

ОХРАНА ТРУДА.
ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ.
ГЕОЭКОЛОГИЯ

УДК 621.577

Н. В. Лобикова, А. С. Галюжин, О. М. Лобикова, С. Д. Галюжин

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ ДЛЯ ОТОПЛЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЖИЛЫХ ДОМОВ В БЕЛАРУСИ

UDC 621.577

N. V. Lobikava, A. S. Galyuzhin, O. M. Lobikava, S. D. Galyuzhin

ECOLOGICAL EXPEDIENCY OF HEAT PUMPING APPLICATION FOR HEATING INDIVIDUAL RESIDENTIAL HOUSES IN BELARUS

Аннотация

Показана перспективность применения тепловых насосов для отопления индивидуального жилого дома. Проанализирован вред, который наносят окружающей среде системы отопления на различных видах топлива. Определен размер экологического ущерба от выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. Произведена оценка эффективности систем отопления в долгосрочной перспективе с учетом экологического ущерба. Установлено, что сопоставление безопасных с точки зрения экологии, однако более капиталоемких систем отопления (тепловой насос, электроэнергия) с более дешевыми (газ, котел на твердом топливе), но экологически опасными проектами без учета экологического ущерба ведет к занижению показателей эффективности инвестиций.

Ключевые слова:

тепловой насос, теплогенератор, системы отопления, энергосбережение, выбросы загрязняющих веществ, экологический ущерб.

Abstract

The prospects of using heat pumps for heating an individual residential building are shown. The damage to the environment caused by heating systems using various types of fuel is analyzed. The amount of environmental damage from emissions of pollutants into the atmosphere was determined. The efficiency of heating systems was assessed for the long term taking into account environmental damage. It was established that comparison of projects that are ecologically safe but more capital-intensive (a heat pump, electric power) with cheaper but environmentally hazardous ones (gas, a solid fuel boiler) leads to underestimating indicators of investment efficiency if environmental damage is not taken into account.

Key words:

heat pump, heat generator, heating systems, energy saving, emissions of pollutants, ecological damage.



Введение

Население Земли к концу 2017 г. превысило 7,4 млрд чел., более половины из которых нуждается в отоплении жилых помещений. Для этих целей, как правило, используются традиционные энергоносители: природный газ, уголь, продукты переработки нефти, дрова. Значительно реже используется электроэнергия. На Саммите ООН 2015 г. в Нью-Йорке определены семнадцать целей в области устойчивого развития на период до 2030 года. Седьмой целью является дальнейшее развитие применения возобновляемых источников энергии. В ходе саммита государства-члены ООН впервые пришли к историческому соглашению по поводу достижения глобальной цели по устойчивой энергетике. Она включает в себя задачи по обеспечению всеобщего доступа к современным источникам энергии, повышение эффективности ее использования и увеличение доли возобновляемых источников в мировом энергопотреблении.

В настоящее время все большую актуальность приобретает применение тепловых насосов как устройств для отопления зданий, позволяющих при этом уменьшить выбросы углекислого газа в атмосферу и, соответственно, снизить воздействие на климат планеты из-за уменьшения парникового эффекта.

Больших успехов по использованию тепловых насосов для отопления жилых и административных зданий в Европе достигла Швеция. Больше половины домов там обогревается таким способом. Почти весь Стокгольм обогревается тепловыми насосами, «качающими» тепловую энергию из Балтийского моря. В других регионах используется геотермальная энергия земли, а также тепло атмосферного воздуха. Такие достижения стали возможны благодаря государственной программе, в которой гибко сочетались государственные дотации и льготные банковские кредиты [1].

Европейским лидером в применении тепловых насосов является Германия. В этой стране при установке теплового насоса с тепловой мощностью до 20 кВт государственная субсидия составляет 900 евро.

Идея отбора энергии из окружающей среды и передачи потребителю разработана в 1852 г. известным британским физиком и инженером Уильямом Томсоном (лордом Кельвином). Ранее, в 1824 г., французским физиком Сади Карно была создана холодильная машина. Если учитывать, что термодинамический цикл холодильных машин и тепловых насосов одинаков, то первенство в этом вопросе необходимо отдать Карно.

