Выводы

- Методом многоканального двухкоординатного зондирования установлено, что на процесс фильтрования частиц оказывает влияние избыток окислителя в реакторе фильтра. По данным зондирования и прямых измерений при увеличении избытка воздуха в реакторе фильтра с 2,2 до 7,3 температура после фильтра повышается на 25...52°, что свидетельствует о протекании экзотермических реакций в пористой стенке фильтра.
- 2. Показано, что средний приведенный диаметр пор CBC-материалов не характеризует в полной

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Белинкий Л.М. Теплоизлучение в камерах сгорания быстроходного двигателя с воспламенением от сжатия // Труды НИЛД. – М.: Машгиз, 1955. – № 1. – С. 83–113.
- Лоскутов А.С. Исследование механизмов образования топливных окислов азота и сажи в цилиндре дизеля: Дис. ... канд. техн. наук. – Л.: ЛПИ, 1983. – 293 с.
- Смайлис В.И. Современное состояние и новые проблемы экологии дизелестроения // Двигателестроение. – 1991. – № 1. – С. 3–6.
- Бразовский В.В., Бразовская О.В., Бразовский В.Е. Приборы и методы исследования параметров дисперсного состава продуктов сгорания в ДВС. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2008. – 124 с.

мере фильтрующие свойства, а внутренняя структура поверхности пор позволяет захватывать частицы со средними приведенными диаметрами, меньшими на 1...1,5 порядка по размеру.

- 3. Рост относительной площади фильтра, при постоянных показателях пористости и извилистости материала, в 1,5 раза приводит к повышению качества очистки всего на 3...5 %, а увеличение среднего приведенного диаметра пор в СВС-материале со 120 до 240 мкм приводит к снижению качества очистки конденсированной фазы от твердых частиц в 4 раза.
- Бразовский В.В., Евстигнеев В.В., Кашкаров Г.М., Тубалов Н.П. Исследование методом цифровой голографии процессов очистки отработавших газов // Известия Томского политехнического университета. – 2008. – Т. 312. – № 3. – С. 107–112.
- Бразовский В.В., Вагнер В.А., Евстигнеев В.В., Еськов А.В., Пролубников В.И., Тубалов Н.П. Голографический метод исследования дисперсного состава аэрозоля // Горизонты образования. – 2006. – Вып. 8. – С. 1–9.

Поступила 16.10.2009 г.

УДК 621.643.001:536.2

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ ТЕПЛОПРОВОДОВ В УСЛОВИЯХ УВЛАЖНЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ

В.С. Логинов, В.Ю. Половников, Д.К. Кравченко, Т.В. Рябичев

Томский политехнический университет E-mail: polov@tpu.ru

Проведены экспериментальные исследования по определению тепловых потерь теплопровода в условиях затопления и времени сушки тепловой изоляции после осушения канала. Установлены масштабы тепловых потерь и определена длительность сушки изоляции теплопровода, эксплуатируемого в условиях увлажнения изоляции.

Ключевые слова:

Теплопровод, тепловая изоляция, затопление, тепловые потери, сушка.

Key words:

Heat pipeline, thermal insulation, flooding, thermal loss, drying.

Введение

Исследование тепловых режимов работы теплопроводов, как в штатных, так и во внештатных условиях является актуальной задачей при анализе эффективности работы и создании энергосберегающих систем транспортировки тепла.

В настоящее время неоднократно отмечалось [1–4], что уровень тепловых потерь при транспортировке теплоносителя существенно превышает нормативные значения. Одним из основных факторов [1-4], приводящим к увеличению теплопотерь, является эксплуатация теплотрубопроводов в измененных термовлажностных условиях.

В последнее время типичной становится работа тепловых сетей [1–4] в условиях увлажнения изоляции. Подобные условия эксплуатации теплопроводов включают стадии: насыщение тепловой изоляции влагой, работа теплопровода с увлажненной изоляцией или в условиях затопления канала тепловой сети, а также сушка тепловой изоляции после удаления влаги из канального пространства. Все вышеупомянутые стадии работы теплопроводов сопровождаются не только существенным повышением тепловых потерь [1–4], но и, несомненно, приводят к интенсификации коррозионных и деградационных процессов в конструкциях систем транспортировки тепла.

Несмотря на очевидную значимость рассматриваемой проблемы, до настоящего времени не опубликовано каких-либо экспериментальных работ по исследованию тепловых режимов и определению фактических тепловых потерь систем транспортировки тепла в условиях увлажнения изоляции или затопления каналов тепловых сетей.

Цель работы — экспериментальное определение тепловых потерь теплопровода в условиях затопления и времени сушки тепловой изоляции теплопровода после осушения канала.

Методика экспериментов

Для проведения экспериментов использовался лабораторный стенд (рис. 1), представляющий собой модель однотрубного теплопровода канальной прокладки. Основными элементами стенда являются: трубчатый термоэлектрический нагреватель – 1 (ТЭН), имитирующий теплопровод диаметром 13 мм и длиной 1 м, покрытый слоем тепловой изоляции – 2 из минеральной ваты (толщина 25 мм), и цилиндрический кожух – 4 с внутренним диаметром 100 мм. На внешнюю поверхность кожуха нанесен покровный слой пенополиуретановой изоляции – 5, термическое сопротивление которого эквивалентно суммарному термическому сопротивлению слоя грунта и бетонной стенки канала реального теплопровода.

