

## Литература

1. Орлов, М. Е. Повышение эффективности ТЭЦ и подключенных к ним городских теплофикационных систем за счет структурно-технологической модернизации: дис. ... докт. техн. наук: 05.14.14 / М. Е. Орлов. – Ульяновск, 2017. – 337 с.
2. Alimgazin. Altai Sh. Heat pump in a new modular configuration to recover low-grade heat emissions at enterprises / Altai Sh. Alimgazin, Saule G. Alimgazina, Mikhail G. Zhumagulov // Web of Conferences. – 2020. – № 178. – P. 1–5.
3. Шидловская, Д. К. Применение абсорбционных тепловых насосов в тепловой схеме турбоустановки Т-180/210-130 / Д. К. Шидловская, Г. Д. Седельников // Международный студенческий научный вестник. – 2016. – № 3. – С. 270–271.
4. Bruckner, S. Industrial waste heat recovery technologies: An economic analysis of heat transformation technologies / S. Bruckner, S. Liu, L. Miro, M. Radspieler, L. F. Cabeza, E. Lavemann // Applied Energy. – 2015. – № 151. – P. 157–167.
5. Шаталов, И. К. Подогрев добавочной цикловой воды с помощью ТНУ / И. К. Шаталов, Ю. А. Антипов // Вестник РУДН. – 2004. – № 1. – С. 60–65.

УДК 697.343

### Утилизация тепловых потоков продуваемых непроходных каналов теплограа

Бубырь Т. В.

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*Повышение эффективности эксплуатации теплопроводов тепловых сетей, размещенных в непроходных каналах, предлагается с помощью организации системы регенеративно-утилизационного теплоиспользования, путем применения принудительной вентиляции этих каналов наружным воздухом и использование тепловых насосов для трансформации теплоты нагретого воздуха до температурного уровня, достаточного для использования в целях теплоснабжения. Определены условия, при которых данная система может быть энергоэффективна, задачи и методы исследования процессов теплопереноса в условиях принудительной вентиляции непроходных каналов. Получены уравнения регрессии для расчета интенсивности теплоотдачи от ограждающих конструкций канала и теплопроводов к продуваемому воздуху. Проведена предварительная технико-экономическая оценка предлагаемых решений.*

Решение проблемы минимизации тепловых потерь в системах централизованного теплоснабжения всегда была важной и экономически оправданной. Одним из основных подходов решения этой проблемы в настоящее время является применение предизолированных теплопроводов заводской готовности [1]. Однако, несмотря на современную тенденцию применения бесканальной прокладки предизолированных теплопроводов, в существующих системах централизованного теплоснабжения теплотрассы, проложенные в непроходных каналах, имеют достаточно большой удельный вес.

Предлагаемая регенеративно-утилизационная система теплоиспользования в тепловых сетях в непроходных каналах предполагает установку на центральном тепловом пункте (ЦТП) вентиляционной теплонасосной воздушной установки, представляющую собой комбинацию газодувки (вентилятора) и компрессионного теплового насоса типа «воздух-вода» (ВТНУ) [2]. Воздух через специально устроенные воздухозаборники направляется в каналы тепловых сетей, проходя через которые нагревается, и далее поступает в теплообменный аппарат ВТНУ (испаритель или промежуточный теплообменник), и далее охлажденный воздух возвращается в атмосферу.

В предложенной схеме особо следует отметить использование теплоты грунта. В типовых решениях утилизации теплоты грунта требуется обустройство поля скважин горизонтальных или вертикальных, что и затратно, и достаточно требовательно в эксплуатации [2]. В условиях городской застройки, с учетом стоимости участков земли использование грунтовых ТНУ практически невозможно. В то же время, непроходные каналы можно рассматривать как готовую систему горизонтально-расположенную канальную систему для утилизации теплоты грунта, что расширяет положительные стороны полезности применения непроходных каналов для прокладки теплопроводов.

Теплопритоки к воздуху, проходящему по каналу, определяются комплексом факторов, среди которых наиболее значимыми являются длина канала, скорость воздуха в нем, характерный размер канала, температурный напор теплопередачи от сетевой воды к воздуху канала, характеристики тепловой изоляции. При этом, требуется выполнять очевидное ограничение: для исключения рассеяния тепловой энергии в грунт, температура воздуха в канале не должна превысить температуру грунта вокруг канала. Здесь же следует указать и другое ограничение: необходимо, чтобы последующее охлаждение прокачиваемого воздуха происходило до значения температуры не превышающего температуру наружного воздуха, который поступает в канал из окружающей среды в данный период времени. Что обеспечивает полное использование теплоты, затраченной на нагрев

наружного воздуха при его нахождении в канале.