Первое инженерное решение предложил австрийский инженер Петер Риттер фон Риттингер. Он спроектировал и установил в 1855 г. первый известный тепловой насос, который использовался для испарения воды из соляного раствора в соляных шахтах. Поэтому Риттингера считают изобретателем теплового насоса. В XX в. его именем названа Международная премия по тепловым насосам, вручаемая за достижения в области теплонасосных и связанных с ними технологий. Широкое практическое применение тепловой насос приобрел во время Второй мировой войны в связи с проблемами отопления, особенно в странах, где имелась в избытке дешёвая электрическая энергия гидроэлектростанций (например, в Швейцарии, Швеции, Норвегии и др.).

В первой половине прошлого столетия швейцарский изобретатель Роберт Вебер экспериментировал с морозильной камерой. Он случайно установил, что тепло, отдаваемое конденсатором, просто выбрасывается наружу. Вебер решил утилизировать это тепло и поместил конденсатор в бойлер для нагрева воды. Количество получаемой горячей воды превышало потребности семьи, поэтому он начал прокачивать



хладагент через радиатор, а с помощью вентилятора обдувать его воздухом жилого помещения, т. е. отапливать помещение. Далее Вебер модернизировал свое изобретение. Он поместил в грунт медные трубы, по которым прокачивался фреон (рис. 1). От тепла земли жид-

кий фреон испарялся, а затем парообразный фреон конденсировался, отдавая полученное от земли тепло воздуху дома. Воздух перемешался с помощью вентилятора и распространялся по дому. Эффект был настолько высок, что Вебер продал свою старую угольную печь.



Рис. 1. Роберт Вебер рядом со своим изобретением – тепловым насосом

Основная часть

Тепловой насос – устройство для переноса тепловой энергии от теплоотдатчика с низкой температурой к теплоприемнику с высокой температурой [2]. Термодинамические циклы теплового насоса и холодильной машины аналогичны. В холодильной машине производится отбор испарителем теплоты из определенного объема (морозильной камеры) и отдача конденсатором теплоты в окружающую среду. В тепловом насосе конденсатор отдает теплоту потребителю, а испаритель отбирает теплоту, как правило, из окружающей среды. Вместо тепла окружающей среды иногда используют тепло канализационных вод, тепло загрязненного воздуха, удаляемого из производственных и жилых помещений.

Основное отличие теплового насоса от других теплогенераторов (электрических, газовых, дизельных и т. д.)

состоит в том, что при производстве тепла до 80 % энергии заимствуется из окружающей среды. Наибольшую популярность сегодня получили парокомпрессионные тепловые насосы с электрокомпрессором. Рассмотрим принцип действия такого простейшего теплового насоса (рис. 2). Простейший тепловой насос содержит электрокомпрессор 1, конденсатор 2, испаритель 3 и регулятор потока 4 (терморегулирующий вентиль). Из компрессора 1 парообразный фреон поступает в конденсатор 2, представляющий собой теплообменник, через который вентилятором 5 продувается воздух помещения. При конденсации фреона выделяется тепловая энергия, которая нагревает воздух помещения. После конденсации жидкий фреон поступает через регулятор потока 4 в испаритель 3. Регулятор потока 4 в результате дросселирования понижает давление жидкого фреона до такой величины, при которой происходит его

испарение. Энергия, необходимая для испарения, забирается из окружающей среды. В современных конструкциях тепловых насосов чаще всего испари-

тель располагается в земле на определенной глубине (рис. 3), в море или озере ниже ледяного покрова.

