

Определение потерь тепла в тепловых сетях

Дзюба А.В.

кафедра «Промышленная теплоэнергетика»,)

В данной работе обобщены некоторые результаты проведенных нами обследований участков тепловых сетей (ТС) системы теплоснабжения жилищно-коммунальной сферы с анализом существующего уровня потерь тепловой энергии в тепловых сетях. Работа выполнялась в различных регионах РФ, как правило, по просьбе руководства ЖКХ. Значительный объем исследований проводился также в рамках Проекта передачи ведомственного жилого фонда, связанного с кредитом Мирового Банка.

Определение потерь тепла при транспорте теплоносителя является важной задачей, результаты решения которой оказывают серьезное влияние в процессе формирования тарифа на тепловую энергию (ТЭ). Поэтому знание этой величины позволяет также правильно выбирать мощности основного и вспомогательного оборудования ЦТП и, в конечном счете, источника ТЭ. Величина тепловых потерь при транспорте теплоносителя может стать решающим фактором при выборе структуры системы теплоснабжения с возможной ее децентрализацией, выборе температурного графика ТС и др. Определение реальных тепловых потерь и сравнение их с нормативными значениями позволяет обосновать эффективность проведения работ по модернизации ТС с заменой трубопроводов и/или их изоляции.

Зачастую величина относительных тепловых потерь принимается без достаточных на то обоснований. На практике задаются значениями относительных тепловых потерь часто кратными пяти (10 и 15%). Следует отметить, что в последнее время все больше муниципальных предприятий проводят расчеты нормативных тепловых потерь [1], которые, на наш взгляд, и должны определяться в обязательном порядке. Нормативные потери тепла напрямую учитывают основные влияющие факторы: длину трубопровода, его диаметр и температуры теплоносителя и окружающей среды. Не учитывают только фактическое состояние изоляции трубопроводов. Нормативные тепловые потери должны рассчитываться для всей ТС с определением потерь тепла с утечками теплоносителя и с поверхности изоляции всех трубопроводов, по которым осуществляется теплоснабжение от имеющегося источника тепла. Причем эти расчеты должны выполняться как в плановом (расчетном) варианте с учетом среднестатистических данных по температуре наружного воздуха, грунта, продолжительности отопительного периода и т.д., так и уточняться в конце его по фактическим данным указанных параметров, в том числе с учетом фактических температур теплоносителя в прямом и обратном трубопроводе.

Однако, даже имея правильно определенные средние нормативные потери по всей городской ТС, нельзя эти данные переносить на отдельные ее участки, как это зачастую делается, например, при определении величины присоединенной тепловой нагрузки и выборе мощностей теплообменного и насосного оборудования строящегося или модернизируемого ЦТП. Необходимо их рассчитать для данного конкретного участка ТС, иначе можно получить существенную ошибку. Так, например, при определении нормативных потерь тепла для двух произвольно выбранных нами микрорайонов одного из городов Красноярской области, при примерно одинаковой их расчетной присоединенной тепловой нагрузке одного из них они составили 9,8%, а другого - 27%,

т.е. оказались в 2,8 раза большими. Средняя же величина тепловых потерь по городу, принимаемая при проведении расчетов, - 15%. Таким образом, в первом случае тепловые потери оказались в 1,8 раза ниже, а в другом - в 1,5 раза выше средних нормативных потерь. Столь большая разница легко объясняется, если разделить количество переданного за год тепла на площадь поверхности трубопровода, через которую происходит потеря тепла. В первом случае это соотношение равно 22,3 Гкал/м², а во втором - только 8,6 Гкал/м², т.е. в 2,6 раза больше. Аналогичный результат можно получить, просто сравнив материальные характеристики участков тепловой сети.

Вообще же ошибка, при определении потерь тепла при транспорте теплоносителя на конкретном участке ТС по сравнению со средним значением, может быть очень большой.

Таблица 1. Потери тепла с поверхности изоляции на 5 участках тепловой сети.

