
О НОРМИРОВАНИИ НАДЕЖНОСТИ ТРУБ И ТРУБОПРОВОДОВ

Л.Г. Дерюшев, Фам Ха Хай

Кафедра водоснабжения
Институт инженерно-экологического строительства и механизации
Московский государственный строительный университет
Ярославское шоссе, 26, Москва, Россия, 129337

Обосновывается выбор показателей надежности труб и трубопроводов как критериев, по которым оценивается эффективность объекта при проектировании трубопроводных систем. На основании анализа статистических данных и нормативных требований по выбору номенклатуры показателей надежности технических устройств обосновывается, что надежность труб и трубопроводов необходимо оценивать показателями долговечности: $T_{ср}^*$, $T_{сл}$, $T_{γ}$. Если оценивается система трубопроводов, как, например, водоводы или распределительная трубопроводная сеть, то в качестве показателя надежности принимается $P(t)$ — вероятность безотказной работы за время t . Предлагается в действующий свод правил (СП) проектирования систем водоснабжения и водоотведения внести требования по нормированию и оценке надежности трубопроводов.

Ключевые слова: наружные системы водоснабжения и водоотведения, требования по проектированию трубопроводов, надежность систем водоснабжения и водоотведения, показатель надежности труб и трубопроводов.

Для строительства и ремонта трубопроводных систем водоснабжения и водоотведения применяются трубы различных видов. В Российской Федерации распространение получили трубы: асбестоцементные, железобетонные, керамические канализационные, пластмассовые, камнелитые, чугунные, стальные. Исторически сложилось, что из-за высоких потребительских свойств наибольшее распространение получили чугунные и стальные трубы. Они сравнительно легко монтируются, укомплектованы соединительными и фасонными деталями, имеют высокую прочность и долговечны. Например, до 1990-х гг. в нашей стране стальных труб выпускалось столько (18 169 тыс. т), сколько в США, ФРГ, Англии и Франции вместе взятых. И тем не менее труб не хватало. Объемы и темпы строительства трубопроводных систем не снижались, а восстановлению эксплуатируемых объектов не уделялось должного внимания. Поставщики и изготовители труб не гарантировали сроки их службы, не было государственных стандартов, которые бы регламентировали методы оценки надежности труб и трубопроводов. В этой связи объемы и сроки восстановления трубопроводов решались спонтанно, по мере накопления проблем по подаче и отводу воды, стоков, а также объемов финансирования. Кроме того, решения накопившихся задач при данном подходе не могли быть однозначно эффективны.

В настоящее время средства на реконструкцию и восстановление трубопроводных объектов заказчики получают без существенных ограничений. Однако строительство трубопроводов осуществляется по старым нормативам, без гарантий качества применяемых материалов, оборудования, параметров надежности на период их эксплуатации.

Правительство РФ приняло постановление от 16 февраля 2008 г. № 87 «О составе разделов проектной документации и требований к их содержанию» [7] и постановление от 5 сентября 2013 г. № 782 «О схемах водоснабжения и водоотведения», регламентирующие правила разработки и утверждения схем водоснабжения и водоотведения, а также требования к содержанию схем водоснабжения и водоотведения) [6]. В документах указывается на необходимость количественной оценки надежности проектируемых объектов. В сводах правил (СП) [9; 10] косвенно регламентируются требования надежности водопроводных и канализационных объектов. В них оговариваются условия функционирования трубопроводов в системах I, II и III категорий, но не указываются количественные критерии и методы оценки показателей надежности.

До последнего времени в практике научных исследований [1; 8] надежность трубопроводов оценивали показателями безотказности, такими как:

λ — интенсивность отказов трубопровода удельной длины $L = 1$ км за интервал времени $\Delta t = 1$ год, (1/км · год); $T_o = \frac{1}{\lambda}$ — средняя наработка на отказ, (годы).

Интенсивность отказов Λ трубопровода длиной L оценивалась по формуле

$$\Lambda = \lambda \cdot L. \quad (1)$$

Понятие *элемента* трубопровода, условия его отказа при этом не рассматривались. Обычно перечислялись только повреждения трубопровода.

Инженер Ю.А. Скотников еще на этапе первых исследований надежности трубопроводных систем отмечал, что «не все повреждения на трубопроводах вызывают их выключение для производства ремонтных работ» [8] (только 12% из общего числа повреждений). Он предупреждал, что применяемые подходы к оценке надежности трубопроводов «не выявляют степени их надежности, а дают только общее представление о работе сетей водопровода».

