

НАДЕЖНОСТЬ ВОДОПРОВОДНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ТРУБ УКРАИНЫ

Александр Матяш

Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка
Адрес: Украина, 36011, г Полтава, Первомайский проспект, 24
E-mail: kanc@pntu.edu.ua

Аннотация. Водопроводные сети являются одним из главных и весомых элементов системы подачи и распределения воды, в связи с этим при их проектировании следует обязательно учитывать аспекты надежности трубопроводов. В статье установлены причины отказов, вычислено значение удельного параметра потока отказов и построены аналитические зависимости для металлических водопроводных труб четырех городов Украины.

Ключевые слова: водопроводные металлические трубы, показатели надежности, безотказность, ремонтпригодность.

ВВЕДЕНИЕ

На данном этапе развития систем подачи и распределения воды значительное внимание следует уделять именно надежности как отдельных элементов, так и системы водоснабжения в целом. Как показала практика эксплуатации систем водоснабжения, игнорирование вопросов надежности приводит к быстрому износу материала, росту количества аварий, повышению энергопотребления, что негативно отражается на работе водоканалов и существенно увеличивает количество нареканий населения на неудовлетворительное водоснабжение.

Одним из самых весомых элементов системы подачи и распределения воды на пути к потребителю являются водопроводные сети, порывы на которых оставляют значительное количество населения городов и населенных пунктов Украины без воды на время ликвидации аварии. Согласно постановлению Кабинета Министров Украины № 630 от 2005 [17], где требуется чтобы "...допустимый срок отклонения показателей с бесперебойного водоснабжения составлял не более 6 часов в сутки и не более 2 раз в месяц". ДБН В.2.5 – 74: 2013 говорит [6]: "...централизованные системы водоснабжения по надежности действия или по степени обеспеченности подачи воды подразделяют на три категории ...":

- для 1 категории допускается перерыв в подаче воды не более чем на 10 мин;
- для 2 категории допускается перерыв в подаче воды не более чем на 6 часов;
- для 3 категории допускается перерыв в подаче воды не более чем на 24 часа.

Нормы, указанные в нормативно-правовых документах, могут быть выполнены для системы подачи и распределения воды в случае соответствия требованиям надежности отдельных элементов системы водоснабжения, в том числе и водопроводных сетей.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ, МАТЕРИАЛОВ, МЕТОДОВ

Основы науки надежности в системе водоснабжения заложили ученые бывшего Советского Союза Н.Н. Абрамов (Московская школа) [1–5] и Ю.А. Ильин (Ленинградская школа)

[8 – 9]. В Украине значительный вклад в решение вопросов надежности внесли доктора технических наук, профессора В.Г. Новохатний [13, 15, 16], А.А.Ткачук [21], П.Д. Хоружый [23], А.Я. Найманов [14]. Среди специалистов в области водоснабжения следует отметить С.В. Храменкова (Мосводоканал), О.Г. Примина (Институт МосводоканалНДИпроект) [19, 24], Е.В.Кузенкова (ОАО "Липецкий металлургический завод "Свободный сокол") [11] и другие.

Для установления основных причин отказов, нахождения количественных и качественных показателей надежности водопроводных труб направляли и направляют свои усилия ряд украинских и зарубежных ученых, а именно: В.С.Макогонов [12], Н.А.Украинец [22], А.Д.Сабитов [20], Л.Д. Климиашвили [10], Н. Hotłóś, F. Piechurski, JR Rak, A. Studzinski, B. Tchórzewska-Cieślak [25–28]. Однако анализ научных источников показывает, что полученные числовые показатели надежности водопроводных трубопроводов требуют дополнительных исследований в каждом конкретном случае, поскольку на безотказность водопроводных сетей влияет ряд факторов как при проектировании, так и эксплуатации сетей.

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для выполнения расчетов надежности, получения числовых значений, проведения сравнительного анализа и разработки рекомендаций по повышению надежности следует оперировать значениями безотказной работы отдельных элементов системы подачи и распределения воды. С этой целью были собраны и обработаны данные по безотказной работе водопроводных металлических труб четырех городов Украины, а именно: Полтавы, Луцка, Кременчуга и Карловки Полтавской области. На основе статистического анализа установлены количественные, качественные показатели надежности и построены аналитические зависимости удельного параметра потока отказов от диаметра труб.

ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

Качественный анализ повреждений труб

Для выполнения анализа повреждений водопроводных труб были использованы материалы

"Водоканалов" областных центров четырех городов, где сведения об отказах элементов систем водоснабжения регистрируются в конце каждого дня мастерами соответствующих участков. Для анализа надежности труб участков водопроводных сетей были собраны и обработаны статистические данные городов Полтава, Кременчуг, Луцк и Карловка Полтавской области. Используются данные о повреждениях для металлических труб диаметром 100...500 мм за 4–6 лет (2003...2008 гг.). Перед объединением статистических данных в генеральную выборку выполнена проверка отдельных выборок на аномальность результатов наблюдения [18].

Система водоснабжения г. Полтава

Для того чтобы оценить безотказность труб участков водопроводной сети города Полтава были собраны и обработаны статистические данные для металлических труб диаметром 100...500 мм за 5 лет (2004...2008 гг.). Водопроводные сети города имеют протяженность более 630 км и состоят из чугунных (65%), стальных (33%) труб, незначительный процент составляют асбестоцементные и пластмассовые трубы (2%). Статистические данные по повреждениям металлических водопроводных труб на участках водопроводной сети г. Полтава приведены в таблице 1.

Таблица 1. Обобщенные статистические данные по повреждениям металлических труб г. Полтава

Table 1. Generalized statistics on damage metal pipes Poltava

| Трубы участков сети | Диаметр D , мм | Общая длина проанализированных труб, L , км | Количество зафиксированных повреждений на участках сети, n |
|------------------------|------------------|---|--|
| Чугунные (серый чугун) | 100 | 29,26 | 427 |
| | 150 | 14,31 | 194 |
| | 200 | 12,67 | 122 |
| | 250 | 2,9 | 23 |
| | 300 | 2,77 | 19 |
| | 500 | 1,966 | 7 |
| Стальные | 100 | 11,4 | 218 |
| | 150 | 2,989 | 56 |
| | 200 | 3,763 | 69 |
| | 250 | 0,931 | 12 |
| | 300 | 0,897 | 11 |
| | 500 | 3,052 | 18 |

Анализ статистических данных позволил выделить основные виды повреждений для металлических водопроводных труб. Для чугунных труб это: выход цемента из раструбных соединений – 45%, поперечные переломы – 43%, коррозия – 10%, повреждения землеройной техникой – 2%. Для стальных труб: сквозные свищи – 48%, нарушение сварных соединений – 36%, коррозия – 14%, повреждения землеройной техникой – 2% и другие (рис. 1, 2).

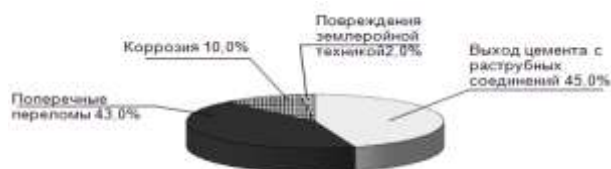


Рис. 1. Виды повреждений чугунных водопроводных труб г. Полтава

Fig. 1. Types of defects of iron water pipes of Poltava city

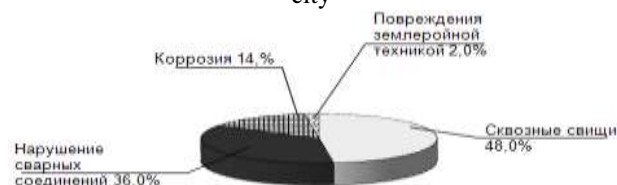


Рис. 2. Виды повреждений стальных водопроводных труб г. Полтава

Fig. 2. Types of defects of steel water pipes of Poltava city

Система водоснабжения г. Кременчуг Полтавской области

Для г. Кременчуг Полтавской области срок наблюдения металлических труб диаметром 50...400 мм составлял 5 лет (2004...2008 гг.). Общая протяженность водопроводной сети составляет около 424 км. Состоит она из чугунных (55%), стальных (41%), асбестоцементных и пластмассовых труб (4%). Статистические данные по повреждениям металлических водопроводных труб на участках водопроводной сети г. Кременчуг приведены в таблице 2.

