

чрезвычайных ситуациях Респ. Беларусь, 02 февр. 2009 г., № 6 (редакция от 23.02.2018) // ЭТАЛОН-ONLINE / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. (Дата обращения: 17.12.2022). – Текст: электронный.

3. Справочник по проектированию магистральных газопроводов / А. К. Дерцакян [и др.]; под ред. А. К. Дерцакяна. – Ленинград: Недра. Ленингр. Отд-ние, 1977. – 519 с.

УДК 620.92; 620.97

Оценка эффективности применения теплонасосных установок для утилизации тепловых потоков продуваемых непроходных каналов теплотрасс

Бубырь Т. В.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Исследована энергетическая эффективность утилизации теплоты, рассеиваемой трубопроводами сетевой воды и охлаждения грунта в непроходных каналах теплотрасс, путем интенсификации их вентиляции и применения теплонасосного оборудования. Выявлен потенциал энергосбережения для систем централизованного теплоснабжения с различными видами теплоисточников. Проведена технико-экономическая оценка и определены условия экономической целесообразности реализации предложенного технического решения.

Регенерация потоков теплоты, рассеиваемой трубопроводами сетевой воды при транспорте тепловой энергии в системах централизованного теплоснабжения, утилизация теплоты охлаждения грунта и наружного воздуха являются объектом данного исследования. В качестве целевой функции принята зависимость для снижения потребления первичного энергоресурса, которым в большинстве теплогенерирующих источников является природный газ. Несмотря на то что с вводом в эксплуатацию Белорусской АЭС доля природного газа в приходной части энергобаланса энергосистемы должна уменьшиться с 97 до 59 %, задача по его снижению остается актуальной.

Экономия топлива в системах централизованного теплоснабжения возможно за счет регенерации потоков теплоты, рассеиваемой трубопроводами сетевой воды, утилизации теплоты охлаждения грунта и переохлаждения наружного воздуха в условиях применения теплотрасс с непроходными каналами путем размещения в концевых точках теплотрасс на тепловых пунктах (ТП) вытяжных вентиляторов и теплонасосных установок (ТНУ).

Для решения обозначенной задачи проведено планирование эксперимента, в рамках которого установлены определяющие факторы и диапазоны их изменения (46 точек для исследования влияния шести факторов) [1; 2].

Создание адекватной экспериментальной установки, обеспечивающей проведение эксперимента, в соответствии с установленными в ходе планирования требованиями в принципе невозможно, поэтому разработана виртуальная экспериментальная установка на платформе программного комплекса Ansys [3].

Получены уравнения регрессии, позволяющие установить [4]:

- мощность потока теплоты, рассеиваемой трубопроводами сетевой воды;

- мощность потока теплоты процесса теплопереноса между грунтом, прилегающим к каналу, и воздухом, протекающим внутри канала;

- мощность интегрального потока теплоты для процессов теплопереноса, протекающих между потоком воздуха с трубопроводами сетевой воды и грунтом через ограждающие конструкции канала;

- потери напора при движении потока воздуха внутри канала.

Для анализа регрессионных зависимостей построены двумерные сечения гиперповерхностей, соответствующих полученным уравнениям регрессии при зафиксированных значениях тех или иных факторов [5]. Проведены верификация и валидация регрессионных соотношений. Они могут использоваться для расчетов характеристик при проектировании, поскольку охватывают основной набор теплотрасс в непроходных каналах [5]. В этом контексте не требуется обобщений указанных уравнений в виде критериальных зависимостей, что облегчает задачу специалистам.

На первом этапе исследования на основании ранее полученных регрессионных зависимостей [4; 5] по характерным температурам окружающего воздуха и грунта для каждого месяца выбранного климатического района, температурам сетевой воды в соответствии с температурным графиком источника для каждого участка теплотрассы непроходного канала выбирается скорость потока продуваемого воздуха в пределах до 8 м/с. При этом температура воздуха перед ТП должна находиться в пределах температуры грунта. Были рассчитаны характеристики продуваемого потока воздуха, поступающего из канала на вход ТП. Определяющий размер, живое сечение канала рассчитывали по соотношениям, приведенным в [3].

Если длина участка канала превышает значение, предусмотренное уравнением регрессии, участок разбивают на отрезки требуемой длины, при этом характеристики потока воздуха на входе каждого последующего отрезка соответствуют расчетным характеристикам потока воздуха на выходе предшествующего отрезка. Погрешность подхода не превышала 15–20 %.

Результаты расчетов определяющих величин для перечисленных диаметров теплотрасс и характерных температур приведены на рис. 1, 2.