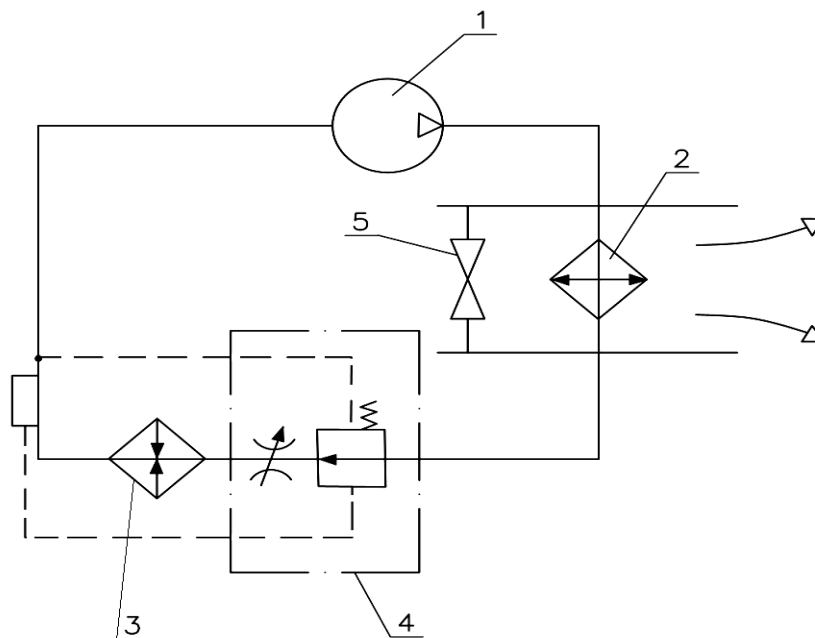


Рис. 2. Упрощенная принципиальная схема парокомпрессионного теплового насоса



Рис. 3. Схема установки теплового насоса типа «грунт – вода» с горизонтальным расположением испарителя в грунте



При работе теплового насоса на привод компрессора затрачивается электроэнергия, а тепловая энергия отдается в помещение. Отношение данной тепловой энергии к затрачиваемой электрической называется коэффициентом трансформации или коэффициентом преобразования теплоты COP (англ. COP – сокр. от *coefficient of performance*) и служит показателем эффективности теплового насоса. COP зависит от температуры окружающей среды, в которую помещен испаритель, и в современных насосах достигает 6 [3]. Это означает, что при затрате 1 кВт·ч электроэнергии можно получить 6 кВт·ч тепловой энергии. На первый взгляд, эффект довольно ощутимый. Рассмотрим данный вопрос более подробно.

Для отопления современного индивидуального жилого дома с отапливаемой площадью 200 м² и эффективной теплоизоляцией необходим теплогенератор с тепловой мощностью примерно 10 кВт [4, с. 52–53]. Тогда количество потребленного тепла за отопительный сезон Q_d , Дж, будет рассчитываться следующим образом:

$$Q_d = P_T \cdot t_{oc}, \quad (1)$$

где P_T – необходимая тепловая мощность, Вт; t_{oc} – продолжительность отопительного сезона в Беларуси, сут.

Принимая во внимание, что отопительный сезон в РБ равен примерно 180 сут/год, получим, что для отопления индивидуального жилого дома с отапливаемой площадью 200 м² необходимо $155,52 \cdot 10^9$ Дж, или 43200 кВт·ч, тепловой энергии. По сложившейся традиции отпуск населению тепловой энергии предприятиями теплоэнергетики производится в гигакалориях. Известно, что $1 \text{ Гкал} = 1,163 \cdot 10^3 \text{ кВт·ч}$, тогда для отопления упомянутого дома необходимо 37,145 Гкал за отопительный сезон.

В Беларуси для отопления индивидуальных жилых домов, как правило,

используются газовые котлы, в которых сжигается природный газ. Реже используются котлы на угле, торфяном брикете и дровах, крайне редко используются котлы на жидком топливе и электрокотлы. В сельской местности часто используются печи, топливом для которых служат дрова. В [5] сделан вывод о целесообразности использования тепловых насосов в Беларуси. Поэтому проведем сравнительный анализ экономической целесообразности применения указанных выше видов топлива, электроэнергии для отопления, а также использования тепловых насосов.