Для решения задачи нагрева воздушного потока в канале теплотрассы использовались численные методы моделирования с использованием стандартных прикладных пакетов, в частности, программный комплекс ANSYS [3, 4]. Рассматривалось использование теплоты охлаждения воздуха, в течение как отопительного, так и межотопительного периодов времени с определением минимальной температуры охлаждения такой, чтобы мощность ВТНУ в течение года практически не изменялась. В межотопительный период воздух в ВТНУ поступает из окружающей среды непосредственно за счет вентилятора ВТНУ и охлаждается с тем, чтобы максимально использовать номинальную мощность ВТНУ.

В работе [5] приведены значения отопительного коэффициента ВТНУ для минимальных температур до  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , которые позволили провести их аппроксимацию зависимостью второго порядка с погрешностью не более 1,4 % (рис. 1) и на ее основе проводить дальнейшие расчеты.

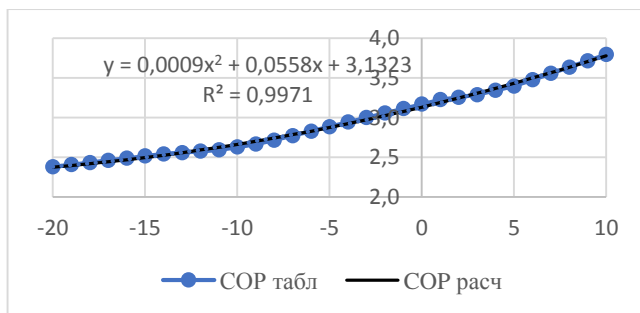


Рис. 1. Отопительный коэффициент ТНУ

В качестве критерия эффективности на первом этапе исследования можно принять экономию первичного энергоресурса (топлива) в системе централизованного теплоснабжения или отдельном сетевом районе.

#### Макроэкономическое окружение

При расчете технико-экономических показателей проекта были учтены тарифы, курсы валют и процентные ставки, представленные в табл.

Удельная стоимость ВТНУ данной категории мощности (до 300 кВт) на рынке составляет 180 долларов *USD* за киловатт установленной мощности.

На рис. 2 приведены результаты расчета годовой системной экономии топлива и сроки окупаемости проекта в зависимости от устанавливаемой мощности ВТНУ на тепловом пункте для участка длиной 200 м с диаметром трубопроводов 200 мм.

Тарифы, курсы валют и процентные ставки для расчета  
техничко-экономических показателей

Тариф на покупку природного газа	руб./тыс.м <sup>3</sup>	400
Ставка рефинансирования НБ РБ	%	9,25
Средневзвешенная ставка дисконтирования	%	7,75
Теплота сгорания газа	ккал/м <sup>3</sup>	8050
Теплота сгорания условного топлива	ккал/кг	7000
курс доллара НБ РБ на 26.07.2021	руб./долл.	2,5136
УРТ на замещающем источнике	г/кВт·ч	240
УРТ на котельной	кг/Ткал	166,9

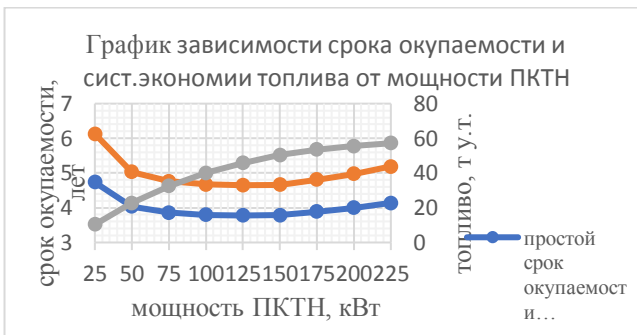


Рис. 2. Зависимость системной экономии топлива и сроков возврата инвестиций от мощности ВТНУ для канала теплотрассы диаметром 200 мм и длиной 200 м

Прослеживается наличие оптимальной мощности для рассматриваемой длины участка – 125 кВт. Для других длин были проведены аналогичные расчеты и результаты показаны на рис. 3.