Таблица 2. Обобщенные статистические данные по повреждениям металлических труб г. Кременчуг

Table 2. Generalized statistics on damage metal pipes Kremenichug town

| Трубы участков сети | Диаметр D , мм | Общая длина проанализированных труб, L , км | Количество зафиксированных повреждений на участках сети, n |
|------------------------|------------------|---|--|
| Чугунные (серый чугун) | 50 | 0,980 | 29 |
| | 100 | 23,633 | 389 |
| | 150 | 14,538 | 150 |
| | 200 | 10,045 | 99 |
| | 250 | 11,681 | 72 |
| | 300 | 13,260 | 74 |
| Стальные | 50 | 3,1900 | 36 |
| | 100 | 14,303 | 142 |
| | 150 | 5,310 | 50 |
| | 200 | 3,921 | 34 |
| | 250 | 6,300 | 39 |
| | 300 | 7,180 | 28 |

Как показал качественный анализ, основными видами повреждений для чугунных труб являются: выход цемента из раструбных соединений – 68 %, поперечные переломы – 19%, коррозия – 9%, повреждения землеройной техникой – 4 %; для стальных труб: сквозные свищи – 71 %, нарушение

сварных соединений – 18%, коррозия – 7%, повреждения землеройной техникой – 4% (рис. 3, 4).

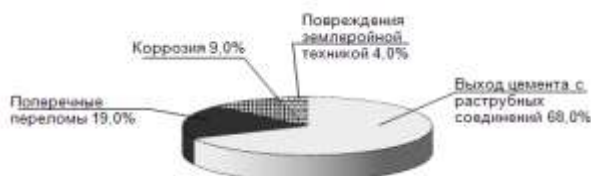


Рис. 3. Виды повреждений чугунных водопроводных труб г. Кременчуг
Fig. 3. Types of defects of iron water pipes of Kremenchug town

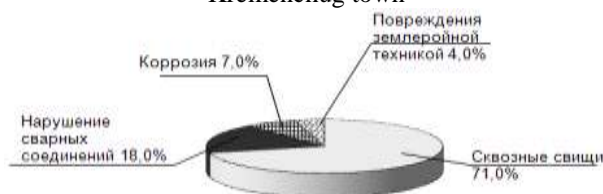


Рис. 4. Виды повреждений стальных водопроводных труб г. Кременчуг
Fig. 4. Types of defects of steel water pipes of Kremenchug town

Система водоснабжения г. Луцк

Водопроводная сеть г. Луцк состоит из чугунных (52%), стальных (38%) труб, незначительный процент составляют асбестоцементные и пластмассовые трубы (10%). Обобщенные статистические данные по отказам чугунных и стальных труб приведены в таблице 3.

Таблица 3. Обобщенные статистические данные по повреждениям металлических труб г. Луцк
Table 3. Generalized statistics on damage metal pipes Lutsk

| Трубы участков сети | Диаметр D , мм | Общая длина проанализированных труб, L , км | Количество зафиксированных повреждений на участках сети, n |
|------------------------|------------------|---|--|
| Чугунные (серый чугун) | 100 | 19,222 | 288 |
| | 150 | 45,635 | 270 |
| | 200 | 30,087 | 72 |
| | 250 | 8,600 | 34 |
| | 300 | 41,355 | 28 |
| Стальные | 100 | 41,370 | 1075 |
| | 150 | 20,750 | 456 |
| | 200 | 12,850 | 160 |
| | 250 | 10,450 | 97 |
| | 300 | 20,889 | 59 |

Анализ статистических данных о повреждениях металлических труб диаметром 100...300мм за 4,5 лет (2004...2008 гг.) показал, что основными видами повреждений для чугунных труб являются: выход цемента с раструбов – 80,5%, поперечные переломы – 17,4%, коррозия – 1,4%, повреждения землеройной техникой – 0,7%; для стальных труб: сквозные свищи – 87,5%, нарушение сварных соединений – 11%, коррозия – 1%, повреждения землеройной техникой – 0,5% (рис. 5, 6).



