

DOI: 10.21122/1029-7448-2018-61-2-179-188

УДК 621.182, 176; 627.32

Оценка состояния и анализ повреждаемости трубопроводов тепловых сетей

Н. В. Пантелей¹⁾

¹⁾Белорусский национальный технический университет (Минск, Республика Беларусь)

© Белорусский национальный технический университет, 2018
Belarusian National Technical University, 2018

Реферат. Тепловые сети предназначены для транспортировки тепловой энергии от источников теплоты к потребителям. На балансе энергоснабжающих организаций ГПО «Белэнерго», входящего в состав Министерства энергетики Республики Беларусь, находится более 6500 км тепловых сетей в однотрубном исчислении. Анализ результатов комплексных обследований теплоснабжающих предприятий Беларуси показывает, что тепловые сети являются сегодня одним из самых ненадежных элементов системы теплоснабжения города. Основная причина нарушений в работе тепловых сетей (около 90 %) – локальная наружная коррозия, проявляющаяся в виде свищей и разрывов металла сетевых трубопроводов. Наиболее быстро, при прочих равных условиях, наружной коррозией поражаются те теплопроводы, в которых имеется прямой контакт незащищенной поверхности трубы с грунтом. Кроме того, при эксплуатации тепловых сетей возможны повреждения, связанные со срывом неподвижных опор, с разрывами корпусов чугунных задвижек, со срывом резьбы спускных кранов, с повреждениями компенсаторов и т. д. По данным статистических исследований ОРГРЭС, большая часть повреждений (до 70 %) трубопроводов в России (так же как и в Беларуси) связана с коррозией. Несмотря на расчетный срок эксплуатации трубопроводов (до 30 лет), источники централизованного теплоснабжения в России более чем на 70 % выработали свой ресурс. В связи с этим значительно выросли потери в теплосетях. Общий износ теплосетей Украины уже в 2010 г. составил 70 %, а потери в теплосетях доходят до 30 %. С каждым годом ситуация только усугубляется. Таким образом, наружная коррозия тепловых сетей является одним из основных факторов, определяющих надежность эксплуатации систем теплоснабжения.

Ключевые слова: тепловые сети, трубопроводы, наружная коррозия, удельная повреждаемость, надежность, срок эксплуатации

Для цитирования: Пантелей, Н. В. Оценка состояния и анализ повреждаемости трубопроводов тепловых сетей / Н. В. Пантелей // *Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ*. 2018. Т. 61, № 2. С. 179–188. DOI: 10.21122/1029-7448-2018-61-2-179-188

Assessment of the State and Analysis of Damageability of Heating Grids Pipelines

N. V. Panteley¹⁾

¹⁾Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. Heating grids are intended for transportation of thermal energy from heat sources to consumers. On the balance sheet of the power supply organizations of the state enterprise

Адрес для переписки

Пантелей Наталья Всеволодовна
Белорусский национальный технический университет
просп. Независимости, 65/2
220013, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.: +375 17 293-91-45
tes@bntu.by

Address for correspondence

Panteley Natal'ya V.
Belarusian National Technical University
65/2 Nezavisimosty Ave.,
220013, Minsk, Republic of Belarus
Tel.: +375 17 293-91-45
tes@bntu.by

“Belenergo”, which is part of the Ministry of Energy of the Republic of Belarus, there is more than 6500 km of heating grids in one-pipe terms. Analysis of the results of complex surveys of heat supply enterprises in Belarus shows that heating grids are one of the most unreliable elements of the heating system of the city today. The main reason of disturbances in operation of heating grids (about 90 %) is the local external corrosion that manifests itself in the form of fistulas and breaks of metal of network pipelines. The most quickly, all other things being equal, external corrosion affects those pipelines in which there is a direct contact of the unprotected surface of the pipe with the ground. In addition, in the process of operation of heating grids possible damages might happen that are associated with the breakdown of stationary pillars, with the gaps of the buildings cast iron valves, with the breakdown of the thread of the discharge valves, with damage of compensators, etc. According to ORGRES statistical studies, most of the damages (up to 70 %) of pipelines in Russia (as well as in Belarus) are associated with corrosion. Despite the estimated service life of the pipelines (up to 30 years), the sources of centralized heat supply in Russia pipes are 70 % worn out. With this regard, losses significantly increased in heating grids. General wear and tear of the heating grids of Ukraine in 2010 was 70 %, while losses in heating grids reached up to 30 %. Every year, the situation will only get worse. Thus, external corrosion of heating grids is one of the main factors determining reliability of operation of systems of heat supply.

