Safety». Belarusian-Russian University. Republic of Belarus, 212000, Mogilev, Mira Ave, 43.

**Lobikava, Nadzeya V.** Master student. E-mail: [nadya.lobickova@yandex.ru](mailto:nadya.lobickova@yandex.ru). Belarusian-Russian University. Republic of Belarus, 212000, Mogilev, Mira Ave, 43.

**Lobikava, Olga M.** Senior Lecturer. E-mail: [olg.lobikova@yandex.ru](mailto:olg.lobikova@yandex.ru). Belarusian-Russian University. Republic of Belarus, 212000, Mogilev, Mira Ave, 43.

---

*Received in January 2019*

#### **Для цитирования:**

Галюжин С.Д., Лобикова Н.В., Лобикова О.М. Методология оценки проектов систем отопления индивидуальных жилых домов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. №2. С. 88–101. DOI: 10.12737/article\_5c73fc1d3898a0.66784644

#### **For citation:**

Galyuzhin S.D., Lobikava N.V., Lobikava O.M. Methodology for evaluating the projects of heating systems for individual residential houses. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2019, no. 2, pp. 88–101. DOI: 10.12737/article\_5c73fc1d3898a0.66784644