



УДК 697.34

Ахмерова Г.М. – кандидат педагогических наук, доцент

E-mail: akhmerovaag@mail.ru

Фёдоров А.В. – студент

E-mail: alexallavol@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Влияние влажности грунта на тепловые потери теплопроводов в непроходных каналах

Аннотация

Проведён анализ тепловых потерь через изолированную поверхность трубопроводов тепловых сетей для различных режимов работы теплопроводов с постепенным увлажнением грунта от 0 до 48 % при подземной прокладке в непроходных каналах. В результате получена зависимость тепловых потерь от увлажнения грунта, вида тепловой изоляции и режима работы. Полученные результаты сравнены с нормативными значениями.

Ключевые слова: теплоизоляционные материалы, тепловые потери трубопроводов.

Подтопление – большой вопрос для многих городов. Из 1108 городов России подтоплены земли 792 городов. Город Казань пресечён реками Казанка, Нокса, Киндерка, Солонка и 25 % территории находится в состоянии постоянного подтопления. Уровень грунтовых вод в Казани стал намного выше (от 0 до 3 м) после создания в 1957 году Куйбышевского водохранилища. Геологи констатируют: серьезным геологическим вопросом стало строительство метро. Например, в районе станции «Горки» (открыта в 2005 году) метрополитен стал своего рода подземной плотиной [1].

Такие условия существенно влияют на тепловые потери подземных теплотрасс. Общая протяжённость Казанских тепловых сетей – 1 173,0636 км (в однострубно́м исчислении), в том числе: магистральные – 259,1 км; распределительные – 913,9 км. Протяжённость водяных тепловых сетей – 1 167,2 км в однострубно́м исчислении. Протяжённость паровых сетей – 5,9 км в однострубно́м исчислении. Магистральные тепловые сети проложены по городской территории в каналах. Основными источниками отпуска тепловой энергии являются Казанские ТЭЦ – они обеспечивают большую часть тепловой нагрузки города. На ТЭЦ-1, ТЭЦ-2, ТЭЦ-3 температурный график составляет 130/65 °С. Районные котельные «Азино» и «Горки» имеют температурный график 131,5/65 °С, а РК «Савиново» – 131,4/65 °С. Централизованные источники тепла работают автономно на свои тепловые районы и связаны между собой магистральными тепловыми сетями с разделительными задвижками. Потери тепловой энергии в сетях теплоснабжения составляют 8,4 %. Максимальные тепловые потери не должны превышать 10 % – это предельный уровень потерь, при котором эффективность централизованного теплоснабжения физически выше, чем децентрализованного. Энергосбережение является одной из первоочередных задач на сегодняшний день, и поэтому исследование влияния увлажнения грунта на тепловые потери подземных сетей теплоснабжения является актуальным.

Расчёты были произведены для различных режимов работы теплопроводов с постепенным увлажнением грунта от 0 до 48 % (изоляция не увлажнена; насыщенную влагой тепловую изоляцию рассматривают авторы [2]).

Теплопроводность грунта так же не является величиной постоянной, она зависит от влажности. Коэффициент теплопроводности грунта резко возрастает по мере увеличения влажности, поскольку теплопроводность воздуха, вытесняемого водой из пор породы, приблизительно в 25 раз меньше теплопроводности воды.

Зависимость коэффициента теплопроводности влажных грунтов от массовой влажности:

- $W_{гп}=0$ %, $\lambda_{гп} = 0,33$ Вт/(м·°С) – абсолютно сухой грунт;

- $W_{гп}=16$ %, $\lambda_{гп} = 0,96$ Вт/(м·°С) – влажный грунт (естественная влажность);

- $W_{гп}=32\%$, $\lambda_{гр} = 1,33 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ – влажный грунт;
- $W_{гп}=48\%$, $\lambda_{гр} = 1,63 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ – насыщенный водой грунт [3].