В центральной части на внешней поверхности ТЭНа, полутолщине и внешней поверхности минераловатной изоляции, а также на внутренней и внешней поверхностях покровного слоя (рис. 1) заложены хромель-копелевые термопары — 7, сигнал от которых передавался к измерителю температуры УТК 38-Щ4-ТП. Термопары предназначались для контроля температуры поверхности ТЭНа и индикации установления стационарного режима теплопроводности. Погрешность измерения температуры, оцениваемая по методике [5], не превышала 2...3 %. Мощность ТЭНа регулировалась лабораторным автотрансформатором; ток и напряжение в цепи измерялись универсальным цифровым вольтметром B7-35.

Эксперименты по определению тепловых потерь теплопровода проводились в следующем порядке. Полость кожуха – 3 заполнялась водой через патрубок – 6, и изоляционная конструкция выдерживалась под водой в течение времени, необходимого для ее полного увлажнения. Из результатов ранее проведенных исследований [6] известно, что длительность увлажнения минераловатной тепловой изоляции составляет десятки минут в зависимости от толщины слоя и структуры материала. Затем включался электрический нагреватель. Для поддержания на поверхности ТЭНа постоянной температуры по мере установления стационарного режима теплопроводности необходимо было регулировать мощность нагревателя трансформатором. Линейный тепловой поток от ТЭНа (тепловые потери *Q*) определялся косвенно с погрешностью 0,5 %, обусловленной характеристиками прибора В7-35, по формуле:

$$Q = \frac{IU}{L},$$

где *I* – ток, А; *U* – напряжение, В; *L* – длина ТЭНа, м.

При определении длительности сушки тепловой изоляции теплопровода использовалась лабораторная установка (рис. 2), конфигурация которой аналогична конфигурации стенда на рис. 1. В данном случае на внешней поверхности кожуха – 4 (рис. 2) был закреплен охлаждающий змеевик – 5, предназначенный для поддержания постоянной температуры поверхности кожуха.



Рис. 1. Схема экспериментального стенда по определению тепловых потерь: 1) ТЭН; 2) слой тепловой изоляции; 3) полость кожуха; 4) кожух; 5) покровный слой тепловой изоляции; 6) патрубки; 7) места закладки термопар



Рис. 2. Схема экспериментального стенда по определению времени сушки: 1) ТЭН; 2) слой тепловой изоляции; 3) полость кожуха; 4) кожух; 5) охлаждающий змеевик; 6) патрубки; 7) места закладки термопар

Эксперименты по определению длительности сушки тепловой изоляции теплопровода проводились следующим образом. Тепловая изоляция увлажнялась до максимального значения тем же способом, что и при проведении опытов по определению тепловых потерь теплопровода. Затем полость кожуха — 3 осушалась через нижний патрубок — 6, и включался электрический нагреватель — 1, рис. 2. По мере нагрева ТЭНа необходимо было регулировать выделяемую им мощность для поддержания постоянной температуры его поверхности.

Длительность сушки тепловой изоляции определялась по изменению показателя влажности, который рассчитывался как отношение массы влажного материала к начальной массе сухого. Во всех экспериментах по сушке в начальный момент времени показатель влажности составлял 380 %.

Количество удаленной влаги из полости кожуха и тепловой изоляции измерялось объемным способом с погрешностью не более 5 % [5]. Считалось, что слой изоляции теплопровода является высушенным тогда, когда значение показателя влажности теплоизоляции не изменяется во времени и не превышает 3...5 %.

Результаты исследований

Основные результаты экспериментальных исследований тепловых потерь Q теплопровода в условиях затопления приведены в табл. 1, а результаты исследований по сушке тепловой изоляции представлены в табл. 2.

Исследования проводились при фиксированных значениях температуры поверхности ТЭНа, которая изменялась в диапазоне *T*=70...90 °С и была ограничена термостойкостью гидроизоляционных материалов. Средняя температура окружающей среды в лаборатории составляла 22 °С.

Эксперименты по определению тепловых потерь теплопровода проводили в течение 4...6 ч в зависимости от температуры поверхности ТЭНа до наступления стационарного режима. Длительность опытов увеличивалась с уменьшением температуры поверхности ТЭНа.

Предварительно были проведены опыты по определению тепловых потерь теплопровода Q_1 без затопления рассматриваемой системы. Результаты этих экспериментов Q_1 и их сравнение с Q приведены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты исследований по определению тепловых потерь

T, ℃	<i>Q</i> , Вт/м	<i>Q</i> 1, Вт/м	<i>Q</i> ₂ , Вт/м	$\delta_1 = Q/Q_1$	$\delta_2 = (Q - Q_2)/Q \cdot 100, \%$
70	26,36	7,30	27,09	3,61	2,76
75	29,55	8,84	30,47	3,34	3,11
80	32,92	10,23	34,08	3,21	3,92
85	38,95	11,75	40,63	3,31	4,31
90	45,49	13,37	46,05	3,40	1,23

Также были приведены расчеты тепловых потерь Q_2 теплопровода в условиях максимального увлажнения тепловой изоляции (затопления) с использованием методики расчета [7]. Расчет был выполнен для конфигурации теплотрубопровода, соответствующей конфигурации лабораторного стенда (рис. 1). Результаты расчета тепловых потерь теплопровода в условиях затопления Q_2 и их сравнение с результатами экспериментальных исследований Q приведены в табл. 1.