Keywords: heating grids, pipelines, external corrosion, specific damageability, reliability, service life

For citation: Panteley N. V. (2018) Assessment of the State and Analysis of Damageability of Heating Grids Pipelines. *Energetika. Proc. CIS Higher Educ. Inst. and Power Eng. Assoc.* 61 (2) 179–188. DOI: 10.21122/1029-7448-2018-61-2-179-188 (in Russian)

Введение

Тепловые сети, являясь составной частью системы централизованного теплоснабжения современных городов, представляют собой сложные инженерные сооружения, предназначенные для транспортировки тепловой энергии от источников теплоты к потребителям [1]. Основными элементами тепловых сетей являются:

- трубопровод, состоящий из стальных труб, соединенных между собой с помощью сварки;
- изоляционная конструкция, предназначенная для защиты трубопровода от наружной коррозии и тепловых потерь;
- несущая конструкция, воспринимающая вес трубопровода и усилия, возникающие при его эксплуатации.

Трубы – наиболее ответственные элементы трубопровода и должны отвечать следующим требованиям:

- достаточная прочность и герметичность при максимальных значениях давления и температуры теплоносителя;
- низкий коэффициент температурных деформаций, обеспечивающий небольшие термические напряжения при переменном тепловом режиме тепловой сети;
- малая шероховатость внутренней поверхности;
- антикоррозионная стойкость;
- высокое термическое сопротивление стенок трубы, способствующее сохранению теплоты и температуры теплоносителя;

- неизменность свойств материала при длительном воздействии высоких температур и давлений;
- простота монтажа, надежность соединения труб и др.

Анализ результатов комплексных обследований теплоснабжающих предприятий Республики Беларусь показывает, что тепловые сети являются сегодня одним из самых ненадежных элементов системы теплоснабжения города. Имеющиеся стальные трубы не удовлетворяют в полной мере всем предъявляемым требованиям, однако их механические свойства, простота, надежность и герметичность соединений (сваркой) обеспечили им преимущественное применение в тепловых сетях [2].

В настоящее время основная проблема, встающая при эксплуатации трубопроводов тепловых сетей, – коррозия. Она является одним из основных факторов, определяющих надежность эксплуатации систем теплоснабжения. Причем трубопроводы подвергаются воздействию как наружной, так и внутренней коррозии.

Виды наружной коррозии тепловых сетей

Основная причина нарушений работы тепловых сетей – локальная наружная коррозия атмосферного типа, проявляющаяся в виде свищей и разрывов металла сетевых трубопроводов и вызванная как длительным сроком эксплуатации, так и состоянием стыков плит перекрытий каналов.

Определяющие факторы проявления локальной наружной коррозии следующие:

- влияние влаги и блуждающих токов из-за недостатков в строительных конструкциях;
- отсутствие катодных станций;
- низкое качество заделки стыков при строительстве каналов;
- длительная эксплуатация инженерных сооружений тепловых сетей;
- неудовлетворительное качество гидроизоляции перекрытий;
- нарушение герметичности стыковых соединений строительных конструкций, так как при длительной эксплуатации строительные конструкции (лотки, своды) подвержены механическим подвижкам (проседание грунта, воздействие транспорта), которые разрушают цементные заделки.

