

УДК 628.1 + 697.1

А.Г. Рымаров, К.И. Лушин

ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ ТЕПЛОИЗОЛИРОВАННОГО ТРУБОПРОВОДА СИСТЕМЫ ХОЛОДНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Рассмотрены процессы теплообмена на поверхности магистрального трубопровода системы холодного водоснабжения. Показаны результаты численного эксперимента как для трубопроводов покрытых изоляцией, так и без таковой. Даны результаты анализа основных процессов для различных расходов воды, диаметров труб, толщин тепловой изоляции, а также рассмотрена динамическая модель изменения температурных параметров воды при существенном изменении расхода в течение короткого времени. Результаты анализа могут быть использованы при проектировании и эксплуатации как открыто проложенных трубопроводов, так и трубопроводов канальной прокладки, в том числе и для анализа трубопроводов, проложенных в городских коллекторах подземных коммуникаций.

Ключевые слова: трубопровод, водоснабжение, теплообмен, тепловая изоляция, тепловой режим.

A.G. Rymarov, K.I. Lushin THERMAL CONDITIONS OF A HEAT-INSULATED PIPELINE OF THE SYSTEM OF COLD WATER SUPPLY

Processes of heat exchange typical for surfaces of main pipelines of cold water supply systems are considered in the article. The results of the numerical experiment involving both insulated and non-insulated pipelines are also provided in the article. The results of the analyses of the principal processes typical for different water consumption rates, pipe diameters, and thermal insulation thicknesses may also be found in the article. A dynamic model describing temperature fluctuations accompanied by substantial growth/reduction of the water consumption rate within a short time period is also considered in the proposed article. The results of the analysis may be applied for the purpose of design development and maintenance of both buried and above-ground pipelines, including those connected to municipal underground sewers.

Key words: pipeline, water supply, heat exchange, thermal insulation, thermal conditions.

Известно, что способность воды к замерзанию в трубе зависит от скорости движения воды. Толщина тепловой изоляции трубопровода с холодной водой, проложенного открытым способом, определяется для наиболее опасного с точки зрения замерзания воды условия: прекращение движения воды в трубопроводе в период резкого похолодания в холодный период года. Тепловая защита трубы зависит от количества времени, которое необходимо для восстановления движения воды или слива воды. Вместо тепловой изоляции можно применять электроподогрев трубы, что однако приведет к увеличению эксплуатационных затрат предприятием, а также имеют место периодические перебои с поступлением электроэнергии.

Поставлена задача: рассчитать толщину теплоизоляции трубы с холодной (артезианской) водой с целью защиты от замерзания в холодный период года с повышенной надежностью.

Объект исследования – труба с холодной водой, которая эксплуатируется круглый год, температура воды 4...6 °С (артезианская вода с глубины 100 м), максимальный расход воды – 24 м³/ч, минимальный расход воды – 0,5 м³/ч, возможны полные остановки движения воды. Общая протяженность трубы – 60 м, материал трубы – полипропилен, наружный диаметр – 90 мм.

При расчетах теплоизоляции принята за расчетную температура наружного воздуха – абсолютная минимальная температура за холодный период, равная для г. Москвы –42 °С. Расчетная температура воды +4 °С.

Теплотехнические характеристики применяемых материалов

Наименование материала	Плотность, кг/м ³	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м×°С)
Материал трубы – полипропилен	909	0,22
Утеплитель – пенополиуретан	80	0,035

При расчетах коэффициента теплоотдачи от воды к внутренней поверхности трубы выделены два режима течения воды в трубе: турбулентный режим при расходе от 11 до 24 м³/ч и ламинарный режим при расходе воды от 2,3 до 0,5 м³/ч [1]. Для рассматриваемого случая все значения коэффициента теплоотдачи достаточно велики, чтобы оказать существенное влияние на общее сопротивление теплопередаче теплоизолированной трубы.

При определении коэффициента теплоотдачи между воздухом и поверхностью изоляции трубы определяющим фактором является поперечное обтекание трубы воздухом, а также то, что процесс обтекания воздухом трубы носит турбулентный характер при известной скорости ветра [1].

Интерес представляет расчет толщины теплоизоляции трубы при условии полной остановки движения воды в течение заданного периода времени. В результате расчетов получены значения сопротивлений теплопередаче теплоизоляционного слоя. На основании значений сопротивлений теплопередаче определена толщина теплоизоляции при времени остановки движения воды от 1 до 24 ч. За указанное время при остановке движения воды при наличии тепловой изоляции температура воды понизится до +1 °С, и будет стремиться к 0 °С. Результаты расчетов приведены на рис. 1.