Рис. 5. Виды повреждений чугунных водопроводных труб г. Луцк
Fig. 5. Types of defects of iron water pipes of Lutsk city

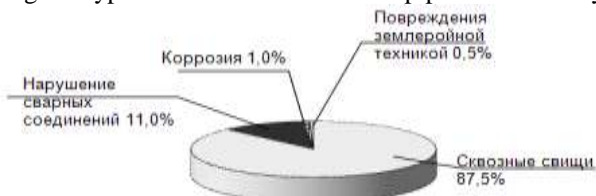


Рис. 6. Виды повреждений стальных водопроводных труб г. Луцк
Fig. 6. Types of defects of steel water pipes of Lutsk city

Система водоснабжения г. Карловка Полтавской области

Общая протяженность водопроводной сети г. Карловка составляет около 50 км. Проанализированы статистические данные о повреждениях металлических труб диаметром 50...300 мм за 7 лет (2002–2008 гг.). Стальные водопроводы составляют 61% от общей протяженности сетей, чугунные – 32%, 7% – это асбестоцементные трубы и трубы из полиэтилена. Обобщенные статистические данные об отказах чугунных и стальных труб приведены в таблице 4.

Таблица 4. Обобщенные статистические данные по отказам металлических труб г. Карловка
Table 4. Generalized statistics on damage metal pipes Karlivka

| Трубы участков сети | Диаметр D , мм | Общая длина проанализированных труб, L , км | Количество зафиксированных повреждений на участках сети, n |
|------------------------|------------------|---|--|
| Чугунные (серый чугун) | 50 | 0,4 | 8 |
| | 100 | 3,904 | 51 |
| | 150 | 5,054 | 47 |
| | 200 | 2,824 | 22 |
| | 250 | 0,952 | 5 |
| | 300 | 3,075 | 14 |
| Стальные | 50 | 6,684 | 150 |
| | 76 | 1,902 | 33 |
| | 89 | 1,5 | 29 |
| | 100 | 9,265 | 177 |
| | 125 | 2,34 | 27 |
| | 150 | 2,344 | 35 |
| | 200 | 0,8 | 7 |
| | 250 | 5,542 | 47 |

Основными видами повреждений чугунных труб являются: выход цемента с раструбов (65%), поперечные переломы (23%), коррозия (8%), повреждения землеройной техникой (4%), стальных труб – сквозные свищи (74%), нарушение сварных соединений (21%), коррозия (4%), повреждения

землеройной техникой (1%), что показано на рисунках 7 и 8.

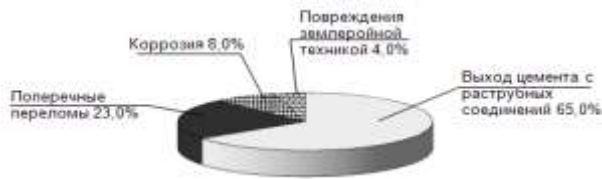


Рис. 7 Виды повреждений чугунных водопроводных труб г. Карловка Полтавской области
Fig. 7. Types of defects of iron water pipes of Karlivka town, Poltava region

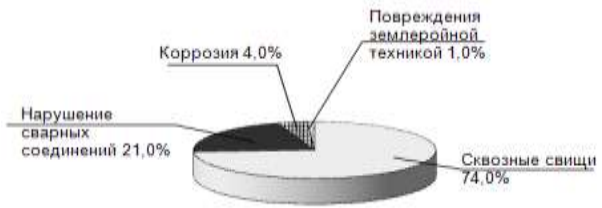


Рис. 8. Виды повреждений стальных водопроводных труб г. Карловка Полтавской области
Fig. 8. Types of defects of steel water pipes of Karlivka town, Poltava region

**Количественный анализ повреждений труб.
Система водоснабжения г. Полтава**

В качестве основного показателя безотказности водопроводных труб принято наработка на отказ T 1 км трубопровода и обратной ему величины – параметр потока отказов ω_0 1 км трубопровода. Для расчета среднего значения параметра потока отказов 1 км трубопровода ω_0 использована следующая формула:

$$\omega_0 = n / (t \cdot \sum L), \tag{1}$$

где: n – количество отказов участка водопроводной сети; t – срок наблюдения; $\sum L$ – протяженность участков водопроводной сети соответствующего диаметра, км.