Изменение коэффициента теплопроводности грунтов влияет на термическое сопротивление грунта, $\text{м}^2\text{C}/\text{Вт}$:

$$R_{гп}^k = \frac{\ln \left(\frac{3,5 \frac{H}{\Gamma} \frac{\alpha}{\Gamma} \delta^{0,25} \dot{u}}{\delta} \right)}{\alpha_{гп} + 0,5 \frac{A}{\Gamma} \frac{\dot{u}}{\delta}} \quad (1)$$

где H – глубина заложения, м, от поверхности земли до оси канала;

A и Γ – внутренние размеры канала: A – ширина канала, Γ – высота, м;

$\lambda_{гп}$ – коэффициент теплопроводности грунта, $\text{Вт}/(\text{м}^2\text{C})$,

и, следовательно, на температуру воздуха в канале $t_{кан}$:

$$t_{кан} = \frac{\frac{t_{г1}}{R_{из1}^L + R_{н1}^L} + \frac{t_{г2}}{R_{из2}^L + R_{н2}^L} + \frac{t_n}{R_{кан} + R_{гп}^k}}{\frac{1}{R_{из1}^L + R_{н1}^L} + \frac{1}{R_{из2}^L + R_{н2}^L} + \frac{1}{R_{кан} + R_{гп}^k}} \quad (2)$$

где $t_{г1}$, $t_{г2}$ – среднегодовые температуры теплоносителя, $^\circ\text{C}$;

t_n – температура наружной среды, $^\circ\text{C}$;

$R_{гп1}^L, R_{гп2}^L$ – термические сопротивления изоляции трубопроводов, $\text{м}^2\text{C}/\text{Вт}$;

$R_{г1}^L, R_{г2}^L$ – термические сопротивления теплоотдаче от поверхности изоляции трубопроводов, $\text{м}^2\text{C}/\text{Вт}$;

$R_{гп}^k$ – термическое сопротивление теплоотдаче от воздуха к поверхности канала, $\text{м}^2\text{C}/\text{Вт}$.

Для расчёта тепловых потерь через изолированную поверхность трубопроводов тепловых сетей при подземной прокладке в непроходных каналах были выбраны два типа теплоизоляции: плиты минераловатные на синтетическом связующем М-75 (толщина изоляции с учётом уплотнения $\delta_{из}=120$ мм, коэффициент теплопроводности теплоизоляционного материала в конструкции $\lambda_{из} = 0,044 + 0,00021t_m$, $\text{Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ и маты из супертонкого стеклянного волокна без связующего толщина изоляции с учётом уплотнения $\delta_{из}=150$ мм, коэффициент теплопроводности теплоизоляционного материала в конструкции $\lambda_{из} = 0,033 + 0,00014t_m$, $\text{Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$, где t_m – средняя температура теплоизоляционного слоя $t_m=0,5(\tau_г + 40)$, $^\circ\text{C}$, $\tau_г$ – среднегодовая температура теплоносителя, $^\circ\text{C}$.

Наибольшую долю среди трубопроводов по типу изоляции составляют трубопроводы в минераловатной изоляции, которая является наиболее дешёвой и простой в использовании. Её доля в среднем по России составляет 88 %. В Уральском, Приволжском и Северо-Кавказском федеральных округах 95 % и больше. Лидерами производства минераловатной изоляции в России стали компании «ТЕХНОНИКОЛЬ» и Rockwool. В Татарстане с 2007 года работает завод «ТЕХНО» (г. Заинск), который производит около 140 тыс. тонн теплоизоляционных материалов ежегодно, а в апреле 2012 года в ОЭЗ «Алабуга» запустили завод теплоизоляционных материалов Rockwool объёмом 110 тыс. тонн в год. Rockwool – каменная шерсть, если переводить дословно.

Основное отличие стекловаты от минеральной ваты – длина волокон: средняя длина стекловолокна составляет 5 см, в то время как у минеральной ваты – 1,5 см. Стекловолоконистые изделия (по сравнению с минеральной ватой) имеют большую прочность и отличаются виброустойчивостью.

Диаметр трубопроводов $D_u = 500$ мм. Тепловая сеть проложена в канале (2410x1105 мм). Грунт – суглинок, средняя плотность грунта $1600 \text{ кг}/\text{м}^3$. Средняя за год температура почвы на глубине 1,6 м для города Казань составляет $6,3 \text{ }^\circ\text{C}$ [4].

Расчётные параметры теплоносителя $t_{г1}/t_{г2} = 130/65 \text{ }^\circ\text{C}$. В Казанских тепловых сетях, как и во многих городах России, требования обеспечения надёжности теплоснабжения при значительном износе сетей привели к необходимости оптимизации расчётных параметров графика $130/65 \text{ }^\circ\text{C}$, срезкой $115/65 \text{ }^\circ\text{C}$ (подача/обратка).