Трубопровод — это не только совокупность труб, но и соединительные детали (муфты, фланцы, раструбы, сварные швы и т.д.), запорно-регулирующая арматура, предохранительные клапаны, фасонные детали.

Анализ отчетных данных о повреждениях на трубопроводах систем водоснабжения ряда городов России (г. Псков, Пенза, Иркутск, Уфа и т.д.) показал, что примерно 88% повреждений приходится на стыковые соединения, и только 12% — на повреждения стенок труб. Из-за просадок грунта трубопроводы прогибаются, и стыковые соединения труб повреждаются. Неисправности запорно-регулирующей арматуры устраняются за период Δt , значительно меньше допустимого времени ремонта трубопроводов $\Delta t < T_{\text{под}}$, поэтому они не оказывают существенного влияния на условия бесперебойности подачи воды. Конечно, встречаются случаи, когда арматура малых диаметров не ремонтируется, поскольку не знают, где ее место расположения (колодцы закопаны, документация пропала, аппаратуры по выявлению повреждений на трубопроводах нет и т.д.), но они сравнительно редки и не оказывают существенного влияния на поток отказов трубопроводов. Во многих городах сохранились трубопроводы, смонтированные из стальных и чугунных труб, срок службы которых превышает 50 лет. В этой связи было

бы справедливо ожидать, что отчетные данные эксплуатирующих организаций по надежности трубопроводов должны содержать оценки в пределах $0,01 \leq \lambda_{\text{cp}} \leq 0,02$

($\lambda_{\text{cp}} = \frac{1}{50}$ или $\lambda_{\text{cp}} = \frac{1}{100}$ 1/км в год), а не $\lambda^* = 0,5 \div 1,2$ 1/км в год.

Традиционно, показатели трубопроводов λ^* публикуют [2; 11; 12] с разбивкой по диаметрам труб: наибольшие λ^*_{max} для малых диаметров труб D_{min} , а минимальные λ^*_{min} — для больших диаметров труб D_{max} . Объяснить это можно тем, что в отчетных данных эксплуатирующих организаций трубопроводных систем приводятся те оценки, которые получаются при обработке всей совокупности данных о повреждаемости изделий, без проверки статистических выборок на однородность, достоверность (не всякое повреждение обуславливает отказ изделия). Для любой городской водопроводной системы характерно, что соотношение трубопроводов по диаметрам и протяженности, соответствует значениям, которые отражает гистограмма на рисунке.

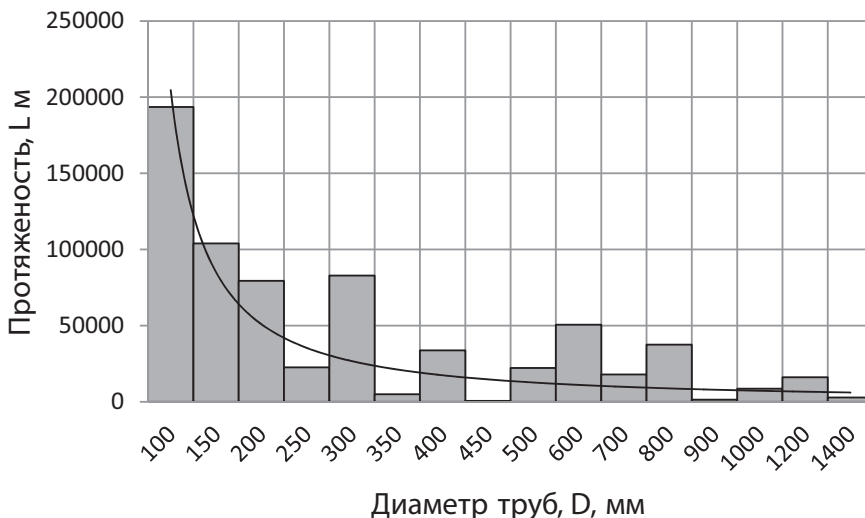


Рис. Гистограмма протяженности трубопроводов по диаметрам металлических труб системы водоснабжения г. Пензы

Если общая протяженность трубопроводов D100 мм в городской сети на порядок больше, чем протяженность трубопроводов D1200 мм, а «испытания» проводить по плану, при котором частота отказов r оценивается по формуле

$$r_i = \frac{n_i}{m}, \tag{2}$$

где n_i — количество наблюдений отказов за период Δt трубопроводов D_i длиной l_i (на интервале l_i); m — общая длина трубопроводов в системе,

то и результаты будут соответствующие: $\lambda^* D100 > \lambda^* D200 > \lambda^* D300 > \lambda^* D1200$.