Специалистами по водоснабжению [24] принята статистическая гипотеза экспоненциального распределения параметра потока отказов ω_0 1 км трубопровода. Анализ статистических данных в исследуемых городах проводился в течение фиксированного времени, а полученные значения параметра потока отказов ω_0 были случайными. Интервальные оценки для параметра потока отказов, исчисленные в соответствии с [7] по формулам (табл. 5):

- нижняя интервальная оценка параметра потока отказов ω_0 :

$$\omega_0^n = \omega_0 / r_1; \tag{2}$$

- верхняя интервальная оценка параметра потока отказов ω_0

$$\omega_0^s = \omega_0 / r_2, \tag{3}$$

где: r_1, r_2 – коэффициенты для определения интервальных оценок в случае экспоненциального распределения, принимаются по таблицам 6 и 7 [7]. Доверительная вероятность принята $\gamma = 0,95$.

Таблица 5. Расчет интервальных оценок для параметра потока отказов ω_0 г. Полтава

Table 5. Calculation interval estimates for the failure flow parameter ω_0 of Poltava city

| Трубы участков сети | Диаметр D , мм | Объем выборки n | Параметр потока отказов ω_0 , 1/год·км: | | |
|------------------------|------------------|-------------------|--|---------------------|---------|
| | | | среднее значение | интервальная оценка | |
| | | | | нижняя | верхняя |
| Чугунные (серый чугун) | 100 | 427 | 2,92 | 2,68 | 3,16 |
| | 150 | 194 | 2,71 | 2,40 | 3,05 |
| | 200 | 122 | 1,92 | 1,64 | 2,23 |
| | 250 | 23 | 1,58 | 1,07 | 2,24 |
| | 300 | 19 | 1,37 | 0,90 | 2,01 |
| Стальные | 100 | 218 | 3,81 | 3,37 | 4,26 |
| | 150 | 56 | 3,74 | 2,97 | 4,68 |
| | 200 | 69 | 3,66 | 2,98 | 4,46 |
| | 250 | 12 | 2,57 | 1,49 | 4,15 |
| | 300 | 11 | 2,45 | 1,38 | 4,08 |

Средневзвешенное значение параметра потока отказов ω_0 независимо от диаметра вычислено по формуле:

$$\omega_0^{mid} = \frac{\omega_{01}L_1 + \omega_{02}L_2 + \dots + \omega_{0n}L_n}{L_1 + L_2 + \dots + L_n}. \tag{4}$$

Средневзвешенное значение параметра потока отказов ω_0 , независимо от диаметра, для системы водоснабжения г. Полтава составляет:

- $\omega_0^{mid} = 2,54$ – для чугунных труб,
- $\omega_0^{mid} = 3,66$ – для стальных труб.

Система водоснабжения г. Кременчуг Полтавской области

Для выполнения количественного анализа статистических данных повреждений на сети водоснабжения города Кременчуг использована формула 1. Интервальные оценки вычислены по формулам 2 и 3 (табл. 6).