№ участка	Участок № 1	Участок № 2	Участок № 3	Участок № 4	Участок № 5
Относительные фактические потери тепла, %	1,8	49,0	45,5	7,3	72,8
Разность температур ($t_{пр} - t_{обр}$) в начальной точке, °С	13,5	5,7	5,8	12,8	14,8
Средняя скорость теплоносителя в трубопроводе, м/с	0,77	0,37	0,3	0,75	0,2
Коэффициент повышения фактических потерь тепла над нормативными	1,34	1,57	1,42	1,64	1,57

В табл. 1 представлены результаты обследования 5 участков ТС г. Тюмень (кроме расчетов нормативных потерь тепла, нами также были выполнены измерения фактических тепловых потерь с поверхности изоляции трубопроводов, см. ниже). Первый участок представляет собой магистральный участок ТС с большими диаметрами трубопровода

и соответственно большими расходами теплоносителя. Все остальные участки ТС - тупиковые. Потребителями ТЭ на втором и третьем участке являются 2-х и 3-этажные здания, расположенные по двум параллельным улицам. Четвертый и пятый участки также имеют общую тепловую камеру, но если в качестве потребителей на четвертом участке имеются компактно расположенные относительно крупные четырех-и пятиэтажные дома, то на пятом участке - это частные одноэтажные дома, расположенные вдоль одной протяженной улицы.

Как видно из табл. 1, относительные реальные потери тепла на обследованных участках трубопроводов зачастую составляют почти половину от переданного тепла (участки № 2 и № 3). На участке № 5, где расположены частные дома, более 70% тепла теряется в окружающую среду, несмотря на то, что коэффициент превышения абсолютных потерь над нормативными значениями примерно такой же, как на остальных участках. Наоборот, при компактном расположении относительно крупных потребителей, потери тепла резко снижаются (участок № 4). Средняя скорость теплоносителя на этом участке составляет 0,75 м/с. Все это приводит к тому, что фактические относительные тепловые потери на этом участке более чем в 6 раз ниже, чем на остальных тупиковых участках, и составили всего 7,3%.

С другой стороны, на участке № 5 скорость теплоносителя в среднем составляет 0,2 м/с, причем на последних участках теплосети (в таблице не показано) из-за больших диаметров трубы и малых значений расходов теплоносителя она составляет всего 0,1-0,02

м/с. С учетом относительно большого диаметра трубопровода, а следовательно, и поверхности теплообмена, в грунт уходит большое количество тепла.

При этом надо иметь в виду, что количество тепла, теряемое с поверхности трубы, практически не зависит от скорости движения сетевой воды, а зависит только от ее диаметра, температуры теплоносителя и состояния изоляционного покрытия. Однако относительно количества передаваемого по трубопроводам тепла,

тепловые потери напрямую зависят от скорости теплоносителя и резко возрастают при ее снижении. В предельном случае, когда скорость теплоносителя составляет сантиметры в секунду, т.е. вода практически стоит в трубопроводе, большая часть ТЭ может теряться в окружающую среду, хотя потери тепла могут и не превышать нормативные.

Таким образом, величина относительных тепловых потерь зависит от состояния изоляционного покрытия, и в значительной степени определяется также протяженностью ТС и диаметром трубопровода, скоростью движения теплоносителя по трубопроводу, тепловой мощностью присоединенных потребителей. Поэтому наличие в системе теплоснабжения мелких, удаленных от источника потребителей ТЭ может привести к росту относительных тепловых потерь на многие десятки процентов. Наоборот, в случае компактной ТС с крупными потребителями, относительные потери могут составлять считанные проценты от отпущенного тепла. Все это следует иметь в виду при проектировании систем теплоснабжения. Например, для рассмотренного выше участка № 5, возможно, более экономично было бы в частных домах установить индивидуальные газовые теплогенераторы.

В приведенном выше примере нами были определены, наряду с нормативными, фактические потери тепла с поверхности изоляции трубопроводов. Знание реальных тепловых потерь очень важно, т.к. они, как показал опыт, могут в несколько раз превышать нормативные значения. Такая информация позволит иметь представление о фактическом состоянии тепловой изоляции трубопроводов ТС, определить участки с наибольшими тепловыми потерями и рассчитать экономическую эффективность замены трубопроводов. Кроме того, наличие такой информации позволит обосновать реальную стоимость 1 Гкал отпущенного тепла в региональной энергетической комиссии. Однако, если тепловые потери, связанные с утечкой теплоносителя, можно определить по фактической подпитке ТС при наличии соответствующих данных на источнике ТЭ, а при их отсутствии рассчитать их нормативные значения, то определение реальных потерь тепла с поверхности изоляции трубопроводов является весьма трудной задачей.