Вышеприведенная закономерность изменения λ^* от D противоречит данным, которые приводятся в Нормах амортизационных отчислений на восстановление основных фондов народного хозяйства [5]. Нормы [5] (табл. 1) применялись де-

сятилетия ранее и применяются в настоящее время при обосновании средств на восстановление трубопроводных систем.

Таблица 1

Нормируемые сроки долговечности труб

Трубы	Средний срок службы $T_{сл}$, год		
	водопроводные сети	канализационные сети	илопроводы
Асбестоцементные	20	30	30
Железобетонные	30	20	—
Бетонные		20	
Керамические	—	40	—
Кирпичные	—	14,9	—
Чугунные	58,8	50	50
Стальные	20	25	20

Как видно из табл. 1, средние сроки службы трубопроводов (как совокупности труб, стыков, фасонных деталей и т.д., соединенных последовательно) изначально планировались вне зависимости от их протяженности и диаметров. Приведенные сведения подтверждаются и статистическими данными о наработках на отказ трубопроводных участков систем водоснабжения (табл. 2).

Таблица 2

Данные о неисправностях трубопроводов

Срок службы, лет	Районы водопроводной сети										Среднее n
	1		2		3		4		5		
	n	L , км	n	L , км	n	L , км	n	L , км	n	L , км	
1994 год											
1—5	0	9,3	0	16,7	0	41,3	2	51,8	2	37,1	0,8
5—10	0	9,3	2	16,7	2	41,3	8	51,8	0	37,1	2,4
10—15	0	9,3	1	16,7	8	41,3	18	51,8	10	37,1	7,4
15—20	7	9,3	3	16,7	1	41,3	15	51,8	4	37,1	6
> 20	8	9,3	11	16,7	15	41,3	42	51,8	11	37,1	17,4
1995 год											
1—5	0	9,3	0	16,7	1	41,3	0	51,8	1	37,1	0,4
5—10	0	9,3	2	16,7	32	41,3	16	51,8	10	37,1	12
10—15	1	9,3	2	16,7	27	41,3	27	51,8	18	37,1	15
15—20	10	9,3	0	16,7	15	41,3	25	51,8	5	37,1	11
> 20	19	9,3	5	16,7	25	41,3	48	51,8	18	37,1	23
1996 год											
1—5	0	9,3	0	16,7	1	41,3	4	51,8	0	37,1	1
5—10	0	9,3	2	16,7	35	41,3	10	51,8	3	37,1	10
10—15	2	9,3	1	16,7	18	41,3	37	51,8	6	37,1	12,8
15—20	5	9,3	2	16,7	22	41,3	28	51,8	9	37,1	13,2
> 20	14	9,3	14	16,7	15	41,3	40	51,8	15	37,1	19,6
1997 год											
1—5	1	9,3	0	16,7	1	41,3	1	51,8	0	37,1	0,6
5—10	2	9,3	1	16,7	6	41,3	1	51,8	0	37,1	2
10—15	2	9,3	0	16,7	54	41,3	24	51,8	3	37,1	16,6
15—20	3	9,3	3	16,7	33	41,3	11	51,8	6	37,1	11,2
> 20	17	9,3	16	16,7	26	41,3	28	51,8	17	37,1	20,8

В таблице 2 приведены отчетные данные МГП «Мосводоканал» о повреждениях трубопроводов в различных районах г. Москвы (диаметр трубы 150 мм, материал — сталь, количество повреждений n_i на участке длиной L_i). Из табл. 2 видно, что количество неисправностей, возникавших на трубопроводах, в большей мере зависит от места нахождения участка сети, его условий работы, а не от протяженности. На отдельных, более протяженных участках сети возникало меньше аварий, чем на коротких участках.

Очевидно, что форма предоставленной статистической информации далека от совершенства, но она лучшая из отчетных данных других городов России. Во всяком случае она может служить источником информации для получения представления о наличии закономерностей появления неисправностей в трубопроводных системах и подтверждением излагаемых предложений о нормировании показателей надежности труб и трубопроводов, а также совершенствованию отчетной документации по эксплуатации сооружений и оборудования систем водоснабжения и водоотведения.