Количество тепла Q_T , Дж, получаемое при сжигании топлива [6, с. 17–19],

$$Q_T = K_T \cdot c_{ce} \cdot \eta_e, \quad (2)$$

где K_T – количество сжигаемого топлива, м³ или кг; c_{ce} – удельная теплота сгорания топлива (теплотворная способность), Дж/м³ или Дж/кг; η_e – КПД теплогенератора.

Очевидно, что $Q_T = Q_d$. Тогда количество топлива, необходимое для отопления дома, определим путем совместного решения (1) и (2) относительно K_T :

$$K_T = (P_T \cdot t_{oc}) / (c_{ce} \cdot \eta_e). \quad (3)$$

Зная цену единицы количества топлива, можно определить стоимость топлива C_T , белорус. р., необходимого для отопления дома в отопительный сезон:

$$C_T = C_T \cdot K_T, \quad (4)$$

где C_T – цена единицы количества топлива, белорус. р.

При расчетах использованы цены, обеспечивающие полное возмещение экономически обоснованных затрат. В качестве КПД теплогенераторов брались данные, заявленные производителем.



лем. Удельная теплота сгорания топлива и цены выбраны из [7–13]. Получен-

ные результаты сведены в табл. 1.

Табл. 1. Результаты сравнительных расчетов использования различных видов топлива для обогрева жилого дома отапливаемой площадью 100 м²

| Вид топлива (энергии) | Единица измерения количества топлива (энергии) | Удельная теплота сгорания, Дж/кг (Дж/м ³) | Тип (марка) теплогенератора | КПД теплогенератора | Количество топлива (энергии) | Цена единицы топлива (энергии), белорус. р./кВт·ч, белорус. р./м ³ , белорус. р./кг, белорус. р./Гкал | Стоимость топлива (энергии), белорус. р. |
|----------------------------------|--|---|-----------------------------|---------------------|------------------------------|--|--|
| Электрическая | кВт·ч | – | WESPE HEIZUNG | 0,994 | 43460,8 | 0,1841 (одноставочный тариф) | 8001,1 |
| Природный газ | м ³ | 33,496·10 ⁶ | Ariston | 0,93 | 4991,8 | 0,4011 | 2002,5 |
| Каменный уголь | кг | 29,3·10 ⁶ | Космос-10 | 0,78 | 6805 | 0,19 | 1292,6 |
| Антрацит | кг | 34,3·10 ⁶ | Космос-10 | 0,78 | 5813 | 0,37 | 2150,8 |
| Торфобрикеты | кг | 17,6 | Космос-10 | 0,78 | 11328,7 | 0,125 | 1416,1 |
| Дрова березовые (20 % влажности) | м ³ (плотной древесины) | 6840·10 ⁶ | Космос-10 | 0,78 | 29,1 | 57 | 1661,6 |
| Тепловая (городская теплосеть) | Гкал | – | – | – | 37,145 | 81,42 | 3024,35 |
| Тепловой насос | кВт·ч | – | NIBE BO/W45 | COP = 3,64 | 11939,6 | 0,1841 (одноставочный тариф) | 2198,1 |

Как видно из табл. 1, наибольшие финансовые затраты потребитель несет на приобретение топлива (энергии) при использовании электродкотлов для отопления дома. Применение энергии из городской теплосети является также дорогостоящим. Наиболее дешевый способ – отопление дома путем сжигания каменного угля или торфобрикета. Использование природного газа для этих целей обойдется потребителю несколько дороже. Затраты на приобретение природного газа сопоставимы с затратами на электроэнергию для привода теплового насоса, но капитальные вложения при установке газового котла более чем в 6 раз ниже, чем при установке теплового насоса (табл. 2). Кроме того, применение природного газа позволяет значительно проще по сравнению с использованием твердого топлива автоматизировать процесс зажигания и остановки котла. Для газового котла не нужно дополнительного помещения (котельной). По-

этому в Беларуси газовые котлы широко используются для отопления индивидуальных жилых домов.