Атмосферная коррозия связана с наличием на поверхности металла видимой влажной пленки. Наиболее заметна такая коррозия в тепловых камерах, в которых удельная повреждаемость в 10–20 раз больше, чем на остальных участках трубопроводов [3, 4]. Следует отметить, что скорость коррозии резко возрастает при влажности 55–65 %. Основная причина этого – наличие конденсата, образующегося на холодных перекрытиях, находящихся у поверхности. Капли воды попадают на трубопроводы через неплотности крышек люков, и как следствие – интенсивная коррозия металла трубопровода. При расположении камер под дорогами на процесс коррозии оказывает влияние еще и соль, попадающая на трубопроводы вместе с водой.

Еще одна причина атмосферной коррозии – попадание на трубопровод капель воды с перекрытий. В трубопроводах неизбежны протечки воды

через сальниковые уплотнения задвижек. Это приводит к тому, что в таких местах влажность воздуха может достигать 100 %, что в свою очередь при высокой температуре теплоносителя приводит к появлению конденсата на поверхности металла трубопровода. Данному виду мокрой атмосферной коррозии наиболее подвержены нижние участки трубопроводов, обращенные к грунту.

Также следует обратить внимание еще на один вид коррозии. Это почвенная коррозия металла трубопровода под слоем изоляции. При попадании капель влаги с перекрытий на поверхность изолированного трубопровода образуются участки с различной влажностью по длине трубопровода. Это приводит к неодинаковой кислородной проницаемости, так как скорость конвекционной и диффузионной подачи кислорода по порам, наполненным воздухом, на несколько порядков выше, чем скорость подачи кислорода по порам с жидкостью.

Трубопроводы тепловых сетей в процессе эксплуатации подвергаются также электрической коррозии, возникающей при воздействии на них электрического тока, движущегося в грунте. В грунт токи попадают в результате утечек из рельсов электрифицированного транспорта – их называют блуждающими. Попадая на трубопровод, они движутся по нему, а вблизи тяговой подстанции выходят из трубопровода в грунт, образуя очаги электрокоррозии [5].

Анализ повреждаемости трубопроводов в Беларуси

Анализ работы трубопроводов тепловых сетей, по данным учета в филиалах ГПО «Белэнерго», показал, что в последние годы в Беларуси прослеживается динамика увеличения общего числа повреждений труб различных диаметров (магистральных, квартальных, распределительных), используемых в тепловых сетях. Некоторое снижение повреждений с 2727 до 1671 наблюдалось в период с 2003 по 2008 г., но начиная с 2008-го, число повреждений в тепловых сетях стало значительно расти. Так, в 2008 г. общее число повреждений составило 1671, в 2009 г. – 1756, в 2010 г. – 1845, в 2011 г. – 2030, в 2012 г. – 2246, в 2013 г. – 2455, в 2014 г. – 2586, в 2015 г. – 2436 случаев (рис. 1).

По данным ГПО «Белэнерго», основной причиной отказов и повреждений в работе тепловых сетей является локальная наружная коррозия. Эта цифра постоянно увеличивается. Сравнительный анализ повреждений показывает, что наружная коррозия, как одна из составляющих причин отказов, в последние годы начала расти и достигла 75 % в 2006 г. и 85 % в 2007-м. К настоящему времени эта цифра достигла практически 90 %. Наибольшая общая повреждаемость сетей от наружной коррозии в сравнении с другими причинами приходится на г. Минск (92–93 %). Это в первую очередь связано с тем, что минские теплосети являются весьма сложным комплексом с непростым режимом эксплуатации и имеют наибольшую протяженность.

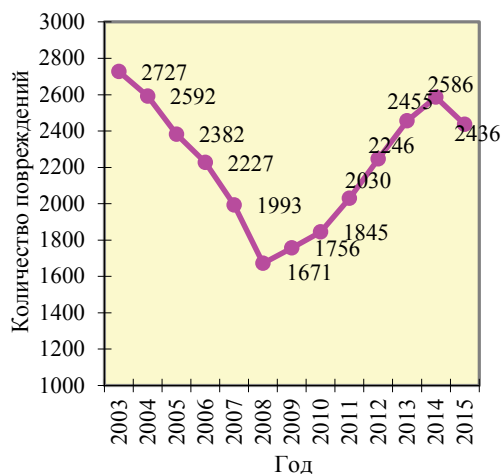


Рис. 1. Количество повреждений трубопроводов за 2003–2015 гг.