В соответствии с [2] для определения фактических тепловых потерь на испытываемых участках двухтрубной водяной ТС и сравнения их с нормативными значениями, должно быть организовано циркуляционное кольцо, состоящее из прямого и обратного трубопроводов с перемычкой между ними. Все ответвления и отдельные абоненты должны быть от него отсоединены, а расход на всех участках ТС должен быть одинаков. При этом минимальный объем испытываемых участков по материальной характеристике должен быть не менее 20% материальной характеристики всей сети, а перепад температур теплоносителя должен составлять не менее 8 ОС. Таким образом, должно образоваться кольцо большой протяженности (несколько километров).

Учитывая практическую невозможность проведения испытаний по данной методике и выполнения ряда ее требований, в условиях отопительного периода, а также сложность и громоздкость, нами предложена и с успехом много лет используется методика тепловых испытаний, основанная на простых физических законах теплопередачи. Суть ее

заключается в том, что, зная снижение («сбег») температуры теплоносителя в трубопроводе от одной точки измерения до другой при известном и неизменном его расходе, легко вычислить потерю тепла на данном участке ТС. Затем при конкретных температурах теплоносителя и окружающей среды в соответствии с [2] полученные значения тепловых потерь пересчитываются на среднегодовые условия и сравниваются с нормативными, также приведенными к среднегодовым условиям для данного региона с учетом температурного графика теплоснабжения. После этого определяется коэффициент превышения фактических потерь тепла над нормативными значениями.

Измерение температуры теплоносителя

Учитывая очень малые значения перепада температур теплоносителя (десятые доли градуса), повышенные требования предъявляются как к измерительному прибору (шкала должна быть с десятими долями ОС), так и тщательности самих измерений. При измерении температуры поверхность труб должна быть зачищена от ржавчины, а трубы в точках проведения измерений (на концах участка) желательно иметь одного диаметра (одинаковой толщины). С учетом вышесказанного температура теплоносителей (прямого и обратного трубопроводов) должна измеряться в местах разветвления ТС (обеспечение постоянного расхода), т.е. в тепловых камерах и колодцах.

Измерение расхода теплоносителя

Расход теплоносителя должен быть определен на каждом из неразветвленных участков ТС. При проведении испытаний иногда удавалось использовать портативный ультразвуковой расходомер. Сложность непосредственного измерения расхода воды прибором связана с тем, что чаще всего обследуемые участки ТС расположены в непроходных подземных каналах, а в тепловых колодцах, из-за расположенной в нем запорной арматуры, не всегда возможно соблюсти требование, касающееся необходимых длин прямолинейных участков до и после места установки прибора. Поэтому для определения расходов теплоносителя на обследуемых участках теплотрассы наряду с непосредственными измерениями расходов в некоторых случаях использовались данные с теплосчетчиков, установленных на зданиях, присоединенных к этим участкам сети. При отсутствии в здании теплосчетчиков расходы воды в подающем или обратном трубопроводах измерялись переносным расходомером на вводе в здания.

В случае невозможности непосредственно измерить расход сетевой воды для определения расходов теплоносителя использовались расчетные его значения.

Таким образом, зная расход теплоносителя на выходе из котельных, а также на других участках, включая здания, присоединенные к обследуемым участкам теплосети, можно определить расходы практически на всех участках ТС.

Пример использования методики

Следует также отметить, что проще всего, удобнее и точнее проводить подобное обследование при наличии теплосчетчиков у каждого потребителя или хотя бы у большинства. Лучше, если теплосчетчики имеют часовой архив данных. Получив с них необходимую информацию, легко определить как расход теплоносителя на любом участке ТС, так и температуру теплоносителя в ключевых точках с учетом того, что, как правило, здания расположены в непосредственной близости от тепловой камеры или колодца. Таким образом, нами были выполнены расчеты тепловых потерь в одном из микрорайонов г. Ижевска без выезда на место. Результаты получились примерно такими

же, как и при обследовании ТС в других городах со сходными условиями - температурой теплоносителя, срока эксплуатации трубопроводов и др.

Многочисленные измерения фактических тепловых потерь с поверхности изоляции трубопроводов ТС в различных регионах страны указывают на то, что потери тепла с поверхности трубопроводов, находящиеся в эксплуатации 10-15 и более лет, при прокладке труб в непроходных каналах в 1,5-2,5 раза превышают нормативные значения. Это в случае, если нет видимых нарушений изоляции трубопровода, отсутствует вода в лотках (по крайней мере, во время проведения измерений), а также косвенных следов ее пребывания, т.е. трубопровод находится в видимом нормальном состоянии. В случае же, когда вышеуказанные нарушения присутствуют, фактические потери тепла могут превысить нормативные значения в 4-6 и более раз.