Таблица 6. Расчет интервальных оценок для параметра потока отказов ω_0 г. Кременчуг Полтавской области

Table 6. Calculation interval estimates for the failure flow parameter ω_0 of Kremenchug town

| Трубы участков сети | Диаметр D , мм | Объем выборки n | Параметр потока отказов ω_0 , 1/год·км: | | |
|------------------------|------------------|-------------------|--|---------------------|---------|
| | | | среднее значение | интервальная оценка | |
| | | | | нижняя | верхняя |
| Чугунные (серый чугун) | 50 | 29 | 4,93 | 3,52 | 6,66 |
| | 100 | 389 | 2,74 | 2,52 | 2,99 |
| | 150 | 150 | 1,72 | 1,50 | 1,98 |
| | 200 | 99 | 1,64 | 1,38 | 1,93 |
| | 250 | 72 | 1,03 | 0,84 | 1,25 |
| Стальные | 300 | 74 | 0,93 | 0,76 | 1,13 |
| | 50 | 36 | 1,88 | 1,41 | 2,49 |
| | 100 | 142 | 1,65 | 1,43 | 1,91 |
| | 150 | 50 | 1,57 | 1,23 | 1,99 |
| | 200 | 34 | 1,45 | 1,07 | 1,91 |
| 250 | 39 | 1,03 | 0,78 | 1,34 | |
| 300 | 28 | 0,65 | 0,46 | 0,88 | |

Средневзвешенное значение параметра потока отказов ω_0 , независимо от диаметра, для системы водоснабжения г. Кременчуг составляет:

- $\omega_0^{mid} = 1,83$ – для чугунных труб,
- $\omega_0^{mid} = 1,36$ – для стальных труб.

Система водоснабжения г. Луцк

Для количественного анализа статистических данных повреждений на сети водоснабжения города Луцк использованы формула 1, интервальные оценки вычислены по формулам 2 и 3 (табл. 7).

Таблица 7. Расчет интервальных оценок для параметра потока отказов ω_0 г. Луцк

Table 7. Calculation interval estimates for the failure flow parameter ω_0 of Lutsk city

| Трубы участков сети | Диаметр D, мм | Объем выборки n | Параметр потока отказов ω_0 , 1/год·км: | | |
|------------------------|---------------|-----------------|--|---------------------|------|
| | | | среднее значение | интервальная оценка | |
| | | | нижняя | верхняя | |
| Чугунные (серый чугун) | 100 | 288 | 3,330 | 3,03 | 3,67 |
| | 150 | 270 | 1,315 | 1,19 | 1,45 |
| | 200 | 72 | 0,532 | 0,43 | 0,65 |
| | 250 | 34 | 0,879 | 0,65 | 1,17 |
| | 300 | 28 | 0,150 | 0,11 | 0,21 |
| Стальные | 100 | 1075 | 5,77 | 5,50 | 6,08 |
| | 150 | 456 | 4,88 | 4,59 | 5,20 |
| | 200 | 160 | 2,77 | 2,41 | 3,16 |
| | 250 | 97 | 2,06 | 1,73 | 2,43 |
| | 300 | 59 | 0,63 | 0,50 | 0,77 |

Средневзвешенное значение параметра потока отказов ω_0 , независимо от диаметра, для системы водоснабжения г. Луцк составляет:

- $\omega_0^{mid} = 1,06$ – для чугунных труб,
- $\omega_0^{mid} = 3,86$ – для стальных труб.

Система водоснабжения г. Карловка Полтавской области

Результаты расчетов средних значений и интервальных оценок для параметра потока отказов ω_0 г. Карловка приведены в таблице 8.

Средневзвешенное значение параметра потока отказов ω_0 г. Карловка составляет:

- $\omega_0^{mid} = 1,33$ – для чугунных труб,
- $\omega_0^{mid} = 2,42$ – для стальных труб.

Аналитические зависимости для оценки безотказности водопроводных труб.

Система водоснабжения г. Полтава

Как показал анализ статистических данных (табл. 1–4), параметр потока отказов металлических труб уменьшается с увеличением диаметра. Это дало возможность оценить и спрогнозировать уровень надежности металлических водопроводных труб в зависимости от диаметра.

В результате математической обработки статистических данных получены аналитические зависимости параметра потока отказов ω_0 от диаметра труб. Построение аналитических функций

на основе эмпирических данных выполнено с помощью электронных таблиц "Microsoft Excel SR-1" по программе Table Curve (рис. 9, 10).

