

кондиционирования скоростной режим должен быть согласован, иначе это может повлиять на эффективность эксплуатации системы кондиционирования.

Одной из важных деталей автоматизированного расчета системы кондиционирования (вентиляции) является то, что программа производит увязку ответвлений только при наличии в них регулирующей арматуры, что не всегда может быть обязательным при расчёте по номограммам и таблицам (при невязке ответвлений с главным направлением менее 10 %). Добавление запорной арматуры ведет к удорожанию системы кондиционирования.

Таким образом, различия в расчете с помощью программы и по номограммам и таблицам не существенные, но все же они имеют место быть. Расхождение значений потерь давления между автоматическим и «стандартным» составляет 2,4 %, а при пересчете на диаметры, подобранные в программе, – 13 %. Небольшая разница может привести к удорожанию системы, что является нежелательным результатом аэродинамического расчёта.

На основании вышеперечисленного можно сделать вывод, что расчёт в программах является альтернативой расчёту по номограммам и таблицам, однако стоит учитывать некоторую погрешность автоматизированных расчётов. На примере системы кондиционирования одного помещения можно сказать, что метод расчета по номограммам и таблицам является более надежным, так как все параметры воздухопроводов контролируются непосредственно человеком, а именно, такие как скорость и ее возрастание по ходу движения расчета участков воздухопроводов, потери в местных сопротивлениях, форма поперечного сечения и размер воздухопроводов.

#### **Список цитированных источников**

1. Теплоснабжение и вентиляция. Курсовое и дипломное проектирование / Б. М. Хрусталева [и др.]; под ред. Б.М. Хрусталева. – Минск : Дизайн ПРО, 1997.

УДК 697.7

*Брень В. А., Лузянин П. С.*

*Научный руководитель: ассистент Мешик К. О.*

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ**

На сегодняшний момент общемировая энергетическая структура базируется на эксплуатации традиционных энергоресурсов. Условия их исчерпаемости формируют необходимость исследования возможностей применения возобновляемых энергоносителей в современных системах энергопотребления.

Возможность интенсификации процессов использования возобновляемых энергоресурсов оценивается исходя из их энергетического потенциала в рамках единого временного периода. Объемная часть энергетического потенциала в годовом периоде составляет [1]:

- 1) солнечная энергия – 2300 млрд тонн условного топлива;
- 2) энергия ветра – 26,7 млрд тонн условного топлива;
- 3) энергия биомассы – 10 млрд тонн условного топлива;

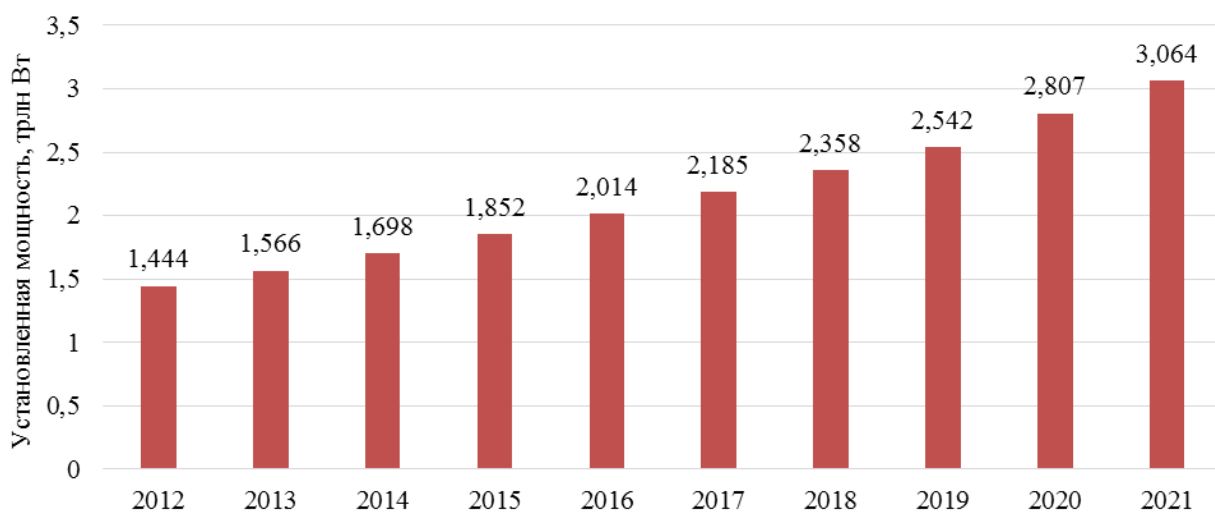
- 4) геотермальная энергия – 40 000 млрд тонн условного топлива;
- 5) энергия малых водотоков – 360 млрд тонн условного топлива;
- 6) энергия Мирового океана – 30 млрд тонн условного топлива.

