

УДК 697.34

## ПОВРЕЖДАЕМОСТЬ ОСНОВНЫХ УЗЛОВ СЕТЕЙ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Москалёв Иван Леонидович,**

начальник Управления гидравлических режимов и технической экспертизы  
ОАО «ТомскРТС», аспирант каф. атомных и тепловых электростанций  
Энергетического института Национального исследовательского  
Томского политехнического университета, Россия, 634050,  
г. Томск, пр. Ленина, 30. E-mail: moskalew@tpu.ru

**Литвак Валерий Владимирович,**

д-р техн. наук, профессор каф. атомных и тепловых электростанций  
Энергетического института Национального исследовательского  
Томского политехнического университета, Россия, 634050,  
г. Томск, пр. Ленина, 30. E-mail: litvak@tpu.ru

Совершенствование системы ремонтного обслуживания становится все более актуальной задачей различных отраслей производства. Величина ущерба от недоотпусков тепловой энергии потребителям значительно сокращается при снижении времени с момента возникновения повреждения в системах централизованного теплоснабжения до обнаружения и устранения этого повреждения. Таким образом, для сокращения ущерба и успешного решения задач ресурсосбережения немалое значение имеет ограничение времени восстановительного периода. В этом состоит актуальность поставленной задачи. Развернутая в Российской Федерации в течение последних лет работа в области ресурсосбережения придает этой задаче государственное значение.

**Цель работы:** анализ ремонтно-эксплуатационного порядка бесперебойных поставок тепловой энергии потребителям систем централизованного теплоснабжения крупных городов РФ; классификация дефектов, создание и обработка базы данных по повреждаемости оборудования систем централизованного теплоснабжения и разработка мер по сокращению последствий повреждений.

**Методы исследования.** Использованы современные методы статистической обработки результатов экспериментальных исследований; методы теории вероятностей и математической статистики. При создании баз данных о повреждаемости и работе с ними использовались программные пакеты данных Microsoft Access и Excel, Autodesk AutoCAD, Statistica.

**Результаты.** На основании обработки данных по системам теплоснабжения 21 города РФ проведен анализ повреждаемости: по срокам эксплуатации; по элементам системы теплоснабжения; по причинам возникновения; по элементам и в зависимости от способа прокладки. Выявлены «слабые» места и установлены причины повреждаемости элементов систем централизованного теплоснабжения.

### **Ключевые слова:**

Тепловая сеть, тепловая камера, инцидент, дефект, коррозия.

### **Объект исследования**

Анализ повреждаемости элементов систем теплоснабжения городов по материальной характеристике систем централизованного теплоснабжения (СЦТ), климатическим условиям, продолжительности отопительного периода представлен отдельно для выборок по каждому региону (таблица). Трубопроводы с обнаруженными дефектами классифицируются в группы по признакам: диаметры труб, способы прокладки, сроки службы. Также они отличаются условиями эксплуатации (режимы использования, износ, качество используемой сетевой воды и т. д.) и качеством ремонта. В связи с этим представленные далее результаты позволяют сделать пока только «качественную» оценку надежности анализируемых узлов.

### **Проведение эксперимента**

Характеристики СЦТ городов приняты по сведениям, опубликованным на официальных сайтах Администрации соответствующих городов и по материалам обследований, проведенных при выполнении настоящего исследования [1–3].

В соответствии с общепринятой терминологией по надежности в энергетике термин «дефект» может быть применен к «отказу», «аварии» и «инциденту». Если повреждения оборудования или трубопроводов не привели к прекращению теплоснабжения потребителей в отопительный период на срок более 36 часов (36 часов включительно), то такие повреждения должны быть отнесены к инцидентам [4–7]. Термин «отказ» в этом случае не может быть объективно применен, а учет таких происшествий директивной статистикой не предусмотрен. В результате отчетные материалы по надежности содержат лишь те сведения, которые отвечают условию «отказ», а вычисляемые показатели надежности недоучитывают иные формы повреждений.

Следует обратить внимание на то, что количество официально учитываемых отказов в тепловых сетях ничтожно мало, а определение показателей надежности по ним приводит к иллюзии абсолютной надежности [8].

В отличие от существующего подхода в настоящей работе учитываются все имевшие место «де-

фекты», учтенные в оперативной и ремонтной документации предприятий тепловых сетей. Кроме того, расчет показателей надежности (частот инцидентов) произведен отдельно для инцидентов, имевших место в отопительный и межотопительный периоды, во время работ по испытанию трубопроводов, включающих в себя гидравлические и температурные испытания.

**Таблица.** Анализируемые системы теплоснабжения и теплофикации крупных городов РФ

**Table.** The analyzed heat supply systems in large cities of the RF

| Город/City                             | Протяженность сети<br>(в двухтрубном исполнении), км<br>Network extent (in two-pipe<br>version), km | Материальная характеристика*, м <sup>2</sup><br>Material characteristics*, m <sup>2</sup> | Установленная мощность источников<br>теплоснабжения, Гкал/ч,<br>Installed capacity of heat supply<br>sources, Gcal/h | Продолжительность отопительного<br>периода, сут.<br>Heating period duration, day |
|----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| Новосибирск<br>Novosibirsk             | 1670                                                                                                | 542299                                                                                    | 5942                                                                                                                 | 230                                                                              |
| Екатеринбург,<br>Yekaterinburg         | 1606                                                                                                | 475107                                                                                    | 6800                                                                                                                 | 230                                                                              |
| Нижний Новгород<br>Nizhny Novgorod     | 1417                                                                                                | 321147                                                                                    | 6108                                                                                                                 | 215                                                                              |
| Самара/Samara                          | 956                                                                                                 | 218914                                                                                    | 6025                                                                                                                 | 203                                                                              |
| Омск/Omsk                              | 1164                                                                                                | 511726                                                                                    | 5628                                                                                                                 | 221                                                                              |
| Уфа/Ufa                                | 1009                                                                                                | 369631                                                                                    | 7451                                                                                                                 | 213                                                                              |
| Пермь/Perm                             | 793                                                                                                 | 342704                                                                                    | 3271                                                                                                                 | 229                                                                              |
| Воронеж/Voronezh                       | 800                                                                                                 | 235460                                                                                    | 2274                                                                                                                 | 196                                                                              |
| Саратов/Saratov                        | 525                                                                                                 | 306610                                                                                    | 2744                                                                                                                 | 196                                                                              |
| Тольятти/Togliatti                     | 639                                                                                                 | 554495                                                                                    | 4981                                                                                                                 | 203                                                                              |
| Тюмень/Tyumen                          | 547,5                                                                                               | 246375                                                                                    | 2233                                                                                                                 | 225                                                                              |
| Барнаул/Barnaul                        | 610                                                                                                 | 271008                                                                                    | 1441                                                                                                                 | 221                                                                              |
| Ульяновск/Ulyanovsk                    | 577                                                                                                 | 275741                                                                                    | 852                                                                                                                  | 212                                                                              |
| Ярославль/Yaroslavl                    | 354                                                                                                 | 171784                                                                                    | 1500                                                                                                                 | 221                                                                              |
| Хабаровск<br>Khabarovsk                | 780                                                                                                 | 254746                                                                                    | 3110                                                                                                                 | 211                                                                              |
| Оренбург/Orenburg                      | 453                                                                                                 | 254239                                                                                    | 1761                                                                                                                 | 202                                                                              |
| Томск/Tomsk                            | 590                                                                                                 | 197655                                                                                    | 2580                                                                                                                 | 236                                                                              |
| Набережные Челны<br>Naberezhnye Chelny | 318                                                                                                 | 159692                                                                                    | 960                                                                                                                  | 215                                                                              |
| Липецк/Lipetsk                         | 538                                                                                                 | 208334                                                                                    | 1112                                                                                                                 | 202                                                                              |
| Пенза/Penza                            | 346                                                                                                 | 121636                                                                                    | 1168                                                                                                                 | 207                                                                              |
| Нижневартовск<br>Nizhnevartovsk        | 300                                                                                                 | 134499                                                                                    | 1871                                                                                                                 | 250                                                                              |