Fig. 1. Number of pipeline damages for 2003–2015

Одной из характеристик отказов оборудования теплосетей можно назвать удельную повреждаемость трубопроводов, которая представляет собой отношение общего числа повреждений к протяженности тепловых сетей. В последние годы наблюдается рост удельной повреждаемости трубопроводов, возросшей с 0,310 в 2008 г. до 0,435 в 2014-м. В 2015 г. произошло некоторое снижение данного показателя до 0,399 (рис. 1). Это можно объяснить значительным и стабильным ростом доли ПИ-трубопроводов в общем объеме тепловых сетей: 2010 г. – 13,87 %, 2011 г. – 16,20 %, 2012 г. – 20,80 %, 2013 г. – 23,50 %, 2014 г. – 26,40 %, 2015 г. – 28,63 %. Значения удельной повреждаемости в период 2010–2014 гг. приводятся в табл. 1.

Таблица 1

Протяженность и удельная повреждаемость тепловых сетей

The length and specific damageability of heating grids

Наименование РУП-обл-энерго	Протяженность тепловых сетей L , км, по годам (в том числе ПИ-трубы)					Удельная повреждаемость на 1 км тепловых сетей (n/L) по годам				
	2010	2011	2012	2013	2014	2010	2011	2012	2013	2014
Брест-энерго	491,50 (87,40)	510,80 (100,00)	521,10 (117,00)	531,65 (131,00)	548,00 (156,50)	0,240	0,327	0,307	0,430	0,392 ↓
Витебск-энерго	766,20 (143,50)	819,28 (169,00)	846,46 (184,00)	859,77 (205,00)	889,701 (224,7,000)	0,320	0,390	0,488	0,501	0,450 ↓
Гомель-энерго	674,30 (143,00)	728,50 (190,00)	754,70 (215,00)	748,65 (226,00)	759,16 (250,45)	0,190	0,196	0,216	0,248	0,300 ↑
Гродно-энерго	559,60 (143,20)	588,03 (168,00)	614,47 (189,00)	629,20 (213,00)	645,78 (244,10)	0,250	0,293	0,380	0,325	0,345 ↑
Минск-энерго	2690,20 (155,60)	2653,20 (189,00)	2362,50 (324,00)	2431,00 (428,00)	2454,22 (511,21)	0,410	0,407	0,470	0,487	0,546 ↑
Могилев-энерго	563,20 (123,40)	577,91 (136,36)	602,21 (153,40)	618,10 (164,40)	632,83 (179,70)	0,140	0,246	0,259	0,353	0,281 ↓
Итого по ГПО «Бел-энерго»	5741,30 (796,30)	5877,70 (953,00)	5701,40 (1184,00)	5818,50 (1368,00)	5923,71 (1566,60)	0,321	0,345	0,394	0,420	0,435 ↑

Детальный анализ возрастной структуры тепловых сетей указывает еще на одну проблему – старение сетей. Так, более 40 % эксплуатируемых теплосетей имеют срок службы больше назначенного (свыше 25 лет), полностью амортизированы и подлежат замене. Несмотря на ежегодный рост замены трубопроводов тепловых сетей, ситуация кардинально не меняется, и в ближайшие годы количество сетей, отработавших назначенный срок службы, составит более половины. Данные о протяженности тепловых сетей сроком эксплуатации более 25 лет и их процентное соотношение к общей протяженности тепловых сетей по РУП-облэнерго и по ГПО «Белэнерго» приведены в табл. 2.