Закономерный рост численности населения приводит к неизбежному динамическому увеличению энергопотребления. Согласно статистическим данным Международного энергетического агентства (МЭА) [2], к концу 2015 года энергопотребление на мировом уровне составило 20,76 трлн кВт·ч, а прогностические модели показывают увеличение до 33,4 трлн кВт·ч к 2030 году, до 41,3 трлн кВт·ч – к 2050 году. Рост интенсивности протекания процессов энергоэффективности реализации ископаемых энергоносителей закономерен, но сопровождается устойчивым наращиванием потребления традиционных энергоресурсов.

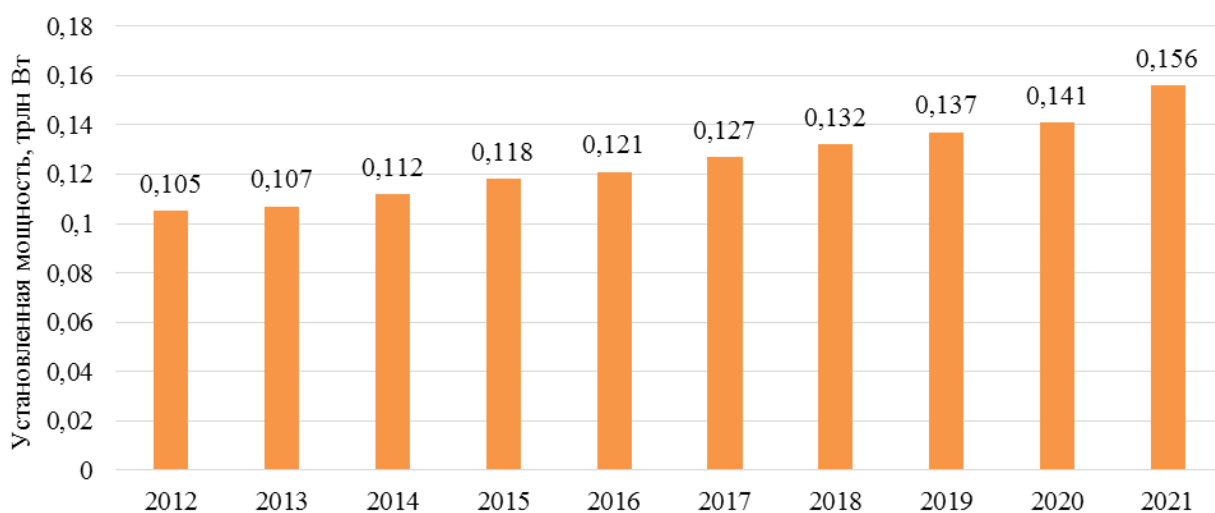
За последние 10 лет наблюдается динамика увеличения общемирового уровня установленной мощности возобновляемых энергоресурсов. В период с 2012 по 2021 показатель вырос на 52,87 % и на данный момент составляет 3,064 трлн Вт [3] (рисунок 1).

По данным [1], наибольшим энергетическим потенциалом располагают геотермальные энергоресурсы. Динамика роста геотермальной энергетики, установленная мощность которой составила 0,156 трлн Вт к концу 2021 года, демонстрирует увеличение на 33,01 % в обозначенном периоде [3] (рисунок 2).