\*Примечание: Материальная характеристика – это сумма произведения значений наружных диаметров трубопроводов отдельных участков тепловой сети (м) на длину этих участков (м).  
\*Note: material characteristic is the sum of the product of pipeline outer diameter values at separate areas of heat network (m) by the length of these areas (m).

В большинстве теплоснабжающих организаций представленных городов отсутствуют организованные базы данных по инцидентам. Это препятствует

выявлению достоверного уровня большинства показателей надежности систем теплоснабжения (интенсивность повреждаемости, интенсивность восстановления и др.).

В процессе такого анализа выявляются наиболее распространенные виды и причины повреждений, например, распределение инцидентов по элементам тепловых сетей и зависимость удельного количества повреждений от срока эксплуатации тепловых сетей.

Кроме того, магистральные сети рассмотрены в полном объеме представленных данных по инцидентам, а внутриквартальные – лишь частично. Этот сектор систем теплоснабжения более детально предполагается изучить позднее.

Действующая в настоящее время методика учета и сбора информации о повреждениях в тепловых сетях и расчета показателей надежности на их основе (интенсивность отказов, наработка на отказ, вероятность безотказной работы, коэффициент готовности и др.) [9–11] не предусматривает учета повреждений, выявленных при проведении испытаний.

При определении долевых величин дефектов за 100 % принято общее количество дефектов за рассматриваемый период для объектов теплоснабжения каждого анализируемого типа. Доля каждого вида определена как отношение количества дефектов этого вида к общему числу дефектов. Таким образом, объекты могут быть сопоставимы по интенсивности повреждаемости в каждой группе [12–18].

### Основные результаты исследования и обсуждение

#### Сроки эксплуатации тепловых сетей

Как было отмечено выше, единственным источником данных о повреждениях тепловых сетей являются материалы годовых отчетов, которые, естественно, не могут в полной мере охарактеризовать сложившуюся ситуацию. Некоторые важные данные отсутствуют, некоторые из предоставленных данных вызывают сомнения, в частности некоторые сведения об инциденте на трубопроводе повторяются (местонахождение инцидента, количество объектов, причина отключения), отличие лишь во времени отключения (продолжительности ремонта).

Тепловые сети представленных городов имеют большой срок эксплуатации. Они сооружены в основном до 1989 г. В среднем сети, находящиеся сейчас в эксплуатации, спроектированы до 1985 г. На рис. 1 приведено распределение сетей по срокам ввода в эксплуатацию.

Из диаграммы можно сделать вывод, что большая часть всех трубопроводов тепловых сетей (71 %) имеют срок службы более 21 года, а 35 % – свыше 30 лет.

Это связано в первую очередь с тем, что в течение последних 20 лет финансирование ремонтных работ по устранению физического износа оставалось ничтожно малым. Прекращена государствен-

ная бюджетная поддержка. Это привело к тому, что значительная доля оборудования ТС работает на пределе гарантийного ресурса [19].

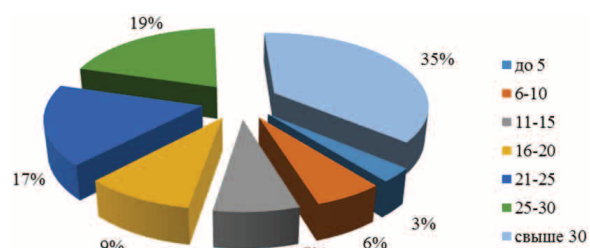


Рис. 1. Срок эксплуатации трубопроводов тепловых сетей (%)

Fig. 1. Lifetime of heat network pipeline (%)

Большая часть российской теплосетевой инфраструктуры создана в 60–80-х гг. прошлого века и нормативно поддерживалась с помощью коэффициента замены, равного 4 %, в соответствии с расчетным сроком службы стальной трубы, равным 25 годам. Такого темпа замены удавалось придерживаться до конца 80-х гг. Однако после 1991 г. коэффициент замены труб отопления и горячего водоснабжения не превысил 2 % [20].

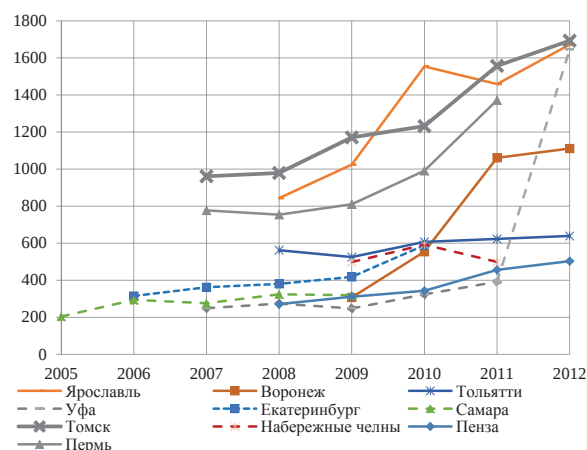


Рис. 2. Изменение количества повреждений на тепловых сетях за период 2005–2012 гг.

Fig. 2. Change in amount of damage of heat networks for 2005–2012

Динамика роста повреждаемости элементов сетей теплоснабжения во временном промежутке с 2005 по 2012 гг. показывает, что за последние годы наблюдается явная тенденция роста повреждаемости сетей (рис. 2).