Таблица 2

Протяженность тепловых сетей со сроком эксплуатации более 25 лет

Length of heating grids with a service life more than 25 years

Наименование РУП-облэнерго	Протяженность тепловых сетей, км (% к общей протяженности)					
	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Брестэнерго	180,54	206,60	209,80 (40,30)	215,08 (40,45)	229,25 (41,38)	235,20 (40,48↓)
Витебскэнерго	134,71	143,60	150,37 (17,80)	162,90 (18,95)	162,416 (18,250)	169,70 (18,76↑)
Гомельэнерго	112,10	165,80	170,70 (22,60)	178,50 (23,80)	184,20 (24,20)	250,10 (31,80↑)
Гродноэнерго	265,39	283,30	289,90 (47,20)	289,70 (46,70)	291,00 (45,10)	294,10 (44,20↓)
Минскэнерго	324,17	276,30	1568,80 (66,30)	1561,90 (64,20)	1510,76 (61,55)	1558,51 (62,50↑)
Могилевэнерго	194,34	194,80	212,06 (35,20)	226,20 (36,60)	237,20 (37,48)	245,75 (38,30↑)
ГПО «Белэнерго»	1211,30	1270,40	2601,63 (45,60)	2635,80 (45,30)	2615,19 (44,15)	2757,32 (45,25↑)

Анализ данных табл. 2 показывает, что, несмотря на существенные объемы капитальных ремонтов теплосетей с заменой трубопроводов, «балансовое» старение с каждым годом увеличивается. Высокий показатель изношенности сетей наблюдается на РУП «Минскэнерго» (62,50 %), РУП «Гродноэнерго» (44,20 %), РУП «Брестэнерго» (40,48 %). В среднем по ГПО «Белэнерго» эта цифра составляет 45,25 %. Данные о возрастном составе тепловых сетей по состоянию на 01.01.2017, находящихся на балансе ГПО «Белэнерго», приведены на рис. 2.

Следует отметить, что локальная наружная коррозия наблюдается на трубопроводах не только после наработки более 25 лет, но и намного раньше – в зависимости от качества строительных работ. При обследованиях (например, в минских теплосетях) выявились случаи, когда из-за удешевления строительно-монтажных работ не всегда производилась гидроизоляция нижних лотков каналов, тем самым создавались условия затопливается и повышения влажности в каналах от грунтовых вод. Так, по данным 2006 г., из 16 отказов в работе оборудования теплосетей 11 из них

произошли на трубах, эксплуатируемых 25 лет и более (68,75 %), четыре отказа – после срока службы от 15 до 20 лет (25,00 %) и один отказ – после 10 лет эксплуатации (60,25 %).

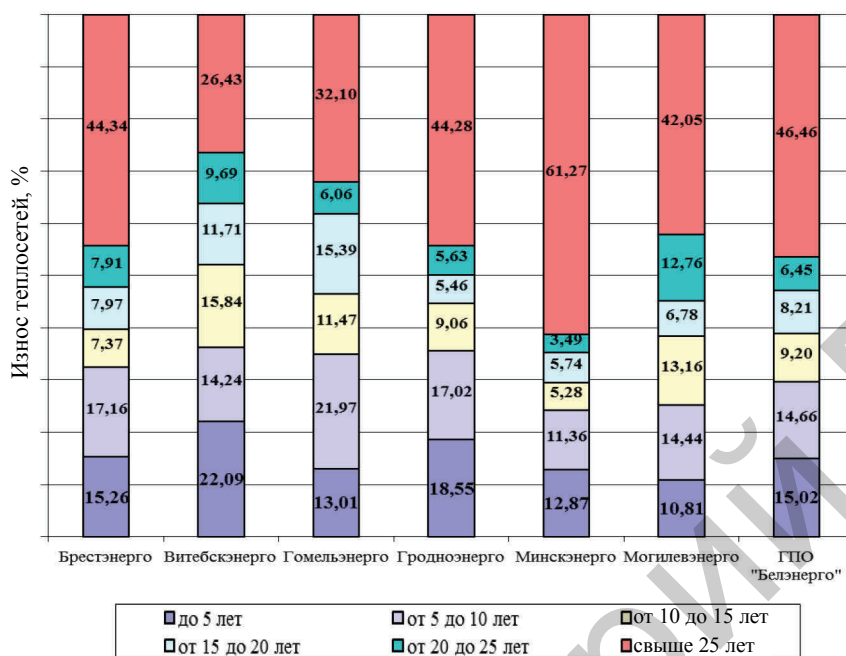


Рис. 2. Возрастной износ тепловых сетей по состоянию на 01.01.2017, находящихся на балансе предприятий ГПО «Белэнерго»