Сравнение цен показывает, что природный газ для населения в Германии в 6,26 раза, а в Швеции – в 11,1 раза дороже, чем в Республике Беларусь [14]. Это является основной причиной преимущественного использования тепловых насосов для отопления в странах Западной Европы и Скандинавии.

Проанализируем капитальные вложения при установке определенного вида теплогенератора. Для этого следует сравнить цены на теплогенераторы и стоимость монтажа, подключения и ежегодного обслуживания (см. табл. 2). Подбор теплогенераторов произведен исходя из среднего уровня цен.

Если рассматривать проекты с точки зрения первоначальных затрат или в краткосрочном периоде, то тепловой насос не может конкурировать с



традиционными системами отопления, т. к. первоначальные затраты почти на

порядок выше таких же затрат для остальных теплогенераторов.

Табл. 2. Капитальные вложения при использовании различных теплогенераторов

| Тип (марка) теплогенератора | Цена теплогенератора, белорус. р. | Стоимость монтажа и подключения, белорус. р. | Стоимость ежегодного обслуживания, белорус. р. |
|--|-----------------------------------|--|--|
| WESPE HEIZUNG (электрокотел) | 1600 | 200 | 28 |
| Ariston (газовый котел) | 1200 | 2200 | 56 |
| Космос-10 (твердотопливный котел) | 1362 | 280 | 34 |
| Городская теплосеть | – | 2400 | 20 |
| NIBE VO/W45 (тепловой насос типа «грунт – вода») | 12400 | 9000 | 142 |

Однако при определении экономической эффективности систем отопления в жилом доме должны учитываться все последствия их реализации, как непосредственно экономические, так и социальные, экологические. Кроме того, нельзя не учитывать наличие остаточной стоимости оборудования, пригодного для дальнейшего использования после окончания срока эксплуатации отдельных элементов системы.

Рассмотрим экологические последствия применения различных систем отопления. Использование теплового насоса экологически безопасно. Электрокотел также оказывает минимальное воздействие на окружающую среду. При применении традиционных в Беларуси систем отопления в атмосферу выбрасываются загрязняющие вещества: диоксид азота, сернистый ангидрид, зола, пыль и сажа, окись углерода. Все эти вещества оказывают вредное воздействие на человека. Угарный газ вызывает удушье, головные боли, ослабление дыхания и сердечной деятельности, приводит к органическим поражениям нервной системы, сосудистым спазмам. Двуокись азота способствует росту заболеваний бронхитом, действует как острый раздражитель. Диоксид серы является токсичным веществом, при длительном воздействии вызывает атрофический ринит, пораже-

ние зубов, токсический бронхит, поражение печени, системы крови, развитие пневмосклероза. Сажа является канцерогеном и способствует возникновению рака кожи [15].

Экологический ущерб от выбросов загрязняющих веществ при эксплуатации различных систем отопления был рассчитан в соответствии с 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*. Максимальные и валовые выбросы загрязняющих веществ определены расчетными методами, результаты расчетов сведены в табл. 3.

Наибольший ущерб окружающей среде наносит применение твердотопливного котла для сжигания каменного угля, т. к. при этом имеют место наибольшие выбросы вредных веществ. Другие виды твердого топлива при сжигании приносят несколько меньший вред. Например, при сжигании березовых дров выбросы оксида углерода в 1,3 раза меньше, чем при сжигании каменного угля.

Определение экологического ущерба в стоимостном выражении является достаточно сложным. Считаем це-



лесообразным учитывать экологический ущерб на основе размера платы за выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух, установленные Налоговым кодексом Республики Беларусь (особенная часть), приложение 6 (став-

ки экологического налога за выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух). Данные суммы в большей мере характеризуют оценку ущерба для общества от выбросов в атмосферу.