Рост повреждаемости в г. Уфе с 392 шт. в 2011 г. до 1672 шт. в 2013 г. объясняется следующим: статистика отказов МУП УИС ведется после образования компании с мая 2012 г. Архивов по сетям МУП УИС нет. Преобладающей частью тепловых сетей, находящихся на балансе МУП УИС, являются внутриквартальные тепловые сети, характеризующиеся значительной величиной износа. По данным, предоставленным МУП УИС, за

2012 г. (с 1 мая 2012 г.) количество отказов за отопительный период составило 1053 шт., а количество отказов за часть отопительного периода 2012–2013 гг. (до 31 декабря 2012 г.) – 163 шт.

Увеличение числа повреждений после 2009 г. (рис. 2) связано со «старением» элементов тепловых сетей и недостаточной интенсивностью замены отработанных элементов тепловой сети на новые. Так, в 2008 г. в соответствии с нормативными документами в упомянутых городах заменено в среднем 320 км, или 2 % (от суммарной протяженности ТС), а после 2008 г. объем замены резко снизился до 1–1,5 %.

Проведенные расчеты показали, что количество повреждений элементов тепловых сетей в среднем по городам составляет от 20 до 40 шт. на 100 км трассы и с увеличением срока службы трубопровода возрастает.

В большей мере снижение долговечности вызвано увлажнением из-за плохой работы дренажей. В отдельных случаях дренажи вовсе отсутствуют. Это говорит о низком качестве строительства тепловых сетей.

Гарантией увеличения срока службы трубопроводов тепловых сетей и снижения непроизводительных потерь теплоты может послужить повышение качества работ по электрохимической и антикоррозионной защите, гидрозащите и теплоизоляции [21].

В настоящее время в большинстве городов РФ в качестве основного направления повышения надежности системы теплоснабжения принято считать отбраковку в летний период ослабленных коррозией участков теплосети, которая производится путем гидравлического испытания отдельных участков трубопроводов при повышенном давлении. В шести обследованных городах с целью повышения надежности применяется подключение жилых районов по дублирующей схеме. В некоторых случаях производят отключение горячего водоснабжения.

Основная доля повреждений тепловых сетей, от 50 до 65 % от общего числа повреждений, выявляется в процессе гидравлических испытаний в период подготовки к отопительному сезону.

Заметное снижение доли повреждений, выявленных в период гидравлических испытаний в 2012 г. по сравнению с 2007 г. (рис. 3), противоречит на первый взгляд данным, представленным на рис. 2, объясняется, по нашему мнению, следующей последовательностью действий персонала:

- недостаток финансирования ведет к недоброкачественному ремонту;
- повреждения возникают в отопительном периоде в тех же местах, где несколькими месяцами ранее уже произведены ремонтно-восстановительные работы;
- учет повреждений теперь осуществляется в отопительном периоде (финансирование за счет аварийно-восстановительного фонда).



**Рис. 3.** Доля повреждений в период проведения гидравлических испытаний от общего количества повреждений (%)

**Fig. 3.** Part of damages during hydraulic tests in total amount of damages (%)

Дефекты элементов систем теплоснабжения

В ходе анализа повреждений отмечаются следующие причины инцидентов:

- дефект запорной арматуры (неисправности вентилей, задвижек, неплотности затворов);
- свищи (локальная наружная коррозия трубы, язвенная наружная коррозия потребительской врезки);
- разрыв трубы (сплошная наружная коррозия);
- внешний коррозионный износ элементов неподвижной опоры.



**Рис. 4.** Количество повреждений по виду оборудования в отопительный и межотопительный периоды (%)

**Fig. 4.** Amount of damages by the type of equipment in heating and non-heating seasons (%)

На рис. 4 представлены усредненные по всей выборке данные по распределению дефектов систем теплоснабжения по причинам их появления. Как и следовало ожидать, наибольшее число инцидентов приходится на повреждения трубопроводов.

Результаты анализа показывают, что доля дефектов арматуры, компенсаторов и прочих причин в системах теплоснабжения городов, представленных в таблице, суммарно составляют 41 % в отопительном периоде и 21 % в межотопительном. Таким образом, наиболее важными остаются дефекты трубопроводов. Они достигают 59 % в ото-

пительный и 79 % в межотопительный периоды от общего количества зарегистрированных инцидентов. Различия объясняются тем, что повреждения выявляются преимущественно в период ремонтов и пусковых испытаний.

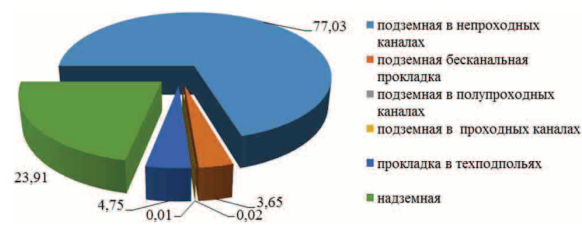
Доля дефектов арматуры и компенсаторов в отопительный период выше, чем в межотопительный. Это связано с проведением гидравлических испытаний на прочность и плотность, что не позволяет выявить в полном объеме дефектное оборудование. Преимущество метода состоит в выявлении «слабых» участков трубопроводов [22, 23].

Дефекты трубопроводов и причины их появления

Прежде чем перейти к анализу дефектов по причинам повреждений, рассмотрим распределение анализируемых сетей по способам прокладки.

Основным типом прокладки трубопроводов являются «подземный в непроходных каналах» с традиционной изоляцией трубопроводов минераловатными матами. На промышленных предприятиях преобладает надземная прокладка тепловых сетей.

Результаты распределения трубопроводов тепловых сетей по способам прокладки представлены на рис. 5.



**Рис. 5.** Распределение протяженности тепловых сетей по способам прокладки (%)

**Fig. 5.** Distribution of heat network extent by the laying method (%)

Подземная прокладка трубопроводов осуществлена в 81 % случаев, причем около 77 % этих сетей выполнены в подземных непроходных каналах и только 4 % приходится на подземные с бесканальной, в полупроходных и проходных каналах. На долю надземной прокладки приходится 24 % всей протяженности тепловых сетей.

Дефекты трубопроводов

Дефекты трубопроводов можно классифицировать в следующие группы:

- внешняя (наружная) коррозия;
- внутренняя коррозия;
- дефект монтажа (разрыв от дефекта сварки);
- заводской дефект;
- прочие (ошибки проекта и т. д.).

Ниже (рис. 6) представлены результаты анализа дефектных ведомостей трубопроводов с распределением тепловых сетей по причинам повреждений.