При обосновании показателей надежности труб и трубопроводов необходимо руководствоваться МУ—39 Методическими указаниями по выбору нормируемых показателей надежности технических устройств [4]. Согласно рекомендациям, изложенным в МУ—39, трубам и трубопроводам систем водоснабжения и водоотведения соответствует шифр «2231» по классификации общности факторов, влияющих на выбор номенклатуры показателей надежности: 2 (подкласс изделия) — ремонтируемое, 2 (критерий продолжительности эксплуатации) — до первого отказа или до достижения предельного состояния; 3 (временной режим использования) — циклически не регулярный; 1 (доминирующий фактор при оценке последствий отказа) — наличие отказа независимо от длительности простоя. Показателями надежности изделия с данным шифром являются: T_{cp}^* — условная средняя наработка до первого отказа или $T_{\text{сл}}$ — срок службы (долговечности).

По аналогии системе водоводов (состоящей из 2, 3 ..., n параллельных трубопроводов), может быть присвоен шифр «2232», а показателями ее надежности могут служить: $P(t)$ — вероятность безотказной работы за время t , а также T_{γ} — ресурс (выбирается гамма-процентный, средний, назначенный и т.п. — решается при нормировании показателей надежности).

Следовательно, можно утверждать, что основными показателями надежности труб, трубопроводов и системы водоводов являются: T_{cp}^* , $T_{\text{сл}}$, T_{γ} , $P(t)$. Поскольку перечисленные показатели отражают и экономическую эффективность трубопроводов, можно допустить, что они должны нормироваться, входить в перечень стандартных характеристик труб и трубопроводных систем [9].

Справедливость вывода о выборе показателей долговечности для труб и трубопроводов подтверждается и теоретическими данными [3; 12].

Из теории надежности известно, что для объекта, подобного водопроводному или канализационному трубопроводу, модель надежности может разрабатываться с учетом теоремы [3]: если система из n элементов начала функционировать в бесконечно удаленный момент времени в прошлом (элементы системы не обязательно идентичны, но взаимно независимы; отказ каждого элемента приводит

к отказу всей системы; в случае отказа каждый из элементов заменяется исправным; процесс обнаружения и поиска неисправностей и их последующего устранения практически не занимает времени), то количество отказов в интервале времени $(0-t_0)$ зависит лишь от t_0 , а суммарный параметр интенсивности отказов L остается постоянным при возрастании числа элементов n .

Поскольку изменение потребительских свойств труб и трубопроводов происходит в основном по причинам износа (старения материала, коррозии) или механического повреждения при статическом или динамическом воздействии грунта, транспорта, можно допустить для них выполнение условия $T_0 \equiv T_{сл}$ (совпадения средней наработки на отказ и среднего срока службы), как для устройств с отказами износостойкого характера [3]. Кроме того, условием отказа трубы или трубопровода следует считать не любую причину их повреждения, а возникновение необходимости замены трубы или элемента трубопровода. За элемент трубопроводного объекта принимается участок трубопровода, ограниченный с двух сторон запорной арматурой [1].

Если трубопровод (водовод) состоит из n элементов (ремонтных участков), то его надо рассматривать как систему. Для системы трубопроводов применяется показатель надежности $P(t)$ – вероятность безотказной работы за время t . Обычно рассматривается критическое время t для системы. Например, для водоводов критическим является время восстановления трубопровода, которое для водоводов нормируется в пределах $12 \leq t \leq 72$ ч. Если система водоводов состоит из двух, трех параллельных трубопроводов, то количество ее ремонтных участков назначается по условию совместной работы с насосами при подаче воды потребителям заданной категории. Поскольку практически одновременный отказ двух ремонтных участков невозможен $\{F(t) = (1 - P(t) \leq 0,001)\}$, надежность системы водоводов будет оцениваться по $P(t)$ вероятности безотказной работы одного элемента (наименее «прочного»). При данном подходе к оценке показателей надежности труб и трубопроводов не возникает противоречий между теорией и практикой.

Если придерживаться сложившихся представлений о показателях надежности труб и трубопроводов в практике эксплуатации объектов водоснабжения и водоотведения, то противоречия будут возникать на любом этапе оценки их эффективности строительства или проектирования.

В этом можно убедиться на примере.

Стальной водовод длиной L имеет интенсивность отказов $\lambda = 0,5 \div 0,93$ 1/(год · км).

Если длина трубопровода $L = 5$ км (предельная длина ремонтного участка), то средняя наработка его на отказ будет равна: $T_0 = 1 / \lambda L = 0,4 \div 0,2$ года, и далее:

если $L = 5$ м – $T_0 = 400 \div 215$ лет;

если $L = 1$ м – $T_0 = 2000 \div 1075$ лет и т.д.