Табл. 3. Результаты расчетов максимальных и валовых выбросов в атмосферу загрязняющих веществ

| Наименование ЗВ (по видам топлива) | Максимальный выброс, г/с | Валовый выброс, т/год |
|---|--------------------------|-----------------------|
| <i>Природный газ</i> | | |
| Оксид углерода (CO) | 0,0591 | 0,092 |
| Диксид азота (NO ₂) | 0,03704 | 0,0577 |
| Оксид азота (NO) | 0,0060 | 0,0094 |
| <i>Каменный уголь</i> | | |
| Оксид углерода (CO) | 1,1366 | 0,179 |
| Диксид азота (NO ₂) | 0,3294 | 0,05196 |
| Оксид азота (NO) | 0,05352 | 0,00844 |
| Диоксид серы (SO ₂) | 0,0151 | 0,0023 |
| Твердые частицы (суммарно) | 5,185 | 1,6115 |
| <i>Антрацит</i> | | |
| Оксид углерода (CO) | 1,1360 | 0,179 |
| Диксид азота (NO ₂) | 0,3852 | 0,06072 |
| Оксид азота (NO) | 0,0626 | 0,00987 |
| Диоксид серы (SO ₂) | 0,0053 | 0,00082 |
| Твердые частицы (суммарно) | 3,037 | 0,9426 |
| <i>Торфобрикет</i> | | |
| Оксид углерода (CO) | 1,8755 | 0,179 |
| Диксид азота (NO ₂) | 0,1152 | 0,03086 |
| Оксид азота (NO) | 0,0187 | 0,00502 |
| Диоксид серы (SO ₂) | 0,0037 | 0,000339 |
| Твердые частицы (суммарно) | 0,7859 | 0,2440 |
| <i>Дрова березовые (20 % влажности)</i> | | |
| Оксид углерода (CO) | 1,1250 | 0,138 |
| Диксид азота (NO ₂) | 0,2397 | 0,0387 |
| Оксид азота (NO) | 0,0187 | 0,00502 |
| Диоксид серы (SO ₂) | 0,0636 | 0,0076 |
| Твердые частицы (суммарно) | 0,2011 | 0,0545 |



Определим суммы экологического ущерба Y , белорус. р., по формуле

$$Y = \sum_{i=1}^n P_i \cdot M_i, \quad (5)$$

где P_i – ставка экологического налога за выбросы i -го загрязняющего вещества в атмосферный воздух, белорус. р./т; M_i – масса выбросов загрязняющего вещества в атмосферу за отопительный сезон, т.

В 2017 г. за 1 т выбросов в атмосферу для веществ 2-го класса опасно-

сти ставка экологического налога составила 769,97 белорус. р., 3-го класса – 254,54 белорус. р., 4-го класса – 126,48 белорус. р. [17].

В соответствии с классификатором отходов, образующихся в Республике Беларусь, выбросы азота диоксида (диоксид азота) NO_2 относятся ко 2-му классу опасности, сернистого ангидрида (диоксид серы) SO_2 , золы, пыли и сажи – к 3-му классу, окиси углерода (угарный газ) CO – к 4-му.

Расчет суммы экологического ущерба представлен в табл. 4.

Табл. 4. Расчет суммы экологического ущерба

| Вид топлива, загрязняющего вещества | Ставка экологического налога за выбросы i -го загрязняющего вещества в атмосферный воздух, белорус. р./т | Масса выбросов загрязняющего вещества в атмосферу, т/год | Сумма экологического ущерба, белорус. р./год |
|-------------------------------------|--|--|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Электрическая энергия | – | – | Отсутствует (для потребителя) |
| Природный газ | | | 63,31 |
| Оксид углерода (CO) | 126,48 | 0,0920 | 11,64 |
| Диоксид азота (NO_2) | 769,97 | 0,0577 | 44,43 |
| Оксид азота (NO) | 769,97 | 0,0094 | 7,24 |
| Каменный уголь | | | 479,93 |
| Оксид углерода (CO) | 126,48 | 0,1790 | 22,64 |
| Диоксид азота (NO_2) | 769,97 | 0,0520 | 40,04 |
| Оксид азота (NO) | 769,97 | 0,0084 | 6,47 |
| Оксид серы (SO_2) | 254,54 | 0,0023 | 0,59 |
| Твердые частицы (суммарно) | 254,54 | 1,6115 | 410,19 |
| Антрацит | | | 317,13 |
| Оксид углерода (CO) | 126,48 | 0,1790 | 22,64 |
| Диоксид азота (NO_2) | 769,97 | 0,0607 | 46,74 |
| Оксид азота (NO) | 769,97 | 0,0099 | 7,62 |
| Оксид серы (SO_2) | 254,54 | 0,0008 | 0,2 |
| Твердые частицы (суммарно) | 254,54 | 0,9426 | 239,93 |
| Торфобрикет | | | 112,47 |
| Оксид углерода (CO) | 126,48 | 0,1790 | 22,64 |
| Диоксид азота (NO_2) | 769,97 | 0,0309 | 23,79 |