Fig. 2. Age depreciation of heating grids as of 01.01.2017, which are on the balance sheet of enterprises of "Belenergo" public electricity production association

Особенно активно коррозионные процессы развиваются на подающем трубопроводе (до 87,5 %), что связано с более высокой температурой теплоносителя. В частности, из-за вскипания воды в пристенном слое и внутри продуктов коррозии происходит их разрушение и проникновение воды к не прокорродированным слоям металла. В 14 случаях повреждения обнаруживались на трубопроводах прямой сетевой воды и в двух случаях – на трубопроводах обратной сетевой воды, что составляет 87,5 и 12,5 % соответственно (данные 2006 г.); в 2002 г. шесть случаев приходилось на подающие трубы и лишь один случай – на обратный трубопровод (87,5 и 14,3 %).

Одной из конструктивных особенностей трубопровода является способ его прокладки – каналный или бесканальный. При бесканальной прокладке трубопровод (в частности, его изоляция) имеет прямой контакт с окружающим грунтом. Следует отметить, что тепломагистрали в основном выполнены только в каналном или наружном исполнении, следовательно, атмосферная и почвенная коррозии для них являются преобладающими.

Анализируя данные ГПО «Белэнерго», можно отметить, что в большинстве случаев наружная коррозия имеет локальный характер и сосредотачивается на участках труб длиной 1,0–1,5 м, охватывая не более 25–35 % пе-

риметра трубы, главным образом в нижней части. В проходных каналах и камерах коррозия верхней части труб происходит в результате интенсивной капели с перекрытия, а нижней части – при подтоплении и заносе грунтом. Удельная повреждаемость уменьшается с увеличением толщины стенок труб. Наблюдается повреждаемость в линейной части теплопроводов и у неподвижных опор. Высокая удельная повреждаемость подземных теплопроводов может возникать главным образом из-за плохого качества применяемых антикоррозионных покрытий наружной поверхности.

Основным недостатком как существующих, так и ранее применяемых подземных тепловых сетей является гидрофильность тепловой изоляции. Проникающая в изоляцию влага вызывает коррозионные разрушения труб, увеличивает тепловые потери теплопроводами. На участках примыкания теплопроводов к теплофикационным камерам наблюдаются оплывание мастичного слоя, полное расслаивание гидроизоляции и увлажнение тепловой изоляции. Вскрытия и обследования показали, что наиболее частое повреждение изоляции и коррозия стальных труб проявляются именно в этих местах. В результате проведенного анализа установлено, что повреждаемость тепловых сетей весьма велика и имеет явно выраженную тенденцию к дальнейшему росту по мере старения сетей.

Анализ повреждений трубопроводов в России и на Украине

На сегодняшний день протяженность тепловых сетей России составляет около 180 тыс. км (в двухтрубном исчислении). В системах теплоснабжения используются трубопроводы диаметрами от 57 до 1400 мм [6, 7].

В настоящее время источники централизованного теплоснабжения в России более чем на 70 % выработали свой ресурс. В связи с этим значительно выросли потери в теплосетях: они составляют около 20 % вместо нормируемых 5 %. Как следствие – рост повреждаемости тепловых сетей – более двух повреждений на 1 км [8].