Очевидно, если трубы равнозначны по прочности, дате укладки, условиям работы и эксплуатации, то как можно допускать что их наработки на отказ(сроки службы) различаются в десятки тысяч раз.

Выводы. Надежность труб и трубопроводов необходимо оценивать сроком службы.

Элементом трубопроводной системы является ремонтный участок.

Основными показателями надежности труб и трубопроводов и являются условная средняя наработка до первого отказа T_{cp}^* , или срок службы (долговечность) $T_{сл}$.

Основными показателями надежности системы водоводов являются: ресурс T_{γ} и, $P(t)$ — вероятность безотказной работы за время t .

Предлагается внести в свод правил по проектированию систем водоснабжения и водоотведения требования по нормированию и оценке надежности трубопроводов.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Абрамов Н.Н.* Надежность систем водоснабжения. Стройиздат. М., 1979.
- [2] *Гальперин Е.М.* Определение надежности функционирования водопроводной сети // *Водоснабжение и сан. техника*. 1989. № 6. С. 11—12.
- [3] *Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д.* Математические методы в теории надежности. М.: Наука. 1965. С. 208—224.
- [4] МУ 3-69. Методические указания. Методика выбора номенклатуры нормируемых показателей надежности технических устройств. М., 1970.
- [5] Нормы амортизационных отчислений на полное восстановление основных фондов народного хозяйства СССР. Постановление Совета Министров СССР 22.10.1990 г. № 1072. С. 14—15. Консультант плюс. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_1927
- [6] Постановление Правительства РФ от 5 сентября 2013 г. № 782 «О схемах водоснабжения и водоотведения». Правила разработки и утверждения схем водоснабжения и водоотведения. Требования к содержанию схем водоснабжения и водоотведения // *Российская газета*. URL: <http://www.rg.ru/2013/09/16/voda-sxemy-site-dok.html>
- [7] Постановление Правительства РФ от 16.02.2008 № 87 «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию».
- [8] *Скотников Ю.А.* Статистика поврежденных водопроводных сетей и организация ремонтных работ // Тезисы докладов Всесоюзной конференции по надежности систем водоснабжения. «Проблемы надежности систем водоснабжения». М.: МИСИ, 1973. С. 53—60.
- [9] СП 31.13330.2012. Свод правил. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения «Актуализированная редакция СНиП 2.04.02-84». М., 2012.
- [10] СП 32.13330.2012. Свод правил. Канализация. Наружные сети и сооружения. «Актуализированная редакция СНиП 2.04.03-85». М., 2012.
- [11] *Хай Л.Х.* Исследование надежности водопроводных сетей и пути ее обеспечения в условиях Вьетнама: дисс. ... канд. техн. наук. М.: МИСИ, 2002.
- [12] *Шпет Т.А., Кузенков Е.В.* Трубы из высокопрочного чугуна — обеспечение надежности и долгосрочной эксплуатации трубопроводов // *Водоснабжение и санитарная техника*. 2001. № 11. С. 32—34.

ABOUT RATIONING RELIABILITY PIPES AND PIPELINES

Deryushev L.G., Pham Ha Hai

Institute of Engineering and ecological construction and mechanization
Moscow state university of civil engineering
Yaroslavl highway, 26, Moscow, Russia, 129337

The choice of reliability indices of pipes and conduits as criteria by which to assess the effectiveness of the object in the design of piping systems. Based on the analysis of statistical data and regulatory requirements for the selection of the range of indicators of reliability of technical devices is justified that the reliability of pipes and pipelines must be assessed indicators of longevity: $T_{\text{ср}}^*$, $T_{\text{сл}}$, T_{γ} . If it is judged piping system, such as conduits or piping distribution network, the reliability is taken as a measure of $P(t)$ — reliabilities for time t . It is proposed to the existing set of rules (SR) design water and wastewater systems to make the requirements for standardization and evaluation of the reliability of pipelines.

Key words: external water supply and drainage systems, requirements for pipeline design, reliability of water supply and drainage systems, reliability index of pipes and pipelines.