Окончание табл. 4

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|----------------------------------|--------|--------|-------------------------------|
| Оксид азота (NO) | 769,97 | 0,0050 | 3,85 |
| Оксид серы (SO ₂) | 254,54 | 0,0003 | 0,08 |
| Твердые частицы (суммарно) | 254,54 | 0,2440 | 62,11 |
| Дрова березовые (20 % влажности) | | | 67,90 |
| Оксид углерода (CO) | 126,48 | 0,1380 | 17,45 |
| Диксид азота (NO ₂) | 769,97 | 0,0387 | 29,80 |
| Оксид азота (NO) | 769,97 | 0,0063 | 4,85 |
| Оксид серы (SO ₂) | 254,54 | 0,0076 | 1,93 |
| Твердые частицы (суммарно) | 254,54 | 0,0545 | 13,87 |
| Тепловая (городская теплосеть) | – | – | Отсутствуют (для потребителя) |
| Тепловой насос | – | – | Отсутствуют (для потребителя) |

Максимальные суммы экологического ущерба от выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух имеют место при использовании твердотопливного котла на каменном угле, несколько меньшие суммы получаем при отоплении торфобрикетом и дровами. При учете сопутствующего экологического ущерба проект отопления жилого дома тепловым насосом является более привлекательным.

Вместе с тем необходимо отметить, что владельцы индивидуальных жилых домов (физические лица) не платят за выбросы вредных веществ.

Выводы

Наиболее дорогостоящим является использование электроэнергии для отопления индивидуального жилого дома.

Недостатком распространенной среди населения системы оценки эффективности систем отопления, по мнению авторов, является её направленность на отбор дешёвых по отношению к первоначальным инвестиционным расходам проектов.

При оценке систем отопления

необходимо рассматривать ситуацию в долгосрочной перспективе с учетом всех доходов и расходов, а также с учетом экологического ущерба.

Сопоставление безопасных с точки зрения охраны окружающей среды, однако более капиталоемких проектов (тепловой насос, электроэнергия) с более дешевыми (газ, котел на твердом топливе), но экологически опасными проектами без учета экологического ущерба ведет к занижению показателей эффективности инвестиций.

С позиций отдельно взятого человека учет экологической эффективности не представляет интереса. Именно по этой причине проекты отопления тепловым насосом не востребованы в Беларуси. Однако, с точки зрения общества, учет экологической эффективности обязателен и должен мотивироваться государством путем применения дотаций при установке экологически безопасных систем отопления для собственных нужд. В долгосрочном периоде вложенные ресурсы окупаются.

Постоянное удорожание энергоносителей неизбежно приводит к увеличе-



нию сумм текущих расходов на отопление. Указанная тенденция в ближайшем будущем не изменится. Переход на полное возмещение затрат на отопление остро ставит вопросы существенного повышения эффективности, что, в свою очередь, требует применения новых тех-