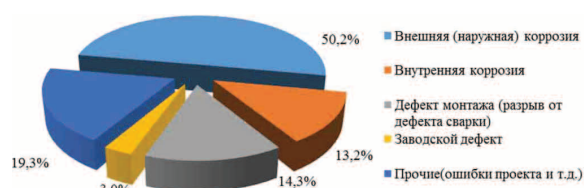


Рис. 6. Распределение дефектов по причинам (%)

Fig. 6. Defect distribution by the reasons (%)

Дефекты трубопроводов по причинам повреждений

Ниже представлены результаты анализа дефектных ведомостей трубопроводов с распределением тепловых сетей по причинам повреждений. Повреждения обнаружены в течение отопительного периода (рис. 7).

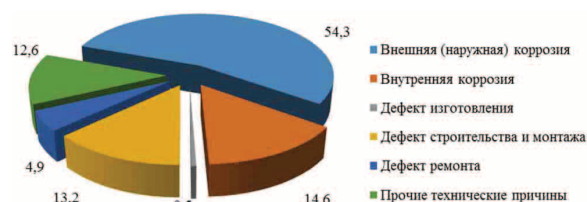


Рис. 7. Распределение дефектов трубопроводов «подземной прокладки в непроходных каналах» по причинам в отопительный период (%)

Fig. 7. Distribution of defects of «subsurface in crawlways» pipelines by the reasons in heating season (%)

Важно помнить, что дефект не появляется мгновенно, он возникает и нарастает в течение определенного времени, в том числе и в межотопительный период. Это дает основание считать, что надежность, ресурс, живучесть и работоспособность трубопровода в первую очередь определяется продолжительностью эксплуатации. Поэтому оценку показателей надежности следует делать с учетом срока наработки трубы.

Наиболее частой причиной повреждений теплопроводов является наружная коррозия. Она наблюдается в 51 % случаев (рис. 8). Количество повреждений, связанных с разрывом продольных и поперечных сварных швов труб, значительно меньше (11 %), чем коррозионных. Основными причинами разрывов сварных швов являются заводские дефекты при изготовлении труб и дефекты сварки труб при строительстве, соответственно 0,4 и 11,9 %.

Одним из важных факторов, влияющих на надежность работы тепловой сети, остается внутренняя коррозия трубопроводов. Она охватывает 26,2 % (рис. 8) случаев. Разрушение металла является одним из проявлений внутренней коррозии, которая приводит не только к снижению надежности транспортировки тепловой энергии, но и ухудшает качество теплоснабжения. Это проявляется в образовании на стенках трубопровода слоя железистых отложений, который увеличивает ги-

дравлическое сопротивление трубопровода, в результате чего для поддержания необходимого гидравлического режима в системе теплоснабжения необходимо повышать давление в подающем трубопроводе. Из-за повышенного давления вероятность появления свищей возрастает, а надежность транспортировки тепловой энергии снижается. Циркулирующие в системе продукты коррозии, попадая в домовые системы, накапливаются в отопительных приборах и уменьшают количество тепла, идущего на обогрев помещений. Жилищные службы для увеличения теплосъема, особенно в периоды низких температур наружного воздуха, начинают сливать сетевую воду из стояков домовых систем [24].



Рис. 8. Распределение дефектов трубопроводов «подземной прокладки в непроходных каналах» по причинам в межотопительный период и всего за год (%)

Fig. 8. Distribution of defects of «subsurface in crawlways» pipelines by the reasons in non-heating season and per annum (%)

Анализ статистических данных появления повреждений трубопроводов тепловой сети показывает, что повреждения по причине внутренней коррозии выявляются только в 14,6 % в отопительный и 30,4 – в межотопительный периоды (рис. 7, 8). Необходимо при этом отметить, что около 40–45 % инцидентов в тепловых сетях, связанных с трубопроводами, имели явные признаки совместного действия внутренней и наружной коррозии на поверхности металла труб. Поскольку наружная коррозия проявляется более активно, а обнаруживается легче, причиной появления дефекта отмечается только первая из них.

Повреждения, вызванные внутренней коррозией (рис. 9), обычно имеют вид небольших сквозных отверстий, когда дно коррозионной лунки достигает внешней поверхности трубы или щели в сварочном шве. Протечки через такие повреждения невелики, но их трудно обнаружить, и потому их своевременно не устраняют. Сетевая вода, выходя под давлением из сквозного отверстия, увлажняет и разрушает гидро- и теплоизоляцию. В результате на наружной поверхности трубы создаются благо-



Рис. 9. Внутренняя коррозия трубопроводов тепловых сетей

Fig. 9. Internal corrosion in pipelines of heat networks



Рис. 10. Внешняя коррозия трубопроводов тепловых сетей

Fig. 10. External corrosion in pipelines of heat networks

приятные условия для интенсивного развития наружной коррозии.

В отличие от внутренней коррозии наружная коррозия (рис. 10) реализуется как сплошное утонение металла на большой площади. Когда толщина стенки трубы уменьшается до критической величины, она разрушается, образуя интенсивную протечку теплоносителя. Таким образом, можно сделать вывод, что наличие внутренней коррозии в данном случае является первопричиной возникновения дефекта на трубопроводе.

Например, в одном из анализируемых городов 10 км тепловых сетей подземной прокладки (2,5 % от общей протяженности трубопроводов подземной прокладки в данном городе) на протяжении 3-х месяцев были затоплены грунтовыми и техногенными водами. В таких условиях тепловые сети подземной прокладки при большом количестве подземных кабельных линий связи, силовых кабельных линий напряжением 35 кВ и более подвергались интенсивной электрохимической коррозии. Всего за отопительный период было зафиксировано 22 повреждения на затопленных участках.

Дефекты в зависимости от способа прокладки трубопроводов различаются. Так, при подземной прокладке (рис. 8) основной причиной появления повреждений является наружная коррозия (51 % от общего количества повреждений), а у сетей с надземной прокладкой доля дефектов от внешней и внутренней коррозии распределена соответственно 37 и 25 % (рис. 11).