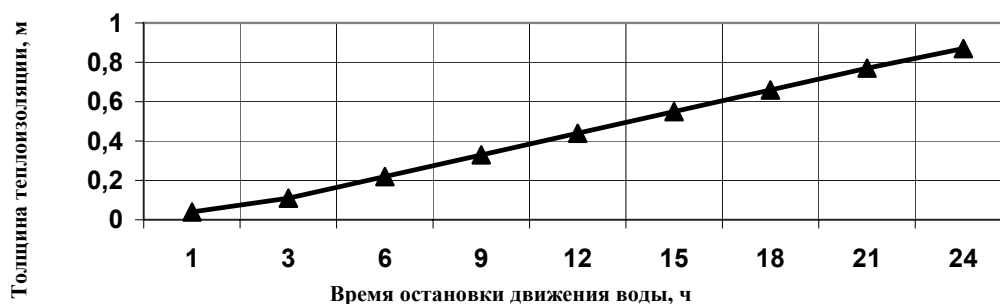


Рис. 1. Связь времени остановки воды и толщины тепловой изоляции

Следующим этапом проведен расчет коэффициента теплопередачи трубы с теплоизоляционным покрытием [1].

Проведены расчеты остывания воды в трубе при различных величинах толщины тепловой изоляции и получены значения температуры воды при различных значениях расхода. На основании равенства изменения теплового потока на бесконечно малой части длины трубы можно записать следующее равенство:

$$\Delta Q_{\text{пов}} = \Delta Q_{\text{вода}},$$

где $\Delta Q_{\text{пов}}$ – тепло, уходящее от поверхности теплоизоляционного покрытия, Вт; $\Delta Q_{\text{вода}}$ – количество тепла, теряемое водой при остывании, Вт.

Большое влияние на процесс остывания воды оказывают теплотехнические характеристики материала, из которого изготовлена труба.

Результаты расчета температуры воды в трубе при следующем диапазоне значения расхода воды: 24, 12, 0,5 и 0,1 м³/ч при различной толщине теплоизоляционного слоя приведены на графике (рис. 2), где номера линий соответствуют следующим значениям расхода воды 24 (1), 12 (2), 0,5 (3) и 0,1 (4) м³/ч.

Из расчетов видно, что чем меньше расход воды, тем тепловая изоляция становится более необходимой для предотвращения замерзания трубопровода. Принятый для расчетов расход 0,1 м³/ч близок к полной остановке движения воды в трубе и при отсутствии необходимой теплоизоляции вода замерзнет. Линии (1) и (2) соответствующие расходам воды 24 и 12 м³/ч, слились, так как расходы воды достаточно большие.

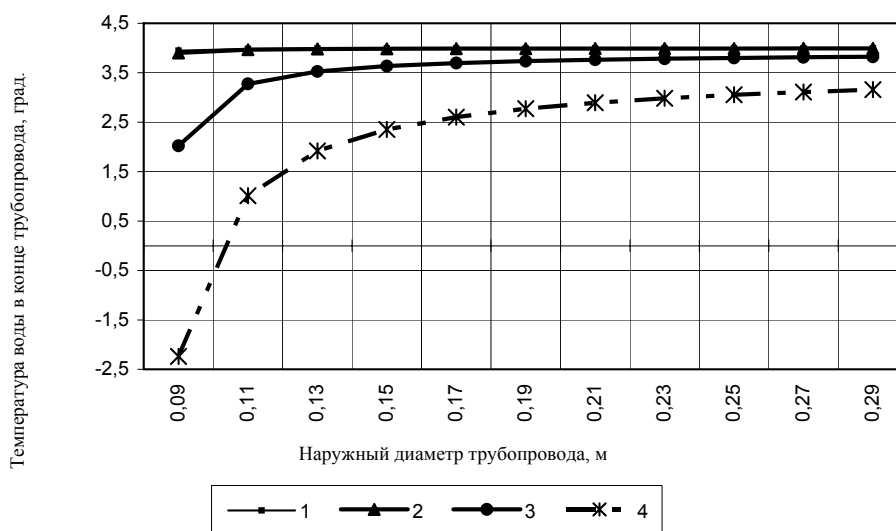


Рис. 2. Связь температуры воды в конечной точке расчетного трубопровода и его диаметра

Движение воды связано с трением воды о стенки трубы, а при пониженной температуре воды увеличивается вязкость воды, что способствует увеличению трения воды. Выделение тепла за счет трения воды о стенки трубы является тем резервом, благодаря которому понижается вероятность замерзания воды. Рост выделения тепла за счет трения воды о стенки трубы пропорционален росту значения скорости в третьей степени, поэтому чем выше скорость движения воды, тем выше выделение тепла за счет трения.

$$Q = \Delta P \times L,$$

где ΔP – потери давления за счет трения; L – расход воды, м³/с.