Анализ результатов по экспериментальному определению и расчету тепловых потерь теплопровода в условиях затопления, табл. 1, говорит о том, что относительная разность δ_2 между ними является незначительной и не превышает 4,31 %. Тепловые потери теплопровода δ_1 в условиях максимального влагонасыщения по результатам экспериментальных исследований возрастают в пределах от 3,21 до 3,61 раза.

В табл. 2 приведены результаты экспериментальных исследований по определению длительности сушки тепловой изоляции теплопровода, а также данные расчетов времени сушки изоляции с использованием математической модели [8] для конфигурации теплотрубопровода, соответствующей конфигурации лабораторной установки (рис. 2).

Математическая модель [8] базируется на реализации диффузионного механизма переноса влаги в слое тепловой изоляции теплопровода и при соответствующей корректировке начального условия может быть использована для оценки длительности сушки изоляции теплопроводов.

Таблица 2. Результаты исследований по определению времени сушки

τ°C	Время сушки, ч		
1, C	Эксперим.	Расчетное	
70	46,3	60,0	
80	30,0	36,1	
90	20,0	22,8	

Результаты экспериментальных исследований, табл. 2, позволяют говорить о том, что длительность сушки тепловой изоляции теплопровода, работавшего в условиях затопления, изменяется в пределах от 20 до 46 ч в заданном интервале температур. Сопоставление экспериментальных и расчетных результатов по определению времени сушки тепловой изоляции свидетельствует о том, что относительная разность между ними не превышает 22,8 %, что приемлемо при проведении инженерных оценок длительности сушки изоляции теплопроводов и подтверждает возможность использования математической модели [8]. Сравнение ре-

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Шишкин А.В. Определение потерь тепла в сетях централизованного теплоснабжения // Теплоэнергетика. – 2003. – № 9. – С. 68–74.
- Пак Р.Т. Опыт применения металлизированных покрытий трубопроводов теплосети в тепловых сетях «Томскэнерго» // Новости теплоснабжения. – 2006. – № 1. – С. 45–46.
- Яковлев Б.В. Предотвращение коррозионной повреждаемости теплосетей канальной прокладки // Новости теплоснабжения. – 2009. – № 3. – С. 39–41.
- Байбаков С.А., Тимошкин А.С. Основные направления повышения эффективности тепловых сетей // Электрические станции. – 2004. – № 7. – С. 19–25.
- Новицкий П.В., Зограф И.А. Оценка погрешностей результатов измерений. – Л.: Энергоиздат, 1991. – 304 с.
- Кузнецов Г.В., Половников В.Ю. Численное моделирование теплового состояния трубопровода в условиях затопления с

зультатов исследования длительности высушивания тепловой изоляции с экспериментами других авторов [9], дает достаточно хорошее качественное соответствие. В опытах [9] показатель влажности минеральной ваты составлял 300 %, а время сушки – 48 ч.

Заключение

С использованием лабораторных стендов экспериментально определены тепловые потери и длительность сушки тепловой изоляции теплопровода, эксплуатировавшегося в условиях затопления.

Установлено, что тепловые потери теплопровода в условиях затопления возрастают в 3,21...3,61 раза; время сушки изоляции для конфигурации лабораторного стенда в интервале температур 70...90 °C составляет 20...46 ч.

Показана адекватность и возможность использования ранее предложенных математических моделей для расчета тепловых потерь и оценки длительности сушки увлажненной тепловой изоляции теплопроводов.

Авторы выражают признательность сотрудникам теплоэнергетического факультета ТПУ Ю.Я. Ракову и Р.Н. Фисенко за помощь, оказанную при создании экспериментальных стендов.

Работа выполнена в рамках реализации федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009—2013 гг. и при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 08-08-00143-а).

учетом нестационарности процесса насыщения теплоизоляции влагой // Теплоэнергетика. – 2008. – № 5. – С. 60–64.

- Кузнецов Г.В., Половников В.Ю. Анализ тепловых потерь теплотрубопроводов в условиях увлажнения изоляции с учетом процесса испарения влаги // Известия Томского политехнического университета. – 2008. – Т. 313. – № 4. – С. 8–11.
- Логинов В.С., Половников В.Ю. Численное моделирование тепловых режимов канальных теплотрубопроводов в условиях взаимодействия с влажным воздухом // Известия Томского политехнического университета. – 2008. – Т. 313. – № 4. – С. 12–14.
- Витальев В.П. Исследование режимов высыхания изоляции подземных теплопроводов / В сб.: Наладочные и экспериментальные работы ОРГРЭС. – 1955. – Вып. XI. – С. 36–49.

Поступила 10.09.2009 г.