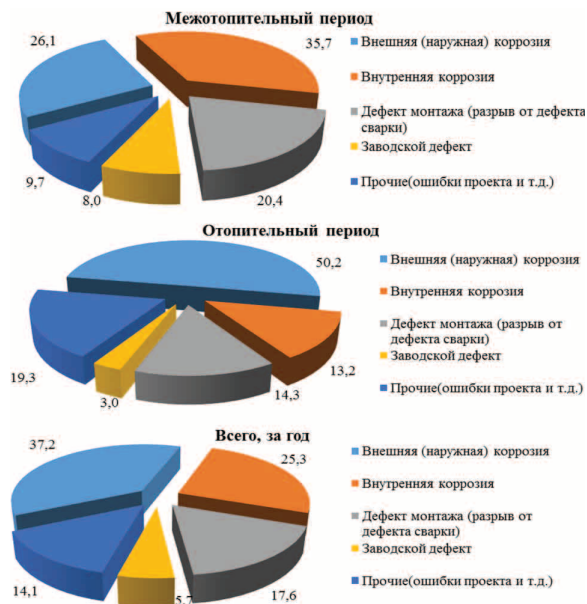


Рис. 11. Распределение дефектов трубопроводов «надземная прокладка» по причинам в отопительный и межотопительный периоды (%)

Fig. 11. Distribution of defects of «above-ground laying» pipelines by the reasons in heating and non-heating seasons (%)

Увеличение доли повреждений в отопительный период от наружной коррозии (рис. 11) связано с тем, что в отопительный период испытания осуществ-

вляются разрушающими методами. Другими методами диагностика не проводится, а все выявленные дефекты относятся к повреждениям трубопровода (их в основном связывают с наружной коррозией).

В межотопительный период проводятся испытания, по итогам которых можно выявить утонение стенки и классифицировать дефекты по причинам.

Вне зависимости от способа прокладки наблюдается высокий процент дефектов строительства и монтажа (14,3 % – надземная и 11,4 % – подземная прокладка). Это объясняется тем, что за последние годы участились случаи эксплуатации трубы при наличии утечек теплоносителя, особенно в местах соприкосновения труб с металлоконструкциями подвижных и неподвижных опор. Многие опоры на подводящем трубопроводе накрываются и оседают в грунт.

Коррозионные дефекты по трубопроводам

Наружная коррозия, оказывает большее действие на подающие теплопроводы из-за благоприятных для развития коррозии температурно-влажностных условий (рис. 12, 13).

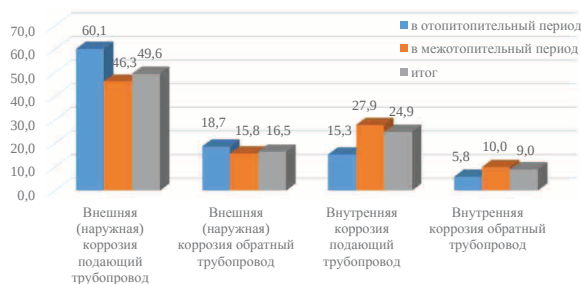


Рис. 12. Распределение коррозии трубопроводов подземной прокладки в отопительный и межотопительный периоды (%)

Fig. 12. Corrosion distribution in subsurface pipelines in heating and non-heating seasons (%)

Суммарная доля повреждений от внешней и внутренней коррозии достигает почти 62 % от всех повреждений (рис. 11). Если сюда же отнести разрывы трубы от дефекта сварки (20,4 %), которые усугубляются коррозией, то общее количество становится подавляющим (82,2 %).

Коррозионные процессы усиливаются на трубах в местах соприкосновения увлажненной изоляции и коррозионно-активных грунтов из-за наличия в них блуждающих токов, отсутствия средств катодной защиты и др.

Проблемными местами сетей с надземной прокладкой являются участки, находящиеся в футляре и зафиксированные хомутами на опорах. В этих случаях повреждения происходят за счет щелевой коррозии там, где постоянно имеет место высокая влажность и доступ кислорода. Электрохимическая коррозия в месте контакта стального футляра с трубопроводом проявляется наиболее отчетливо. Для борьбы с этими видами коррозии применяется только окрашивание надземных трубопроводов [25, 26].

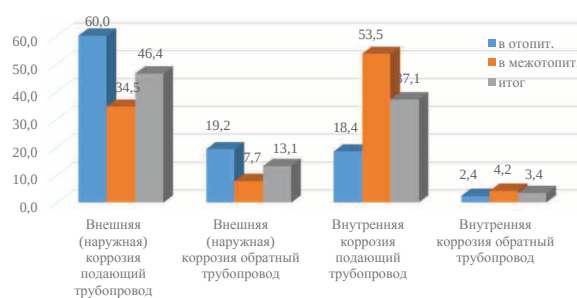


Рис. 13. Распределение коррозии трубопроводов надземной прокладки в отопительный и межотопительный периоды (%)

Fig. 13. Corrosion distribution in above-ground pipelines in heating and non-heating seasons (%)

Наружной коррозии подвержены теплопроводы как бесканальных прокладок, так и проложенные в непроходных и проходных каналах. В соответствии с этим, наличие в системе теплоснабжения сетей надземной прокладки для имеющихся типов изоляции в целом повышает надежность теплоснабжения, так как такие сети не подвергаются затоплению канализационными, сточными и другими водами [27].

Электрохимическая наружная коррозия металла возникает вследствие контакта трубопроводов тепловой сети с грунтом и грунтовыми водами. Ее интенсивность однозначно определяется конструкцией.

Существующие конструкции гидроизоляционного покрытия, подвижных и неподвижных опор, проходы в камеры позволяют соприкасаться металлу труб с почвенными водами, что приводит к возникновению, при определенных обстоятельствах, электрохимической коррозии и усилению коррозии от блуждающих токов.

Выявлено влияние температуры теплоносителя на наружную коррозию. Регулирование отпуска тепла в большинстве рассматриваемых городов осуществляется качественным путем, то есть за счет изменения температуры теплоносителя в подающем и обратном трубопроводе в зависимости от температуры наружного воздуха. Влияние температуры сказывается на процессе коррозии металла в зависимости от того, происходит ли процесс коррозии с кислородной или с водородной поляризацией. В почвенных условиях вследствие слабой концентрации растворов кислорода следует ожидать процессов коррозии, происходящих с кислородной поляризацией. При этом скорость наружной коррозии растет с увеличением температуры примерно до 80 °С. Начиная с этой температуры и выше, скорость коррозии снижается вследствие резкого уменьшения концентрации растворенного кислорода в воде [28, 29].

Коррозия металла усиливается, если он подвергается воздействию внутренних и внешних растягивающих усилий или вибрации. В зависимости от температуры и величины показателя pH коррозию от растягивающих напряжений можно ожидать в сварных швах и стыках.

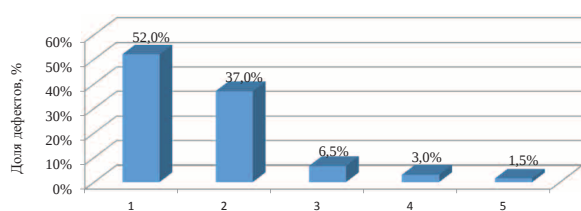
Положение уровня грунтовых вод относительно глубины прокладки труб тепловой сети оказывает существенное влияние на скорость их коррозии. Наиболее неблагоприятным оказывается вариант, когда трубопроводы тепловых сетей проложены на уровне грунтовых вод и периодически (в зависимости от времени года и погодных условий) подвергаются увлажнению.