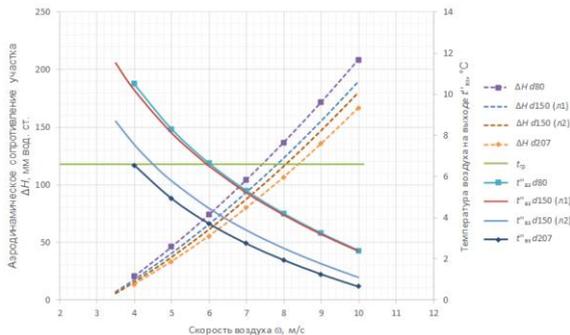


Рис. 1. Аэродинамическое сопротивление участка (ΔH) (левая ось ординат) и требуемая скорость прокачки воздуха, обеспечивающая требуемую температуру нагрева воздуха на участке канала (правая ось ординат) при различных скоростях для различных диаметров трубопроводов (d80–d207, при этом л1 и л2 – лотки различных типоразмеров для одного диаметра трубопроводов) при длине участка 150 м для декабря

По полученным данным можно оценить мощность вытяжного вентилятора для каждого характерного периода года и выбрать нагнетатель, оснащенный частотным приводом, ввиду значительного изменения расхода воздуха. Затем определяют мощность доступных для утилизации низкотемпературных потоков теплоты, по температуре охлаждения воздуха рассчитывают отопительный коэффициент ТНУ, его электрическую и тепловую мощность для заданного отрезка времени.

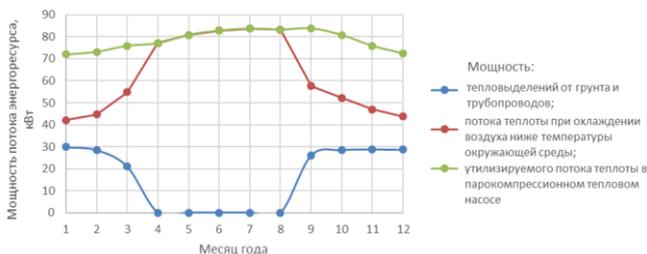


Рис. 2. Мощность низкотемпературных потоков теплоты в исследуемой системе утилизации

На основе данных о расходе и температуре потока воздуха, поступающего на ТП по характерным месяцам отопительного и межотопительных периодов, значений COP_{hp} определяли температуру охлаждения воздуха в ТНУ так, чтобы мощность последнего в течение года практически не изменялась. В межотопительный период воздух поступает в ТНУ с помощью вентилятора из окружающей среды и охлаждается. Таким образом, максимально используют номинальную мощность ТНУ. Температура потока сетевой воды изменяется незначительно, поскольку его расход больше, чем необходимо ТНУ. Нагрев воды в ТНУ осуществляется в диапазоне 60–90 °С [6; 7].

На втором этапе исследования выполнена технико-экономическая оценка разработанного решения.

Зависимость системной экономии топлива и сроков возврата инвестиций для канала теплотрассы диаметром 200 мм от мощности ТНУ показан на рис. 3, 4. На рис. 5 представлена зависимость динамического срока окупаемости от мощности ПКТН и длины продуваемого участка.

Эффект повышения мощности ТНУ с увеличением длины теплопровода снижается от $\pm 50\%$ при мощности 25 кВт до менее $\pm 10\%$ при мощности выше 50 кВт. Характер изменения сроков окупаемости (рис. 5) показывает наличие области минимумов в пределах изменения мощности ТНУ от 75 до 175 кВт. Во всех рассмотренных вариантах срок возврата инвестиций лежит в диапазоне 4,5–7,0 года, тем самым выполняется ограничение по сроку возврата инвестиций для энергосберегающих проектов в Беларуси.

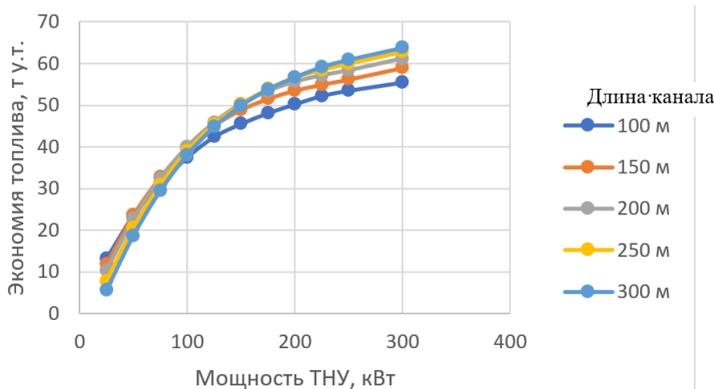


Рис. 3. Влияние мощности теплонасосной установки на системную экономию топлива для каналов теплотрассы диаметром 200 мм в пределах его изменения длинами от 100 до 300 м