Согласно СП 124.13330.2012 «Тепловые сети» в качестве расчётной среднегодовой температуры теплоносителя в подающем/обратном трубопроводе можно принять температуры 65/50°C или рассчитать их по формуле:

$$t_g = \frac{(t_{m1}n_1 + t_{m2}n_2 + \frac{1}{4} + t_{m12}n_{12})}{(n_1 + n_2 + \frac{1}{4} + n_{12})}, \quad (3)$$

$t_{m1}, t_{m2}, \dots, t_{m12}$ – средняя температура воды в подающем и обратном трубопроводе по месяцам, определяемая по графику центрального качественного регулирования в зависимости от среднемесячной температуры наружного воздуха;

n_1, n_2, \dots, n_{12} – количество часов по месяцам.

Расчёты проводились для следующих случаев: проектный режим; отсутствие изоляции на обратном трубопроводе; отсутствие изоляции на подающем трубопроводе; отсутствие изоляции на обоих трубопроводах. Результаты расчёта и сравнение удельных тепловых потерь с нормативными сведены в табл. 1-2.

Таблица 1

Сравнение тепловых потерь через изолированную поверхность трубопроводов тепловых сетей при подземной прокладке в непроходных каналах, для тепловой изоляции - плит минераловатных на синтетическом связующем

Влажность грунта, %	Норма плотности теплового потока по СП 61.13330.2012, Вт/м	q, Вт/м, при Du = 500 мм			
		Проектный режим	Отсутствие изоляции на обратном трубопроводе	Отсутствие изоляции на подающем трубопроводе	Отсутствие изоляции на обоих трубопроводах
0	113	54,88	63,58	122,53	274,44
16		83,39	143,73	250,55	337,6
32		90,24	178,09	305,56	367,33
48		93,90	201,17	342,4	388,41

Примечание: в таблице заштрихованы q, превышающие нормируемые.

Сравнивая полученные результаты, очевидно, что при прокладке в непроходных каналах с изоляцией минераловатными плитами на синтетическом связующем в зависимости от увлажнения грунта тепловые потери теплопроводов условным диаметром 500 мм возрастают в 1,7-2,8 раза, а с изоляцией матами из стеклянного волокна в 1,5-3 раза. Анализ проведённых расчётов свидетельствует, что наиболее оптимальной для подземной прокладки в непроходных каналах является теплоизоляция матами из стекловолокна.

Таблица 2

Сравнение тепловых потерь через изолированную поверхность трубопроводов тепловых сетей при подземной прокладке в непроходных каналах, для тепловой изоляции – матов из супертонкого стеклянного волокна без связующего

Влажность грунта, %	Норма плотности теплового потока по СП 61.13330.2012, Вт/м	q, Вт/м, при Du = 500 мм			
		Проектный режим	Отсутствие изоляции на обратном трубопроводе	Отсутствие изоляции на подающем трубопроводе	Отсутствие изоляции на обоих трубопроводах
0	113	42,75	60,46	115,47	274,44
16		58,29	138,32	246,87	337,6
32		61,573	171,32	302,93	367,33
48		63,25	193,55	345	388,41

Примечание: в таблице заштрихованы q, превышающие нормируемые

Заключение

Таким образом, получена зависимость изменения эффективности тепловой изоляции трубопроводов и тепловых потерь трубопроводов, в зависимости от влажности грунта, в то время как методики СП 41-103-2000 «Проектирование тепловой изоляции оборудования и трубопроводов» не содержат указаний о порядке учёта увлажнения грунта в различных условиях. Проведено сравнение полученных результатов с нормативными значениями. Естественная влажность суглинков составляет 16 %. Как видно из табл. 1-2, в этом случае тепловые потери проектного режима работы трубопроводов с различной изоляцией не отклоняются от нормы теплового потока через поверхность изоляции для трубопроводов двухтрубных водяных сетей при подземной канальной прокладке по СП 61.13330.2012 «Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов».