Перспективным вариантом для частичного возмещения уровня потребления традиционных энергоресурсов геотермальными является их использование в качестве теплоисточника для систем водяного отопления. В качестве передаточного устройства могут использоваться тепловые насосы, позволяющие транспортировать теплоту низкотемпературного теплоисточника для предварительного нагрева теплоносителя. Рационализация экономических затрат с их применением должна устанавливаться из полноты покрытия издержек на перемещение и передачу теплоты, что зависит не только от концептуальных особенностей геотермальной системы отопления, но и качественных показателей теплоисточника.



**Рисунок 1 – Установленная мощность возобновляемых энергоресурсов 2012–2021 гг.**



**Рисунок 2 – Установленная мощность геотермальных энергоресурсов 2012–2021 гг.**

При использовании теплового насоса типа «вода-вода» есть несколько вариаций: с использованием хладагента в качестве активного вещества теплопередача и путем прямого изъятия теплоты подземных вод. Первый подход предусматривает наличие в непосредственной близости водоема, глубина которого превышает 3 метра от поверхностного уровня. Контур циркуляции хладагента пролегает в данной области, что создает условия изоляции от внешней температурных колебаний, а также обеспечивает постоянство положительного температурного фона. Второй подход предполагает использование двух активных скважин: одна – для забора воды с целью последующей теплопередачи, вторая – для возврата после реализации данного процесса.

Тепловые насосы типа «грунт-вода» предполагают использование трубопроводов, опускаемых в глубокую скважину. Эффективность вертикального контура в сравнении с горизонтальным заключается в постоянстве температуры грунта свыше 10 °С. Также весомым преимуществом является минимизация занимаемой площади. Наиболее популярные конструкционные решения вертикального контура предполагают двухступенчатый переход теплоносителя в рамках следующих стадий: подача вниз, сопровождающаяся первичным нагревом; возврат вверх, сопровождающийся вторичным нагревом. Тепловой потенциал напрямую зависит от характера и степени увлажненности грунта, теплопроводности трубопровода, а также от качества решений теплоизоляции в околоповерхностных уровнях скважины.

Принципиальная схема работы геотермального теплового насоса отображена на рисунке 3.

Эффективность реализации системы геотермального отопления напрямую зависит от температурного градиента грунта в рамках разрабатываемой скважины. При этом необходимо учитывать сезонное климатическое влияние для околоповерхностного слоя. Тогда температурный режим на установленной глубине может быть описан следующей корреляцией[4] (формула 1):

$$T = T_{\text{пов}} - T_{\text{амп}} \cdot \exp\left(-H \cdot \sqrt{\frac{\pi}{365 \cdot \alpha}}\right) \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{365} \cdot \left[t_{\text{д}} - t_{\text{д}}^{\text{мин}} - \frac{H}{2} \cdot \sqrt{\frac{365}{\pi \cdot \alpha}}\right]\right), \quad (1)$$