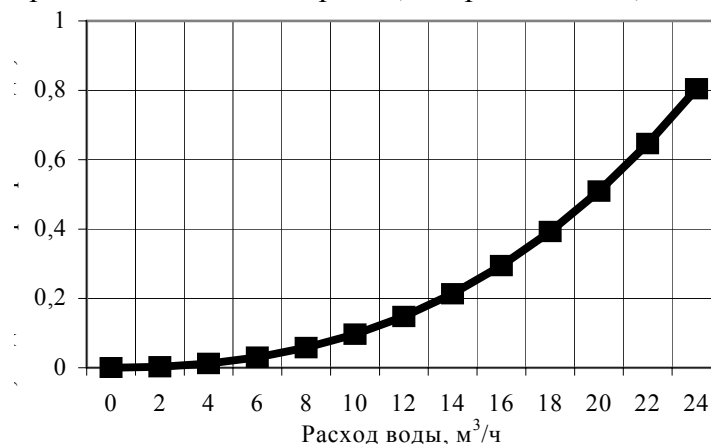


Рис. 3. Зависимость выделения теплоты при трении воды о стенки трубопровода от расхода

Из рис. 3 видно, что при трении выделяется относительно небольшое количество тепла, повышающее незначительно температуру воды в трубе.

Для прогнозирования проведены расчеты нестационарного температурного режима теплоизолированной трубы, что сделано в условиях приближенных к реальным, что позволяет прогнозировать и проверять правильность принятых решений. Для проведения расчетов температурных режимов на кафедре отопления и вентиляции МГСУ созданы математические модели, реализованные в виде компьютерных программ. Эти модели позволяют учитывать начальное состояние и динамику изменения температурного режима изоляции и трубы с учетом изменчивости климатических условий, режима эксплуатации и технологических нагрузок. При этом учитываются связи между отдельными составляющими тепломассообменного процесса.

В качестве методической основы для постановки задачи, формирования математической модели и получения числовых результатов использовались разработки и представления изучаемого объекта как Единой Технологической Системы (ЕТС) обеспечения заданного температурного режима для обеспечения достаточной долговечности объекта [2].

Результаты расчетов представлены в виде графиков, иллюстрирующих изменение температуры наружного воздуха и воды в конце трубы в суточном режиме при продолжительном периоде холодов более чем 10 дней. На рис.4 показано изменение температуры при расходе воды в трубе $24 \text{ м}^3/\text{ч}$, который внезапно сокращается до $0,1 \text{ м}^3/\text{ч}$, тепловая изоляция отсутствует.

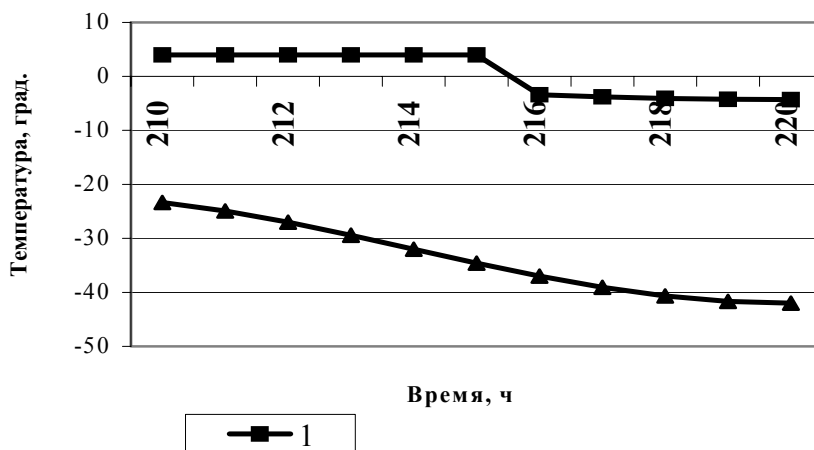


Рис. 4. Динамика изменения температуры воды при изменении расхода: 1 – температура воды в конце трубопровода, °C, 2 – температура наружного воздуха, °C

На рис. 5 показано изменение температуры при расходе воды в трубе $24 \text{ м}^3/\text{ч}$, который внезапно сокращается до $0,1 \text{ м}^3/\text{ч}$, толщина тепловой изоляции равна 5 мм.