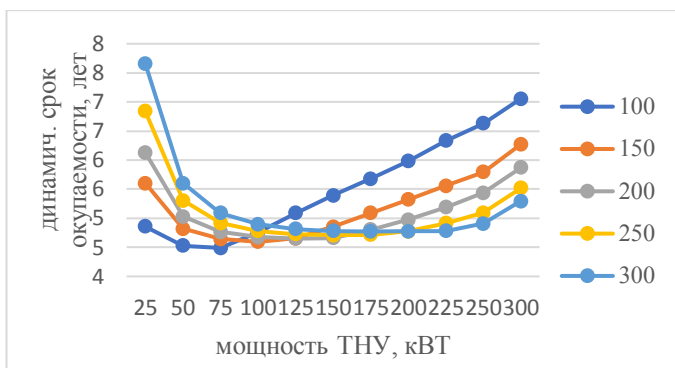


Рис. 3. Зависимость сроков возврата инвестиций от мощности ВТНУ и длины участка канала для теплотрассы диаметром 200 мм

На данном графике также прослеживаются оптимальные мощности ВТНУ для получения минимального срока окупаемости при каждой длине участка теплотрассы.

Выводы. Искусственная вентиляция непроходных каналов теплотрасс обеспечивает повышение энергоэффективности систем теплоснабжения путем регенерации и утилизации низкотемпературных тепловых потоков от теплопроводов, грунта и наружного воздуха с последующей трансформацией их потенциала до уровня, допустимого к использованию в системах теплоснабжения. Для организации регенеративно-утилизационной схемы теплоиспользования в непроходных каналах тепловых сетей предлагается использовать в тепловых пунктах вентиляционные компрессионные теплонасосные установки.

Найдены оптимальные мощности теплонасосных установок для участков различных длин на разных диаметрах трубопроводов теплотрасс при минимальных сроках окупаемости.

### Литература

1. Копко, В. М. Теплоснабжение / В. М. Копко. – М.: Изд-во АСВ, 2012. – 336 с.
2. Амерханов, Р. А. Тепловые насосы / Р. А. Амерханов. – М.: Энергоатомиздат, 2005. – 160 с.
3. Бруяко, В. А. Инженерный анализ в ANSYS Workbench / В. А. Бруяко, В. Г. Фокин, Е. А. Соядусов [и др.] – Самара: Самар. госуд. техн. ун-т, 2010. – 271 с.
4. Федорова, Н. Н. Основы работы в ANSYS / Н. Н. Федорова, С. А. Валь-

гер, М. Н. Данилов, Ю. В. Захарова. – М.: ДМК Пресс, 2017. – 210 с.

5. Брух, С. В. Особенности применения воздушных тепловых насосов для северных территорий [Электронный ресурс] / С. В. Брух // С.О.К. – 2017. – № 4. – Режим доступа: <https://www.c-o-k.ru/articles/osobennosti-primeneniya-vozdushnyh-teplovyyh-nasosov-dlya-severnyh-territoriy>. – Дата доступа: 22.01.2022.

УДК 725.86:624.01-025.14(083.13)

**Новое в рекомендациях по проектированию конструкций основания ледовых площадок (Р 3.02.178-2019)**

Ливанский Д. Г.

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*Разработанные рекомендации дополняют и усовершенствуют метод проектирования конструкции основания ледовых полей крытых катков.*

Рекомендации по проектированию конструкций основания ледовых площадок многофункциональных сооружений (далее рекомендации) [1–3] разработаны в Белорусском национальном техническом университете и утверждены Министерством архитектуры и строительства Республики Беларусь и Министерством спорта и туризма Республики Беларусь. Рекомендации предназначены для применения при проектировании конструкций основания ледовых площадок для крытых ледовых катков, а также многофункциональных зданий, использующих искусственный лед.

Крытые ледовые катки – дорогостоящие сооружения, в связи с чем, для снижения их стоимости и расширения функциональных возможностей строятся учебно-тренировочные (без мест для коммерческого зрителя) и демонстрационные, предназначенные для проведения соревнований и зрелищных платных мероприятий. Микроклимат ледовых катков очень специфичен и по многим параметрам отличается от обычных зданий. В помещении с ледовым полем формируется особый микроклимат, характеризующийся в первую очередь широким температурным диапазоном, так, например, температура воздуха на уровне груди спортсмена на ледовом поле обычно составляет в среднем +(6–10) °С, температура воздуха в зоне расположения мест для зрителей должна быть на уровне +(10–18) °С, а температура льда в зависимости от вида проводимых соревнований может быть от –3 до –8 °С [2–3].