где  $T$  – температурный режим грунта,

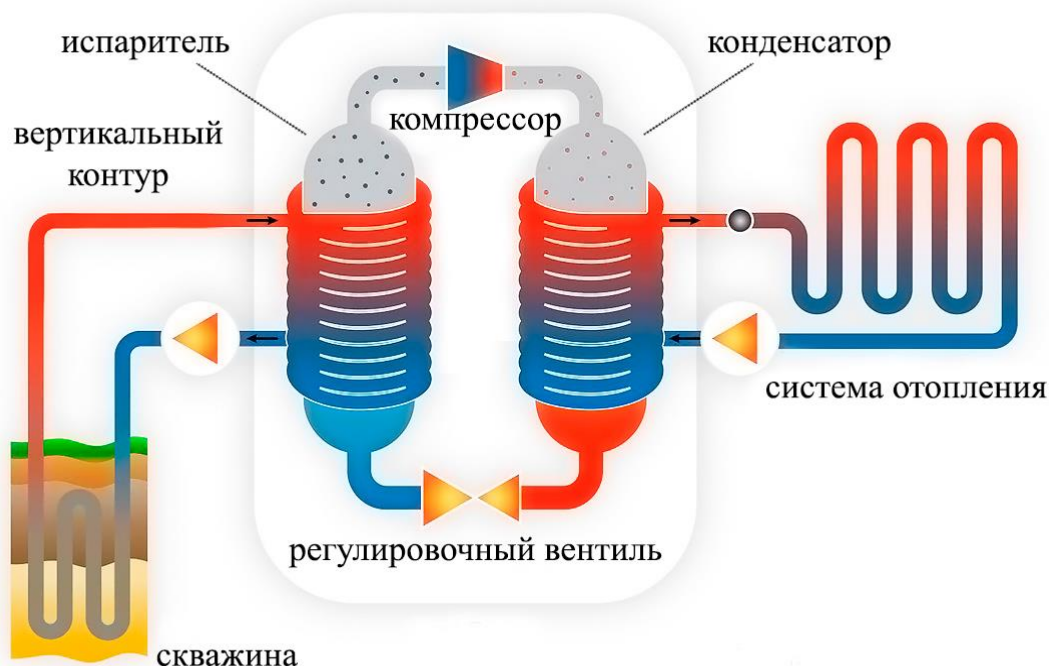
$T_{\text{пов}}$  – средняя температура поверхности,

$T_{\text{амп}}$  – амплитуда температуры поверхности,

$H$  – глубина грунта,  $\alpha$  – теплопроводность грунта,

$t_{\text{д}}$  – порядковый номер дня,

$t_{\text{д}}^{\text{мин}}$  – порядковый номер дня с минимальной температурой поверхности.



**Рисунок 3 – Принципиальная схема работы геотермального теплового насоса**

В рамках исследования средняя температура поверхности условно приравнивается среднесуточной температуре окружающей среды. В результате мониторинга установлены температурные показатели для г. Бреста в течение января 2022 года [5] (таблица 1). Выборка включает в себя среднесуточные температуры, определяемые на основе трехчасовых запросов.

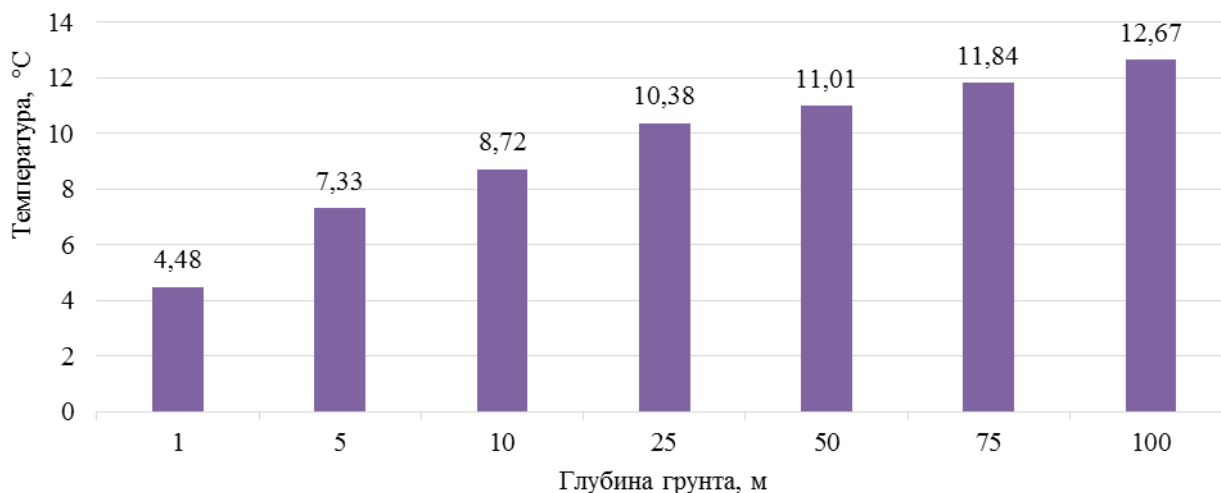
**Таблица 1 – Среднесуточные температуры в г. Бресте 01.01.2022–31.01.2022**