REFERENCES

- [1] Abramov N.N. Nadezhnost' sistem vodosnabzhenija. [The reliability of water supply systems]. Strojizdat. M., 1979. pp. 100—106.
- [2] Gal'perin E.M. Opredelenie nadezhnosti funkcionirovanija vodoprovodnoj seti [Determination reliability of the water supply]. Vodosnabzhenie i san. Tehnika [Water and sanitary engineering]. 1989. № 6. pp. 11—12.
- [3] Gnedenko B.V., Beljaev Ju.K., Solov'ev A.D. Matematicheskie metody v teorii nadezhnosti. [Mathematical methods in reliability theory] «Nauka» [Science]. M., 1965. pp. 208—224.
- [4] МУ 3-69. Metodicheskie ukazaniya. Metodika vybora nomenklatury normiruemykh pokazatelej nadezhnosti tehniceskikh ustrojstv [Methodical instructions. Methods of selecting the range of standardized indicators of reliability of technical devices]. M., 1970. pp. 6—10.
- [5] Normy amortizacionnykh otchislenij na polnoe vosstanovlenie osnovnykh fondov narodnogo hozjajstva SSSR. Postanovlenie Soveta Ministrov SSSR 22.10.1990 g. № 1072. S. 14—15. Konsul'tant pljus. [Depreciation Rates of Fixed Assets of the National Economy of the USSR // Decision of the Council of Ministers of 22.10.1990 № 1072. C. 14—15. Consultant Plus. Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_1927
- [6] Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 5 sentjabrja 2013 g. N 782 "O shemah vodosnabzhenija i vodootvedenija". Pravila razrabotki i utverzhdenija shem vodosnabzhenija i vodootvedenija. Trebovanija k sodержaniju shem vodosnabzhenija i vodootvedenija. [Resolution of the Russian Government dated September 5, 2013 N 782 "On schemes for water and sanitation." Rules for the development and approval of water supply and sanitation schemes. Requirements for the content of schemes of water supply and sanitation]. Russian newspaper. Available at: <http://www.rg.ru/2013/09/16/voda-sxemy-site-dok.html>
- [7] Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 16.02.2008 N 87 "O sostave razdelov proektnoj dokumentacii i trebovanijah k ih sodержaniju" (s izm. i dop., vstupajushhimi v silu s 01.01.2014). [Government Decree of 16.02.2008 N 87 "On the part of sections of project documentation and requirements to their content" (rev. And ext., Enters into force on 01.01.2014)].
- [8] Skotnikov Ju.A. Statistika povrezhdenij vodoprovodnykh setej i organizacija remontnykh rabot. [Statistics damaged water networks and organizing repairs.]. Tezisy dokladov Vsesojuznoj konferencii po nadezhnosti sistem vodosnabzhenija. «Problemy nadezhnosti sistem vodosnabzhenija» [Abstracts of the All-Union Conference on the reliability of water supply systems. "The problems of reliability of water supply systems"]. M.: MISI, [Moscow Engineering Building Institute]. 1973. pp. 53—60.
- [9] SP 31.13330.2012. Svod pravil. Vodosnabzhenie. Naruzhnye seti i sooruzhenija «Aktualizirovannaja redakcija SNiP 2.04.02-84» (utv. Prikazom Min regiona Rossii ot 29.12.2011 № 635/14 i vveden v dejstvie s 01 janvarja 2013 g.). [Rulebook. Water supply. External networks and facilities "The updated edition of SNIP 2.04.02-84" (app. Order Min region of Russia from 29.12.2011 № 635/14 and entered into force on 1 January 2013)]. M., 2012. pp. 2—82.
- [10] SP 32.13330.2012. Svod pravil. Kanalizacija. Naruzhnye seti i sooruzhenija. «Aktualizirovannaja redakcija SNiP 2.04.03-85» (utv. Prikazom Min regiona Rossii ot 29.12.2011 № 635/11 i vveden

v dejstvie s 01 janvarja 2013 g.) [Rulebook. Sewer. External networks and facilities. “The updated edition of SNIP 2.04.03-85” (app. Order Min region of Russia from 29.12.2011 № 635/11 and entered into force from January 01, 2013)]. M., 2012. pp. 2—63.

- [11] Haj L.H. Issledovanie nadezhnosti vodoprovodnyh setej i puti ee obespechenija v uslovijah V'etnama. [Research of reliability of water supply systems and ways to ensure that in the conditions of Vietnam.] Dissertacija kand. tehn.nauk. [Research of reliability of water supply systems and ways to ensure that in the conditions of Vietnam.] MISI [Moscow Engineering Building Institute]. 2002.
- [12] Shpet T.A., Kuzenkov E.V. Truby iz vysokoprochnogo chuguna — obespechenie nadezhnosti i dolgosrochnoj jekspluatacii truboprovodov [Pipes of ductile cast iron — ensuring reliability and long-term operation of pipelines]. Vodosnabzhenie i sanitarnaja tehnika. [Water supply and sanitary engineering]. 2001. № 11. pp. 32—34.