Основными причинами увлажнения тепловой изоляции для трубопроводов подземной прокладки являются:

- использование малоэффективных и нестойких антикоррозионных покрытий теплопроводов;
- отсутствие или некачественное выполнение гидроизоляции каналов;
- применение гидрофильной теплоизоляции;
- отсутствие попутных дренажей и дренажных насосных станций или их неудовлетворительная работа.

Коррозионные дефекты в тепловых камерах

Анализ статистики дефектов в тепловых камерах (ТК), показал, что на дефекты от наружной коррозии труб приходится 80–85 %. Они распределены так, как это показано на рис. 14. На повреждения, относящиеся к неподвижным опорам, приходится 52 % от числа повреждений в ТК.



**Рис. 14.** Распределение коррозионных дефектов в ТК: 1 – повреждения у стенки камеры и в неподвижных опорах; 2 – повреждения трубных переходов и перемычек; 3 – повреждения спускников; 4 – повреждения воздушников; 5 – повреждения гильз термометров и штуцеров манометров

**Fig. 14.** Distribution of corrosive defects in heat chambers: 1 are the damages near the chamber wall and in fixed stands; 2 are the damages of pipe reducers and seals; 3 are the damages of drain valves; 4 are the damages of air grooves; 5 are the damages of thermometer tubes and pressure adapter groups

Около 32 % повреждений приходится на неподвижные опоры. Их коррозия вызвана следующими причинами:

- воздействие блуждающих токов в щитовых опорах из-за отсутствия надежных электроизоляционных вставок;
- возникновение капли с перекрытий из-за конденсации влаги приводит к усиленной коррозии наружной поверхности труб;
- приварка косынок создает предпосылки для интенсификации процессов внутренней коррозии трубы в местах расположения сварных швов и околошовной зоны;
- одновременное воздействие переменных циклических напряжений и коррозионной среды

вызывают понижение коррозионной стойкости и предела выносливости металла.

## Выводы

1. На основании проведенного анализа дефектных ведомостей и ремонтной документации тепловых сетей городов Российской Федерации можно сделать вывод, что, несмотря на существенные различия климатических, географических, демографических и других условий, характерных для обследованных городов, показатели повреждаемости тепловых сетей в них практически одинаковы. Надежность работы ТС напрямую зависит от конструкции, длины, сроков службы, качества эксплуатации и т. д. Общие для всех городов правила технического обслуживания и ремонтов, одинаковость финансово-экономического положения предприятий ТС привели состояние сетей к одинаковым технологическим условиям.
2. Формирование статистической базы данных о повреждениях, содержащихся не только в отчетных материалах, но и в ремонтной документации (заявочные и дефектные ведомости) позволяет существенно уточнить объемы и характер повреждений в ТС и наметить исчерпывающие меры по их преодолению.
3. Основными факторами, влияющими на снижение надежности узлов теплоснабжения, являются:
  - а) материал применяемых труб и арматуры;
  - б) способ прокладки и конструкция тепловых сетей;
  - в) коррозионная активность грунта и грунтовых вод;
  - г) теплоизоляция;
  - д) гидроизоляция и защитные покрытия;
  - е) воздействие механических усилий;
  - ж) уровень эксплуатации трубопроводов;
  - з) воздействие блуждающих токов;
  - и) температура теплоносителя;
  - к) уровень резервирования.

Наиболее существенными среди них являются: наружная и внутренняя коррозия, длительная эксплуатация и случайные причины.

Причем, стоит отметить, что интенсивность процесса электрохимической наружной коррозии металла связана с первыми пятью предпосылками (а–д).

Причины, рассмотренные выше, способны привести к систематическому появлению различного рода дефектов элементов систем теплоснабжения.

4. Как отмечалось выше, наиболее частым видом повреждений в ТС является внешняя и внутренняя коррозия трубопроводов. Именно это должно стать основанием для разработки и реализации эффективных мер по ее снижению. Среди этих мер нельзя не упомянуть:

- предотвращение увлажнения изоляции;
- антикоррозионные покрытия труб и арматуры;
- совершенствование способов прокладки;
- организацию катодной защиты трубопроводов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зингер Н.М., Малафеев В.А. Технические проблемы развития теплофикации и централизованного теплоснабжения в работах ВТИ // Электрические станции. – 1996. – № 7. – С. 23–28.
2. Дильман М.Д. Методы и модели обоснования надежности систем теплоснабжения и источников теплоты: дис. ... канд. техн. наук. – М., 2000. – 188 с.
3. Макаров А.А., Митрова Т.А., Кулагин В.А. Долгосрочный прогноз развития энергетики мира и России // Экономический журнал ВШЭ. – 2012. – № 2. – С. 172–204.
4. ГОСТ 27.002–89 «Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения». – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 36 с.
5. СНиП 41–02–2003 «Тепловые сети». – М.: Госстрой России, ФГУП ЦПП, 2004. – 52 с.
6. Надежность систем энергетики. Терминология / под ред. Ю.Н. Руденко. – М.: Наука, 1980. – Вып. 95. – 42 с.
7. Надежность систем энергетики (Сборник рекомендуемых терминов) / отв. ред. Н.И. Воропай. – М.: ИАЦ «Энергия», 2007. – 192 с.
8. Мониторинг надежности тепловых сетей / В.Н. Мелькумов, С.Н. Кузнецов, К.А. Скляров, А.А. Горских // Научный вестник ВГАСУ. Строительство и архитектура. – 2010. – № 1 (17). – С. 52–58.
9. Требования к схемам теплоснабжения, порядку их разработки и утверждения (утверждены постановлением Правительства РФ от 22 февраля 2012 г. № 154). – М.: Собрание законодательства Российской Федерации, 2012 г. – № 10 – 21 с.
10. Методические рекомендации по разработке схем теплоснабжения (утверждены совместным приказом Минэнерго РФ и Минрегионразвития РФ от 29.12.2012 г. № 565/667). URL: [http://www.rosteplo.ru/Npb\\_files/npb\\_shablon.php?id=1557](http://www.rosteplo.ru/Npb_files/npb_shablon.php?id=1557) (дата обращения: 01.11.2014).
11. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети. 7-е изд., стереот. – М.: Изд-во МЭИ, 2011. – 472 с.
12. Островский К.А. Классификация и тестирование производительности способов хранения таблиц в задачах обработки экспериментальных данных // Молодой ученый. – 2011. – № 6. – Т. 1. – С. 120–129.
13. Айвазян С.А., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика. Исследование зависимостей. – М.: Финансы и статистика, 1985. – 488 с.
14. Пугачев В.С. Теория вероятностей и математическая статистика. – М.: Физматлит, 2002. – 496 с.
15. Gapeev P.V., Shiryaev A.N. Bayesian quickest detection problems for some diffusion processes // Advances in Applied Probability. – 2013. – V. 45:1. – P. 164–185.
16. Кремер Н.Ш. Теория вероятностей и математическая статистика. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2010. – 551 с.
17. Горелова Г.В., Кацко И.А. Теория вероятностей и математическая статистика в примерах и задачах с применением Excel. 3-е изд., доп. и перераб. – Ростов н/Д: Феникс, 2005. – 480 с.
18. Вуколов Э.А. Основы статистического анализа. Практикум по статистическим методам и исследованию операций с использованием пакетов «Statistica» и «Excel». – М.: Форум, 2004. – 464 с.
19. Клименко А.В., Гашо Е.Г. Проблемы повышения эффективности коммунальной энергетики на примере объектов ЖКХ ЦАО г. Москвы // Теплоэнергетика. – 2004. – № 6. – С. 54–59.
20. Российский статистический ежегодник за периоды с 2000 по 2013 гг. – М.: Росстат, 2014. – 693 с.
21. Приказ от 13 декабря 2000 г. № 285 об утверждении типовой инструкции по технической эксплуатации тепловых сетей систем коммунального теплоснабжения. – М., 2001. – 36 с.
22. Фрейман Л.И., Макаров В.А., Брыскин И.Б. Потенциостатические методы в коррозионных исследованиях и электрохимической защите. – М.: Химия, 1972. – 240 с.
23. Corrosion of Steel in Concrete: Prevention, Diagnosis, Repair / L. Bertolini, B. Elsener, P. Pedferri, E. Redaelli, R.B. Polder. – Weinheim: Wiley-VCH, 2013. – 340 p.
24. Сурис М.А., Липовских В.М. Защита трубопроводов тепловых сетей от наружной коррозии. – М.: Энергоатомиздат, 2003. – 216 с.
25. A Review of Process Fault Detection and Diagnosis. P. I: Quantitative model-based methods / V. Venkatasubramanian, R. Rengaswamy, S. Kavuri, K. Yin // Computers and Chemical Engineering. – 2003. – V. 27. – P. 293–311.
26. Detroja K.P., Gudi R.D., Patwardhan S.C. Plant-wide detection and diagnosis using correspondence analysis // Control Engineering Practice. – 2007. – V. 15. – Iss 12. – P. 1468–1483.
27. СО 153–34.17.464–2003 / Инструкции по продлению срока службы трубопроводов II, III, IV категорий. – М.: ЦПТИ ОР-ГРЭС, 2004. – 146 с.
28. ПБ 10–573–03. Правила устройства и безопасной эксплуатации трубопроводов пара и горячей воды. – М: НТЦ «Промышленная безопасность», 2008. – 60 с.
29. Чистович С.А. 100-летняя история и будущее теплофикации и централизованного теплоснабжения России // 100 лет теплофикации и централизованному теплоснабжению в России: сб. статей. – М.: Новости теплоснабжения, 2003. – С. 198–208.

Поступила 04.11.2014 г.

UDC 697.34

## DAMAGEABILITY OF THE MAIN KNOTS OF HEAT SUPPLY NETWORKS IN THE CITIES OF THE RUSSIAN FEDERATION

Ivan L. Moskalev,

National Research Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Avenue, Tomsk,  
634050, Russia. E-mail: moskalew@tpu.ru

Valery V. Litvak,

National Research Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Avenue, Tomsk,  
634050, Russia. E-mail: litvak@tpu.ru

*Improving the repair service system is becoming more and more important task in various industries. Damage from undersupply of heat energy to consumers is greatly reduced when decreasing time from the moment of damage occurrence in the centralized heat supply systems to detection and correction of this corruption. Thus, to reduce prejudice and for successful solution of problems of resource saving the time limit for the recovery period is of considerable importance. This is the urgency of the task. The work in the field of resource saving deployed in the Russian Federation in the past years makes the task of nationwide scale.*

**The main aim** of the study is to analyze the repair and maintenance documentation elements of the district heating of the large cities in the Russia Federation; to classify defects, to create and to process database of defectiveness.

**The methods used in the study.** The authors have used the advanced statistical treatment of results and experimental studies; methods of probability theory and mathematical statistics. When developing the databases of damage and work with them the software packages Microsoft Access database and Excel, Autodesk AutoCAD, Statistica were used.

**The results.** Based on the data collected by the heating system of the 21 cities in the Russian Federation the authors carried out a comprehensive analysis of damage: according to the terms of exploitation; on the elements of the heat supply system; for reasons of appearance, the elements and depending on the laying method. The «weak» points were identified and the causes of elements damage in the district heating systems were established.

### Key words:

Thermal network, thermal camera, incident, defect, corrosion.