нологий и инвестиций. Поэтому, на наш взгляд, использование тепловых насосов в Беларуси как наиболее экологически чистых теплогенераторов в краткосрочной перспективе станет жизненно важной необходимостью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тепловые насосы: статистика использования в Европе и мире [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://econet.ru/articles>. – Дата доступа: 10.01.2018.
2. Большая советская энциклопедия : в 30 т. / Под ред. А. М. Прохорова. – 3-е изд. – Москва : Советская энциклопедия, 1976. – Т. 25. – 448 с.
3. **Мацевитый, Ю. М.** Об использовании тепловых насосов в мире и что тормозит их широкомасштабное внедрение в Украине / Ю. М. Мацевитый, Н. Б. Чиркин, А. С. Клепанда // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2014. – № 2. – С. 2–17.
4. **Васильев, Г. П.** Теплохладоснабжение зданий и сооружений с использованием низкопотенциальной тепловой энергии поверхностных слоев Земли / Г. П. Васильев. – Москва : Граница, 2006. – 176 с.
5. **Токменинов, К. А.** Перспективы и эффективность использования тепловых насосов / К. А. Токменинов, В. А. Широченко // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2010. – № 2. – С. 93–100.
6. **Нащокин, В. В.** Техническая термодинамика и теплопередач : учебное пособие для вузов / В. В. Нащокин. – Москва : Высшая школа, 1975. – 469 с.
7. Электрические котлы WESPE HEIZUNG (Германия) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://rubikont.by/elektricheskiye-kotly?yclid>. – Дата доступа: 14.02.2018.
8. Физико-химические свойства природного газа. Добыча и применение природного газа [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://fb.ru/article/199563/fiziko-himicheskie-svoystva-prirodnogo-gaza-dobyicha-i-primeneniye-prirodnogo-gaza>. – Дата доступа: 15.02.2018.
9. Уголь каменный : свойства, происхождение, добыча, цена [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://fb.ru/article/166986/ugol-kamennyiy-svoystva-kamennyiy-ugol-proishojdenie-dobyicha-tsena>. – Дата доступа: 15.02.2018.
10. Котлы для отопления дома на угле [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://climanova.ru/kotly-otopleniya-dlya-doma-na-ugle.html>. – Дата доступа: 16.02.2018.
11. Теплопроводность древесины – таблица теплоты сгорания дров [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://kotlobzor.ru/teplotadrov>. – Дата доступа: 16.02.2018.
12. Теплопроводная способность различных видов топлива : дрова, уголь, pellets, брикеты [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://pechnoedelo.com/toplivo/teplotvornaya-sposobnost-topliva.html>. – Дата доступа: 16.02.2018.
13. Тепловые насосы – вид оборудования, созданный для комфорта [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://obogreem.by/catalog/teplovye-nasosy>. – Дата доступа: 16.02.2018.
14. Рейтинг стран Европы по стоимости природного газа для населения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://giarating.ru/countries/20170608/630064777.html>. – Дата доступа: 21.02.2018.
15. Требования к обращению с отходами производства и потребления : СаНиП : утв. постановлением Минздрава Респ. Беларусь, 30 дек. 2016 г., № 143 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gogle.by/amp/Kodeksy-by.com>. – Дата доступа: 16.02.2018.
16. **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. постановления Минприроды Респ. Беларусь от 12 февр. 2009 г. № 2-Т. – Минск : Минприроды, 2009. – 47 с.
17. Налоговый кодекс Республики Беларусь (особенная часть) : Закон Респ. Беларусь, 9 янв. 2017 г., № 15-З [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://etalonline.by/?type = text & regnum = Нк0900071>. – Дата доступа: 12.01.2017.



Статья сдана в редакцию 21 февраля 2018 года

Надежда Васильевна Лобикова, студент, Белорусско-Российский университет.
Александр Сергеевич Галюжин, канд. техн. наук, доц., Белорусско-Российский университет.
Ольга Михайловна Лобикова, ст. преподаватель, Белорусско-Российский университет.
Сергей Данилович Галюжин, канд. техн. наук, доц., Белорусско-Российский университет.

Nadezhda Vasilyevna Lobikova, student, Belarusian-Russian University.
Aleksandr Sergeyeovich Galyuzhin, PhD (Engineering), Associate Prof., Belarusian-Russian University.
Olga Mikhailovna Lobikova, senior lecturer, Belarusian-Russian University.
Sergey Danilovich Galyuzhin, PhD (Engineering), Associate Prof., Belarusian-Russian University.