По данным статистических исследований ОРГРЭС, большая часть повреждений (до 70 %) трубопроводов в России (так же как и в Беларуси) связана с коррозией. Несмотря на расчетный срок эксплуатации трубопроводов, который составляет до 30 лет, первые сквозные повреждения могут появляться уже после 10 лет эксплуатации трубопроводов (до 10 %), а иногда – и значительно раньше. Выявлены случаи сквозных повреждений трубопроводов уже после двух-трех лет эксплуатации [9].

Согласно материалам вскрытия трубопроводов теплосетей Мосэнерго, коррозионные разрушения наблюдаются практически на 70 % вскрываемых участков. При этом на 40 % участков была обнаружена равномерная коррозия металла трубопроводов. В ряде случаев наблюдались язвы и каверны с глубиной повреждений до 3 мм, в результате которых впоследствии на 10 % стен трубопроводов были обнаружены сквозные свищи [9].

В теплосетях Ленэнерго эксплуатируются трубы, проложенные в монолитном автоклавном армопенобетоне. По результатам исследований про-

изводственной лаборатории теплосетей Ленэнерго было выявлено, что коррозионные повреждения наблюдаются в основном на подающем трубопроводе. Из 118 шурфов в 70 случаях (60 %) наблюдались сильные коррозионные повреждения (включая свищи), причем они в основном располагались в местах прохода трубопровода из грунта в камеру. Процент повреждений на линейных участках трубопроводов составил около 8 % [9].

В коммунальной теплоэнергетике Украины эксплуатируется 34,6 тыс. км магистральных и распределительных тепловых сетей в двухтрубном исчислении различного диаметра (от 50 до 800 мм). При прокладке трубопроводов используются непроходные железобетонные каналы, а в качестве тепловой изоляции преимущественно применяется минеральная вата.

Рассматривая состояние теплосетей Украины, следует отметить, что уже в 2010 г. более 3000 км трубопроводов находилось в аварийном состоянии, еще 7700 км превышало допустимый срок эксплуатации. Таким образом, общий износ теплосетей Украины уже в 2010 г. составил 70 %, а потери в теплосетях достигают до 30 %. С каждым годом ситуация только усугубляется.

Из-за недостаточного финансирования на Украине ежегодно уменьшается плановая замена старых теплосетей (от 20 до 40 % от нормативного количества). Проблемы существуют в системах теплоснабжения большинства городов (Киев, Житомир, Харьков, Ровно, Днепропетровск и др.). В связи с этим растет удельная повреждаемость теплосетей, которая составляет порядка 26 % в год [10].

ВЫВОДЫ

1. Основная причина нарушений в работе тепловых сетей – локальная наружная коррозия атмосферного типа, проявляющаяся в виде свищей и разрывов металла сетевых трубопроводов. Локальная наружная коррозия обусловлена влиянием влаги и блуждающих токов при неудовлетворительных конструкциях, низкой культуре прокладки сетей и отсутствии стойких антикоррозионных покрытий.

2. Несмотря на существенные ежегодные объемы капитальных ремонтов теплосетей с заменой трубопроводов, «балансовое» старение с каждым годом увеличивается. Детальный анализ возрастной структуры тепловых сетей указывает на их старение. Так, более 40 % эксплуатируемых трубопроводов в тепловых сетях имеют срок службы свыше 25 лет, полностью амортизированы и подлежат замене. Опасение вызывает ситуация, сложившаяся в минских тепловых сетях, где износ трубопроводов составляет более 60 %.