В качестве примера приведены результаты обследования одного из участков ТС, теплоснабжение по которому осуществляется от ТЭЦ г. Владимира (табл. 2) и от котельной одного из микрорайонов этого города (табл. 3). Всего в процессе работы было обследовано около 9 км теплотрассы из 14 км, которые планировались к замене на новые, предварительно изолированные трубы в пенополиуретановой оболочке. Замене подлежали участки трубопроводов, теплоснабжение по которым осуществляется от 4 муниципальных котельных и от ТЭЦ.

Анализ результатов обследования показывает, что потери тепла на участках с теплоснабжением от ТЭЦ в 2 раза и более превышают тепловые потери на участках теплосети, относящихся к муниципальным котельным. В значительной степени это связано с тем, что срок службы их зачастую составляет 25 лет и более, что на 5-10 лет больше срока службы трубопроводов, теплоснабжение по которым осуществляется от котельных. Второй причиной лучшего состояния трубопроводов, на наш взгляд, является то, что протяженность участков, обслуживаемых работниками котельной, относительно небольшая, расположены они компактно и руководству котельных проще следить за состоянием теплосети, вовремя обнаруживать утечки теплоносителя, проводить ремонтные и профилактические работы. На котельных имеются приборы для определения расхода подпиточной воды, и в случае заметного увеличения расхода «подпитки» можно обнаружить и устранить образовавшиеся утечки.

Таким образом, наши измерения показали, что предназначенные к замене участки ТС, особенно участки, присоединенные к ТЭЦ, действительно находятся в плохом состоянии в отношении повышенных потерь тепла с поверхности изоляции. В тоже время анализ результатов подтвердил полученные при других обследованиях данные об относительно невысоких скоростях теплоносителя (0,2-0,5 м/с) на большинстве участков ТС. Это приводит, как отмечено выше, к увеличению тепловых потерь и если может быть как-то оправданным при эксплуатации старых трубопроводов, находящихся в удовлетворительном состоянии, то при модернизации ТС (в большинстве своем) необходимо уменьшение диаметра заменяемых труб. Это тем более важно с учетом того, что предполагалось при замене старых участков ТС на новые использовать предварительно изолированные трубы (того же диаметра), что связано с большими затратами (стоимость труб, запорной арматуры, отводов и т.д.), поэтому уменьшение диаметра новых труб до оптимальных значений может существенно снизить общие затраты.

Изменение диаметров трубопроводов требует проведения гидравлических расчетов всей ТС.

Таблица 2. Характеристика состояния участков теплотрассы, теплоснабжение по которым осуществляется от ТЭЦ г. Владимира.

Участок	Диаметр, м	Длина, м	Потери нормативные, Мкал/ч	Расход теплоносителя, м ³ /ч	Потери измеренные, Мкал/ч	Коэффициент повышения потерь над нормативными	Скорость воды в трубопроводе, м/с
ТК116 – УТ2	159	90	9,08	22,5	69,21	7,6	0,31
УТ2 – УТ4	159	164	16,55	9	42,74	2,6	0,13
УТ1 – УТ2	273	150	21,23	206,38	163,97	7,7	0,98
УТ1 – ТК188а	325	180	28,53	146	123,54	4,3	0,49
ТК188 – УТ1	273	295	41,75	200	116,88	2,8	0,95
УТ4 – ТК54	273	330	46,70	118,2	340,10	7,3	0,56
УТ18 – УТ19	219	120	14,72	9,67	37,4	2,5	0,07
УТ7 – УТ30	159	60	6,06	7,68	13,7	2,3	0,11
УТ30 – УТ31	133	120	11,09	7,68	33,6	3,0	0,15
УТ32 – УТ33	108	120	9,96	2,2	21,4	2,2	0,07
УТ11 – УТ11а	273	20	2,83	81,1	12,25	4,3	0,39
УТ11а – УТ12	273	40	5,66	78,83	33,57	5,9	0,37
УТ12 – УТ13	273	74	10,47	44	62,14	5,9	0,21
УТ13 – УТ14	219	35	4,29	35,9	28,11	6,5	0,26
УТ14 – УТ15	219	30	3,68	31,5	29,34	8,0	0,23
УТ23 – УТ43	108	25	2,08	7,5	6,12	3,0	0,23
УТ43 – УТ44	108	55	4,57	5,52	11,32	2,5	0,17
УТ44 – УТ45	89	55	4,15	3,7	11,59	2,8	0,17
УТ45 – д20	76	114	7,96	2,05	13,94	1,8	0,13