|          |          |          |          |          |          |          |            |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------------|
| 01.01.22 | 02.01.22 | 03.01.22 | 04.01.22 | 05.01.22 | 06.01.22 | 07.01.22 | 08.01.22   |
| 7,25 °С  | 2,43 °С  | 7,78 °С  | 5,46 °С  | 5,15 °С  | 1,43 °С  | -2,04 °С | -3,26 °С   |
| 09.01.22 | 10.01.22 | 11.01.22 | 12.01.22 | 13.01.22 | 14.01.22 | 15.01.22 | 16.01.22   |
| -2,69 °С | -2,16 °С | -3,79 °С | -7,13 °С | -0,63 °С | 4,13 °С  | 1,23 °С  | -0,80 °С   |
| 17.01.22 | 18.01.22 | 19.01.22 | 20.01.22 | 21.01.22 | 22.01.22 | 23.01.22 | 24.01.22   |
| 1,33 °С  | 0,01 °С  | -0,19 °С | 0,13 °С  | -1,33 °С | -1,89 °С | -2,78 °С | -5,98 °С   |
| 25.01.22 | 26.01.22 | 27.01.22 | 28.01.22 | 29.01.22 | 30.01.22 | 31.01.22 | ср. в янв. |
| -0,96 °С | 1,35 °С  | 1,25 °С  | 2,06 °С  | 0,68 °С  | 2,13 °С  | 0,14 °С  | 0,27 °С    |

Амплитуда температуры поверхности представляет собой разницу установленных максимумов и минимумов. Минимальная температура поверхности наблюдалась 12.01.2022 в 9:00 и составила – 11,4 °С. Данные показатели оказы-

вают наиболее существенное влияния на околоповерхностных глубинах, что может служить основанием для внедрения в эксплуатацию геотермального отопления с горизонтальным контуром.

Результаты исследования температурного режима в г. Бресте для 01.01.2022 отражены на рисунке 4. В качестве вариации глубин были приняты уровни в 1, 5, 10, 25, 50, 75, 100 метров.



**Рисунок 4 – Температурный режим грунтов г. Бресте 01.01.2022**

С нарастанием глубины отмечается незначительность отклонений температуры. Наибольшие колебания сосредоточены в диапазоне 1–5 метров, что может быть актуально для эксплуатации геотермальных систем отопления с горизонтальным контуром. Однако полученные температурные показатели в среднем в 2,8 раза ниже более глубоких. В дальнейших исследованиях предполагается интенсификация учета состояния грунта. Основная задача – установление экономически обоснованной глубины скважины для реализации системы геотермального отопления в рамках частичного теплообеспечения многоквартирного жилого дома.

#### **Список цитированных источников**

1. Волчок, В. А. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Солнечная энергетика: пособие / В. А. Волчок, В. Н. Комар. – Гродно : ГрГУ, 2017. – 55 с.
2. International Energy Agency [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.iea.org/>. – Дата доступа: 20.04.2022.
3. Installed Capacity Trends [Электронный ресурс] / IRENA – International Renewable Energy Agency. – Режим доступа: <https://www.irena.org/>. – Дата доступа: 20.04.2022.
4. Florides, G. Measurements of Ground Temperature at Various Depths / G. Florides, S. Kalogirou // 3rd International Conference on Sustainable Energy Technologies. – Nottingham, UK. – 2004. – P. 1-6.
5. Архив погоды. Номер метеостанции 33008 (г. Брест, Беларусь) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://gr5.ru/Архив\\_погоды\\_в\\_Бресте\\_\(аэропорт\),\\_Беларусь.](https://gr5.ru/Архив_погоды_в_Бресте_(аэропорт),_Беларусь.) – Дата доступа: 20.04.2022.