3. Произведенный анализ повреждений трубопроводов России и Украины показал, что системам теплоснабжения этих стран присущи те же проблемы, что и в Беларуси, а именно: старение трубопроводов тепловых сетей, плохая изоляция, некачественное выполнение монтажных работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Никитина, И. К. Справочник по трубопроводам тепловых сетей / И. К. Никитина. М.: Энергоатомиздат, 1983. 177 с.
2. Тепловое оборудование и тепловые сети / Б. Г. Тувальбаев [и др.]. М.: Энергоатомиздат, 1988. 400 с.
3. Воронин, С. М. К вопросу о вентиляции камер и каналов тепловых сетей / С. М. Воронин // Новости теплоснабжения. 2001. № 8. С. 19–24.
4. Пашенко, Е. И. Анализ причин снижения ресурса тепловых сетей / Е. И. Пашенко // Новости теплоснабжения. 2002. № 12. С. 33–35.
5. Защита тепловых сетей от внешней коррозии [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://msd.com.ua/teplosnabzhenie/zashhita/teplovyx/setej/ot/naruzhnoj/korrozii>. Дата доступа: 27.01.2018.
6. Соколов, Е. Я. Теплофикация и тепловые сети / Е. Я. Соколов. М.: Изд-во МЭИ, 2001. 472 с.
7. Рапопорт, Я. Тепловые сети: ждать нельзя модернизировать / Я. Рапопорт, А. Шмелев, М. Барановский // Полимерные трубы. 2011. № 2. С. 16–17.
8. Титов, Г. И. Причины повреждаемости тепловых сетей / Г. И. Титов, Н. А. Новопашина, В. Г. Титов // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. 2016. № 2. С. 19–22.
9. Притула, В. В. Коррозионная ситуация на трассах городских трубопроводов / В. В. Притула // Новости теплоснабжения. 2014. № 6. С. 40–45.
10. Покровский, Л. Л. Стратегия развития коммунальной теплоэнергетики Украины на период до 2030 года / Л. Л. Покровский, Г. М. Семчук, П. Ю. Зембицкий // Новости теплоснабжения. 2010. № 9. С. 50–55.

Поступила 18.04.2017 Подписана в печать 06.07.2017 Опубликована онлайн 30.03.2018

REFERENCES

1. Nikitina I. K. (1983) *Reference-Book on Pipelines of Calorific Nets*. Moscow, Energoatomizdat Publ. 177 (in Russian).
2. Tuval'baev B. G., Belousov V. P., Marchenko E. M., Dranchenko A. A., Arsen'ev G. V., Ibragimov M. Kh. (1988) *Thermal Equipment and Heating Networks*. Moscow, Energoatomizdat Publ. 400 (in Russian).
3. Voronin S. M. (2001) Towards the Problem of Ventilation of Chambers and Channels of Heating Networks. *Novosti Teplosnabzheniya* [News of Heat Supply], (8), 19–24 (in Russian).
4. Pashchenko E. I. (2002) Analysis of the Reasons for Reducing the Resource of Heating Networks. *Novosti Teplosnabzheniya* [News of Heat Supply], (12), 33–35 (in Russian).
5. *Protection of Heat Networks Against External Corrosion*. Available at: <http://msd.com.ua/teplosnabzhenie/zashhita-teplovyx-setej-ot-naruzhnoj-korrozii/> (Accessed 27 January 2018) (in Russian).
6. Sokolov E. Ya. (2001) *Central Heating and Heating Networks*. Moscow, MPEI Publ. 472 (in Russian).
7. Rapoport Ya., Shmelev A., Baranovskii M. (2011) Heating Networks: Waiting Inadmissibly Upgrading. *Polimernye Truby = Plastic Pipes*, (2), 16–17 (in Russian).
8. Titov G. I., Novopashina N. A., Titov V. G. (2016) The Causes of Thermal Networks Damageability. *Vestnik SGASU. Gradostroitel'stvo i Arkhitektura = Vestnik SGASU. Town Planning and Architecture*, (2), 19–22 (in Russian).
9. Pritula V. V. (2014) Corrosive Situation on the Routes of City Pipelines. *Novosti Teplosnabzheniya* [News of Heat Supply], (6), 40–45 (in Russian).
10. Pokrovsky L. L., Semchuk G. M., Ziembicki P. Yu. (2010) Strategy of Development of Municipal Heat Power Engineering of Ukraine for the Period up to 2030. *Novosti Teplosnabzheniya* [News of Heat Supply], (9), 50–55 (in Russian).

Received: 18 April 2017

Accepted: 6 July 2017

Published online: 30 March 2018