### REFERENCES

1. Zinger N.M., Malafeev V.A. Tekhnicheskie problemy razvitiya teplofikatsii i tsentralizovannogo teplosnabzheniya v rabotakh VTI [Engineering problems of developing central heating in VTI works]. *Elektricheskie stantsii*, 1996, no. 7, pp. 23–28.
2. Dilman M.D. *Metody i modeli obosnovaniya nadezhnosti sistem teplosnabzheniya i istochnikov teploty. Dis. Kand. nauk* [Methods and models of justification of reliability of heat supply systems and heat sources. Cand. Diss.]. Moscow, 2000. 188 p.
3. Makarov A.A., Mitrova T.A., Kulagin V.A. Dolgosrochny prognoz razvitiya energetiki mira i Rossii [Long-term prediction of power engineering development in the world and in Russia]. *Ekonomicheskii zhurnal VSHE*, 2012, no. 2, pp. 172–204.
4. GOST 27.002–89 «Nadezhnost v tekhnike. Osnovnye ponyatiya. Terminy i opredeleniya» [State Standard 27.002–89. Reliability in engineering. Basic concepts. Terms and definitions]. Moscow, Izdatelstvo standartov, 1989. 36 p.
5. SNiP 41–02–2003 «Teplovyie seti» [SNiP 41–02–2003. Thermal networks]. Moscow, Gosstroy Rossii, FGUP TSPP, 2004. 52 p.
6. *Nadezhnost sistem energetiki. Terminologiya* [Reliability of power engineering systems. Terms]. Ed. by Yu.N. Rudenko. Moscow, Nauka Publ., 1980. Iss. 95, 42 p.
7. *Nadezhnost sistem energetiki (Sbornik rekomenduemykh terminov)* [Reliability of power engineering systems. Reference book of the main terms]. Ed. by N.I. Voropay. Moscow, Energiya Publ., 2007. 192 p.
8. Melkumov V.N., Kuznetsov S.N., Sklyarov K.A., Gorskikh A.A. Monitoring nadezhnosti teplovykh setey [Monitoring thermal network reliability]. *Nauchnyy vestnik VGASU. Stroitelstvo i arkhitektura*, 2010, no. 1 (17), pp. 52–58.
9. *Trebovaniya k skhemam teplosnabzheniya, poryadku ikh razrabotki i utverzhdeniya (utverzhdeny postanovleniem Pravitelstva RF ot 22 fevralya 2012, no. 154)* [Requirements to heat supply schemes, the order of their development and approval (approved by the decree of the RF government, 22 February 2012, no. 154)]. Moscow, Sobranie zakonodatelstva Rossiyskoy Federatsii, 2012, no. 10, 21 p.
10. *Metodicheskie rekomendatsii po razrabotke skhem teplosnabzheniya (utverzhdeny sovmestnym prikazom Minenergo RF i Minregionrazvitiya RF ot 29.12.2012 g. no 565/667)* [Guidelines in development of heat supply schemes (approved by the joint decree of the RF Ministry of Energy and, 29 December 2012, no. 565/667)]. Available at: [http://www.rosteplo.ru/Npb\\_files/npb\\_shablon.php?id=1557](http://www.rosteplo.ru/Npb_files/npb_shablon.php?id=1557) (accessed 01 November 2014).
11. Sokolov E.A. *Teplofikatsiya i teplovyie seti* [Direct heat supply and heating network]. Moscow, MEI Press, 2011. 472 p.
12. Ostrovskiy K.A. Klassifikatsiya i testirovaniye proizvoditelnosti sposobov khraneniya tablits v zadachakh obrabotki eksperimentalnykh dannykh [Classification and testing of the performance of the methods for table storage in the experimental data processing tasks]. *Molodoy ucheny*, 2011, no. 6, vol. 1, pp. 120–129.
13. Ayvazyan S.A., Enyukov I.S., Meshalkin L.D. *Prikladnaya statistika. Issledovanie zavisimostey* [Applied statistics. Study of dependence]. Moscow, Finansy i statistika Publ., 1985. 488 p.
14. Pugachev V.S. *Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika* [Probability theory and mathematical statistics]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2002. 496 p.
15. Gapeev P.V., Shiryaev A.N. Bayesian quickest detection problems for some diffusion processes. *Advances in Applied Probability*, 2013, vol. 45:1, pp. 164–185.
16. Kremer N.Sh. *Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika* [Probability theory and mathematical statistics]. Moscow, YUNITI-DANA Publ., 2010. 551 p.
17. Gorelova G.V. *Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika v primerakh i zadachakh s primeneniem Excel* [Probability theory and mathematical statistics in examples and tasks applying Excel]. Rostov n/D, Feniks Publ., 2005. 480 p.

18. Vukolov E.A. *Osnovy statisticheskogo analiza. Praktikum po statisticheskim metodam i issledovaniyu operatsii s ispolzovaniem paketov «Statistica» i «Excel»* [Fundamentals of statistical analysis. Laboratory course in statistical methods and research of operations using «Statistica» and «Excel»]. Moscow, Forum Publ., 2004. 464 p.
19. Klimenko A.V., Gasho E.G. Problemy povisheniya effektivnosti kommunalnoy energetiki na primere obektov ZhKKh TsAO g. Moskvy [Increase of cumulative power effectiveness by the example of the objects of ZhKKh TsAO in Moscow]. *Teploenergetika*, 2004, no. 6, pp. 54–59.
20. Rossiiskiy statisticheskiy ezhegodnik za periody s 2000 po 2013 gg. [Russian statistical yearbook for 2000–2013]. Moscow, Rosstat Publ., 2014. 693 p.
21. Prikaz ot 13 dekabrya 2000 g. № 285 ob utverzhdenii tipovoy instruktsii po tekhnicheskoy ekspluatatsii teplovykh setey sistem kommunalnogo teplosnabzheniya [Order of 13 December 2000, no. 285 on approval of standard instruction for technical maintenance of thermal networks in the systems of municipal heat supply]. Moscow, 2001. 36 p.
22. Freyman L.I., Makarov V.A., Bryskin I.B. *Potentsiostaticheskie metody v korrozionnykh issledovaniyakh i elektrokhimicheskoy zashchite* [Potentiostatic methods in corrosive investigations and electrochemical protection]. Moscow, Khimiya Publ., 1972. 240 p.
23. Bertolini L., Elsener B., Pedferri P., Redaelli E., Polder R.B. *Corrosion of Steel in Concrete: Prevention, Diagnosis, Repair*. Weinheim, Wiley-VCH, 2013. 340 p.
24. Suris M.A., Lipovskikh V.M. *Zashchita truboprovodov teplovykh setey ot naruzhnoy korrozii* [Protection of heat network pipelines from external corrosion]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 2003. 216 p.
25. Venkatasubramanian V., Rengaswamy R., Kavuri S., Yin K. A Review of Process Fault Detection and Diagnosis. Part I: Quantitative model-based methods. *Computers and Chemical Engineering*, 2003, vol. 27, pp. 293–311.
26. Detroja K.P., Gudi R.D., Patwardhan S.C. Plant-wide detection and diagnosis using correspondence analysis. *Control Engineering Practice*, December 2007, vol. 15, Iss. 12, pp. 1468–1483.
27. SO 153–34.17.464–2003. *Instruktsii po prodleniyu sroka sluzhby truboprovodov II, III, IV kategoriy* [SO 153–34.17.464–2003. Instructions on life extension of pipelines of the II, III, IV categories]. Moscow, TsPTI ORGRES Publ., 2004. 146 p.
28. PB 10–573–03. *Pravila ustroystva i besopasnoy ekspluatatsii truboprovodov para i goryachey vody* [PB 10–573–03. Rules for design and safe operation of steam and hot water lines]. Moscow, NTTs «Promyshlennaya besopasnost» Publ., 2008. 60 p.
29. Chistovich S.A. 100-letnyaya istoriya i budushchee teplofikatsii i tsentralizovannogo teplosnabzheniya v Rossii [100 years history and the future of direct heating and central heating in Russia]. *100 let teplofikatsii i tsentralizovannomu teplosnabzheniyu v Rossii. Sbornik statey* [100 anniversary of direct heating and central heating in Russia. Collection of articles]. Moscow, Novosti teplosnabzheniya Publ., 2003. pp. 198–208.

Received: 04 November 2014.