Такие расчеты были выполнены применительно к ТС четырех муниципальных котельных, которые показали, что из 743 участков сети на 430 могут быть существенно снижены диаметры труб. Граничными условиями проведения расчетов были неизменный располагаемый напор на котельных (замена насосов не предусматривалась) и обеспечение напора у потребителей не менее 13 м. Экономический эффект только от снижения стоимости самих труб и запорной арматуры без учета остальных составляющих - стоимости оборудования (отводы, компенсаторы и т.д.), а также снижения потерь тепла из-за уменьшения диаметра трубы составил 4,7 млн руб.

Проведенные нами измерения потерь тепла на участке ТС одного из микрорайонов г. Оренбурга после полной замены труб на новые предварительно изолированные в пенополиуретано-вой оболочке, показали, что тепловые потери стали на 30% ниже нормативных.

Таблица 3. Характеристика состояния участков теплотрассы, теплоснабжение по которым осуществляется от котельной микрорайона г. Владимира.

Участок	Диаметр, м	Длина, м	Потери нормативные, Мкал/ч	Расход теплоносителя, м ³ /ч	Потери измеренные, Мкал/ч	Коэффициент повышения потерь над нормативными	Скорость воды в трубопроводе, м/с
УТ1 – УТ2	273	35	4,82	267,5	10,95	2,3	1,27
УТ2 – УТ3	273	102	14,06	259,7	27,23	1,9	1,23
УТ3 – УТ4	273	18	2,48	201,1	4,15	1,7	0,95
УТ4 – УТ5	273	74	10,20	197,2	27,93	2,7	0,94
УТ5 – УТ6	219	201	24,01	151,1	50,64	2,1	1,11
УТ6 – УТ7	219	33	3,94	76,5	10,00	2,5	0,56
УТ7 – УТ8	219	37	4,42	72,5	10,43	2,4	0,53
УТ8 – УТ9	219	81	9,68	59,5	21,14	2,2	0,44
УТ9 – УТ10	219	179	21,39	44,1	30,87	1,4	0,33
УТ10 – УТ11	219	46	5,50	30,6	11,01	2,0	0,23
УТ11 – УТ13	219	114	13,62	22,8	33,73	2,5	0,17
УТ13 – УТ14	219	76	9,08	15,04	23,86	2,6	0,11
УТ5 – УТ25	219	108	12,90	38,3	26,41	2,0	0,28
УТ25 – УТ26	159	94	9,24	28	17,18	1,9	0,39
УТ26 – УТ27	159	107	10,52	17,8	16,98	1,6	0,25
УТ27 – УТ28	133	70	6,30	8,1	14,34	2,3	0,16

Выводы

1. При проведении расчетов потерь тепла в ТС необходимо определять нормативные потери для всех участков сети в соответствии с разработанной методикой [1].
2. При наличии мелких и удаленных потребителей потери тепла с поверхности изоляции трубопроводов могут быть очень большими (десятки процентов), поэтому необходимо рассмотреть целесообразность альтернативного теплоснабжения данных потребителей.
3. Помимо определения нормативных тепловых потерь при транспорте теплоносителя по ТС необходимо определить на отдельных характерных участках ТС фактические потери, что позволит иметь реальную картину ее состояния, обоснованно выбирать участки, требующие замены трубопроводов, точнее рассчитывать стоимость 1 Гкал тепла.
4. Практика показывает, что скорости теплоносителя в трубопроводах ТС часто имеют низкие значения, что приводит к резкому увеличению относительных потерь тепла. В таких случаях при проведении работ, связанных с заменой трубопроводов ТС, следует стремиться к уменьшению диаметра труб, что потребует проведения гидравлических расчетов и наладки ТС, но позволит существенно снизить затраты на приобретение оборудования и значительно уменьшить потери тепла при эксплуатации ТС. Особенно это актуально при использовании современных предварительно изолированных труб. На наш взгляд близкими к оптимальным являются скорости теплоносителя 0,8-1,0 м/с.

Литература

1. «Методика определения потребности в топливе, электрической энергии и воде при производстве и передаче тепловой энергии и теплоносителей в системах коммунального теплоснабжения», Государственный комитет РФ по строительству и жилищно-коммунальному хозяйству, Москва. 2003, 79 с.

2. РД 34.09.255-97 «Методические указания по определению тепловых потерь в водяных сетях».