Список библиографических ссылок

1. Четверть Казани – в постоянном подтоплении // деловая электронная газета Татарстана. URL: <http://www.business-gazeta.ru/article/57844/> (дата обращения: 29.03.2016).
2. Иванов В.В., Букаров Н.В., Василенко В.В. Влияние увлажнения изоляции и грунта на тепловые потери подземных теплотрасс // Новости теплоснабжения, 2002, № 7. – С. 32-33.
3. Теплоснабжение и вентиляция. Курсовое и дипломное проектирование / Под ред. проф. Хрусталёва Б.М. – М.: Изд-во АСБ, 2008. – 784 с.
4. Баляйкина И.В., Витальев В.П., Громов Н.К. Водяные тепловые сети. – М.: Энергоиздат, 1988. – 376 с.
5. Теплоизоляция. Материалы, конструкции, технологии: Справочное пособие / Гл. ред Кочергин С.М. – М.: Стройинформ, 2008. – 440 с.
6. Шойхет Б.М. Основные положения СП 61.13330.2012. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов // Инженерные системы «АВОК – Северо-Запад», 2013, № 1. – С. 36-39.
7. Ахмерова Г.М., Хисамеев Б.Г. Расчёт теплоизоляции с помощью программы «ТЕХНОНИКОЛЬ» // Сб. научных трудов международной научно-практической конференции «Вопросы образования и науки: теоретический и методический аспекты». – Тамбов, 2015. – С. 140-141.
8. Толстова Ю.И., Туманова А.Э. Проблемы расчёта тепловой изоляции трубопроводов систем теплоснабжения // Сб. научных трудов «Интеграция, партнерство и инновации в строительной науке и образовании». – М.: МГСУ, 2015. – С. 591-596.

Akhmerova G.M. – candidate of pedagogical sciences, associate professor

E-mail: akhmerovaag@mail.ru

Fedorov A.V. – student

E-mail: alexallavol@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

The influence of soil moisture on heat losses of pipes in the impassable channels

Resume

Flooding is a sensitive issue for many cities. 1108 cities of Russia flooded the earth 792 cities. Kazan, dissected by river valleys of the Kazanka River, the Knoxes, Kunderki, Salt, and a quarter of the territory is in a constant state of flooding. Geologists have concluded: the ground water is much higher – the groundwater level from 0 to 3 m. Such conditions can significantly affect heat losses of underground heat. The thermal conductivity of soil is not constant, it depends on the humidity. To calculate heat losses through insulated surface of heat pipelines for underground laying in impassable channels were selected two types of insulation: mineral wool

plates on synthetic binding M-75 and mats from super thin glass fibers without binder. The analysis of heat losses through insulated surface of pipelines of thermal networks for different modes of operation of heat pipes with simultaneous wetting of the soil from 0 to 48 %. The dependence of heat loss from the moisture of the soil, a kind of thermal insulation and modes of operation. Comparison of the obtained results with normative values.

Keywords: heat insulation materials, heat loss piping.

Reference list

1. A quarter of Kazan is in a constant flooding. URL: <http://www.business-gazeta.ru/article/57844/free>.
2. Ivanov V.V., Bucharov N.V., Vasilenko V.V. The Effect of wetting of the insulation and ground on heat losses of underground heat pipeline // *Novosti teplosnabzheniya*, 2002, № 7. – P. 32-33.
3. Heating and ventilation. Course and diploma design / Under the editorship of Professor B. M. Khrustalev. – M.: Publishing house ASB, 2008. – 784 p.
4. Balanina I.V., Vitale V.P., Gromov N. To. Water calorific nets. – M.: Energoizdat, 1988. – 376 p.
5. Insulation. Materials, design, technology: reference manual / CH. ed S.M. Kochergin. – M.: Stroyinform, 2008. – 440 p.
6. Shoykhet M.B. Main provisions of the SP 61.13330.2012. Thermal insulation of equipment and pipelines // *Inzhenernye sistemy AVOK Severo-Zapad*, 2013, № 1. – P. 36-39.
7. Akhmerova G. M., Khisameev B. G., Calculation of thermal insulation by means of the program «TEKHNONIKOL» // *Proc. scientific works of the international scientific-practical conference «Education and science: theoretical and methodological aspects»*. – Tambov, 2015. – P. 140-141.
8. Tolstova Y.I., Tumanova A.E. Problems of calculation of thermal insulation of pipelines of heat supply systems // *Proc. scientific papers «Integration, partnership and innovations in construction Sciences and education»*. – M.: MGSU, 2015. – P. 591-596.