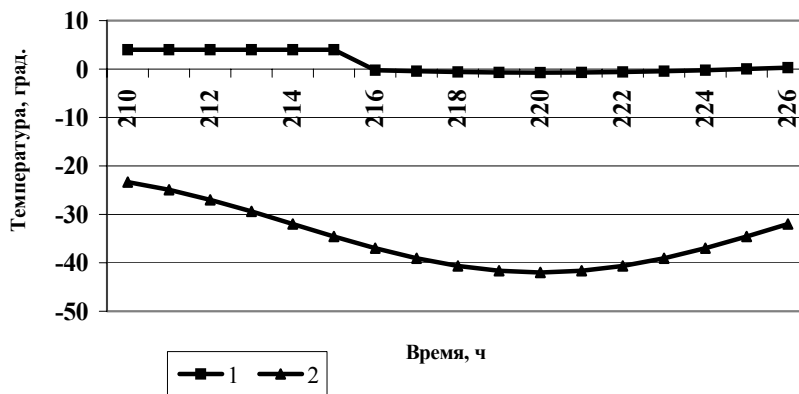


Рис. 5. Динамика изменения температуры воды в трубопроводе, покрытом тепловой изоляцией при изменении расхода: 1 – температура воды в конце трубопровода, °C; 2 – температура наружного воздуха, °C

Вывод. Расчеты показали, что при стационарных условиях имеет место запас сопротивления теплопередаче по теплозащите трубы по сравнению с расчетами на основе метода, учитывающего нестационарность процессов, так как при этом учитывается теплоаккумулирующая способность материалов, и нестационарность температурных характеристик наружного воздуха, что позволяет более точно проводить расчеты.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Богословский В.Н. Строительная теплофизика. Изд. 2-е. М. : Стройиздат, 1982.

2. Лариков Н.Н. Теплотехника. М. : Стройиздат, 1985.
3. СНиП 23-01—99. Строительная климатология. 2000.

REFERENCES

1. Bogoslovskiy V.N. *Stroitel'naya teplofizika* [Thermal Physics in Construction], Moscow, Stroyizdat Publ., 1982, 415 p.
2. Larikov N.N. *Teplotekhnika* [Heat Engineering], Moscow, Stroyizdat Publ., 1985, 432 p.
3. SNiP 23-01-99. *Stroitel'naya klimatologiya* [Construction Norms and Rules 23-01-99. Building Climatology], 2000, 136 p.

Поступила в редакцию в марте 2012 г.

Об авторах: **Рымаров Андрей Георгиевич**, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры отопления и вентиляции, МГСУ, 129337, г. Москва, Ярославское ш., д. 26, (499) 188-36-07;

Лушин Кирилл Игоревич, старший преподаватель кафедры отопления и вентиляции, МГСУ, 129337, г. Москва, Ярославское ш., д. 26, (499) 188-36-07, tgvmgsu@mail.ru

About authors: **Rymarov Andrey Georgievich**, **Moscow State University of Civil Engineering (MSUCE)**, 26 Yaroslavskoye shosse, Moscow, 129337, Russian Federation;

Lushin Kirill Igorevitch, **Moscow State University of Civil Engineering (MSUCE)**, 26 Yaroslavskoye shosse, Moscow, 129337, Russian Federation, tgvmgsu@mail.ru

Для цитирования:

Рымаров А.Г. Лушин К.И. Тепловой режим теплоизолированного трубопровода системы холодного водоснабжения // Научно-практический Интернет-журнал «Наука. Строительство. Образование». 2012. Вып. 1. Режим доступа: <http://www.nso-journal.ru>.

For citation:

Zhukov A.D. *Teplovoy rezhim teploizolirovannogo truboprovoda sistemy kholodnogo vodosnabzheniya* [Thermal conditions of a heat-insulated pipeline of the system of cold water supply]. *Nauchno-prakticheskiy Internet-zhurnal «Nauka. Stroitel'stvo. Obrazovanie»* [Science, construction, education], 2012, no. 1. Available at: <http://www.nso-journal.ru>.