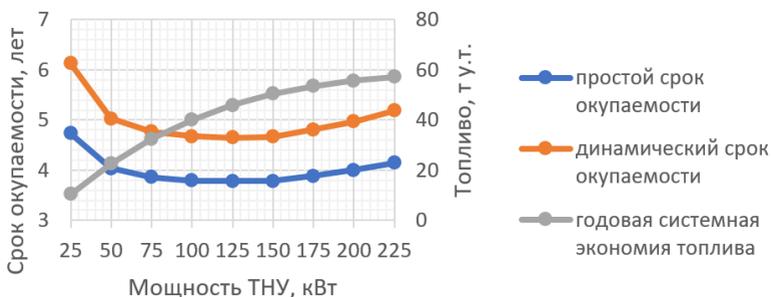


Рис. 4. Влияние мощности ТНУ на системную экономию топлива и сроки окупаемости для канала теплотрассы диаметром 200 мм, длиной 200 м

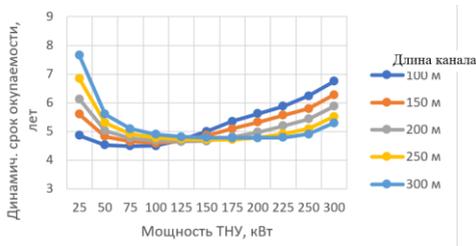


Рис. 5. Влияние на срок возврата инвестиций мощности ТНУ и длины участка канала для теплотрассы диаметром 200 мм

Из анализа полученных данных следует, что экономия инвестиций несколько выше на теплотрассах больших диаметров, что ожидаемо. В то же время независимо от длины участка для каждого диаметра теплотрассы имеется оптимальная мощность ТНУ. Так, для теплотрассы диаметром 200 мм это диапазон 110–150 кВт. Суммарный энергосберегающий эффект для системы централизованного теплоснабжения Витебска составляет 6,38 тыс. т у. т. в год при инвестициях 7,25 млн дол. и сроках их возврата порядка 4,5 года.

Разработана методическая база для выявления потенциала энергосбережения для систем централизованного теплоснабжения, а также для энергосистемы в целом при регенерации и утилизации тепловых потоков от теплопроводов и грунта участков тепловых сетей, проложенных в непроходных каналах, путем интенсификации их вентиляции и применения теплонасосного оборудования в конечных точках каналов (тепловых пунктах) для

нагрева сетевой воды в зависимости от набора факторов: характеристик участка теплотрассы, температур воздуха, грунта и сетевой воды.

Анализ результатов оценки эффективности утилизации теплоты, расходуемой трубопроводами сетевой воды и охлаждения грунта путем установки на центральных тепловых пунктах для конкретно заданных условий (теплопроводов с диаметром 200 мм) показал, что динамический срок окупаемости по системной экономии и сложившейся экономической ситуации в Республике Беларусь не превышает требуемых сроков возврата инвестиций 4,5–7,0 года.

Литература

1. Седнин, В. А. Системы регенеративно-утилизационного теплоиспользования для теплотрасс в непроходных каналах / В. А. Седнин, Т. В. Бубырь // Энергия и менеджмент. – 2017. – Т. 97, № 4. – С. 2–6.

2. Седнин, В. А. Регенеративно-утилизационное теплоиспользование в непроходных каналах теплотрасс / В. А. Седнин, Т. В. Бубырь // Глобальная энергетика: партнерство и устойчивое развитие стран и технологий: сб. науч.-практ. конф. в рамках Форума проектов программ Союзного государства – VI Форума вузов инженерно-технологического профиля, 24–28 октября 2017 г. – Минск: БНТУ, 2018. – С. 116–120.

3. Седнин, В. А. Численное исследование сложного теплообмена в продуваемых непроходных каналах теплотрасс / В. А. Седнин, Т. В. Бубырь // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2019. – Т. 62, № 1. – С. 61–76. – Режим доступа: doi.org/10.21122/1029-7448-2019-62-1-61-76.

4. Седнин, В. А. Исследование теплообмена в продуваемых непроходных каналах теплотрасс. Часть 1 / В. А. Седнин, Т. В. Бубырь // Наука и техника. – 2021. – Т. 20, № 2. – С. 150–160. – Режим доступа: doi.org/10.21122/2227-1031-2021-20-2-150-160.

5. Седнин, В. А. Исследование теплообмена в продуваемых непроходных каналах теплотрасс. Часть 2 / В. А. Седнин, Т. В. Бубырь // Наука и техника. – 2021. Т. 20, № 3. – С. 248–258. – Режим доступа: doi.org/10.21122/2227-1031-2021-20-3-248-258.

6. High Temperature Heat Pumps [Electronic Resource] // European Fluorocarbons Technical Committee (EFCTC). 2022. – Mode of access: <https://www.fluorocarbons.org/applications/high-temperature-heat-pumps/>. – Date of access: 13.08.2022.

7. A Review and Perspective on Industry High-Temperature Heat Pumps [Electronic resource] / J. Jiang [et al.] // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2022. Vol. 161. – 112106. – Режим доступа: doi.org/10.1016/j.rser.2022.112106.