Таблица 8. Расчет интервальных оценок для параметра потока отказов ω_0 г. Карловка Полтавской области

Table 8. Calculation interval estimates for the failure flow parameter ω_0 of Karlivka town, Poltava region

| Трубы участков сети | Диаметр D, мм | Объем выборки n | Параметр потока отказов ω_0 , 1/год·км: | | |
|------------------------|---------------|-----------------|--|---------------------|------|
| | | | среднее значение | интервальная оценка | |
| | | | нижняя | верхняя | |
| Чугунные (серый чугун) | 50 | 0,4 | 2,94 | 2,10 | 2,94 |
| | 100 | 3,904 | 1,92 | 1,76 | 1,92 |
| | 150 | 5,054 | 1,37 | 1,19 | 1,37 |
| | 200 | 2,824 | 1,15 | 0,96 | 1,15 |
| | 250 | 0,952 | 0,77 | 0,63 | 0,77 |
| | 300 | 3,075 | 0,67 | 0,55 | 0,67 |
| Стальные | 50 | 6,684 | 3,30 | 2,36 | 4,71 |
| | 76 | 1,902 | 2,55 | 1,64 | 3,19 |
| | 89 | 1,5 | 2,84 | 2,14 | 3,77 |
| | 100 | 9,265 | 2,81 | 2,51 | 3,12 |
| | 125 | 2,34 | 1,70 | 1,46 | 1,95 |
| | 150 | 2,344 | 2,20 | 1,72 | 2,78 |
| | 200 | 0,8 | 1,29 | 0,95 | 1,70 |
| | 250 | 5,542 | 1,25 | 0,94 | 1,62 |
| 300 | 0,462 | 0,64 | 0,45 | 0,86 | |



Рис. 9. Аналитическая зависимость $\omega_0 = f(D)$ для чугунных труб г. Полтава

Fig. 9. Analytical dependence $\omega_0 = f(D)$ for iron pipes of Poltava city

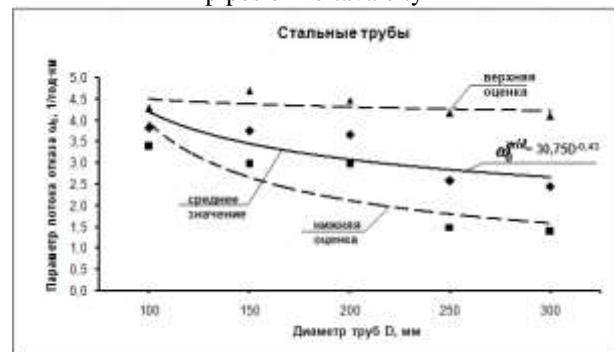


Рис. 10. Аналитическая зависимость $\omega_0 = f(D)$ для стальных труб г. Полтава

Fig. 10. Analytical dependence $\omega_0 = f(D)$ for steel pipes of Poltava city

**Система водоснабжения г. Кременчуг
Полтавской области**

Для системы водоснабжения г. Кременчуг также получены аналитические функции для средних значений параметра потока отказов ω_0^{mid} (рис. 11, 12).



Рис. 11. Аналитическая зависимость $\omega_0 = f(D)$ для чугунных труб г. Кременчуг Полтавской области
Fig. 11. Analytical dependence $\omega_0 = f(D)$ for iron pipes of Kremenchug town, Poltava region

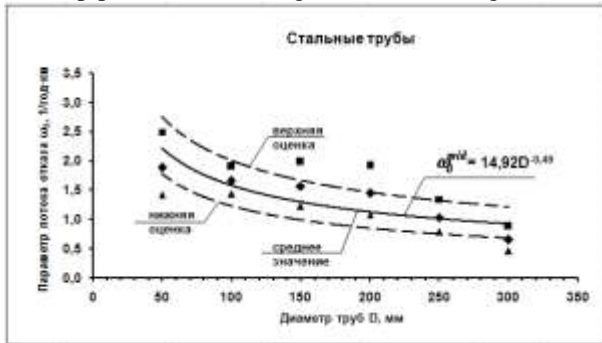


Рис. 12. Аналитическая зависимость $\omega_0 = f(D)$ для стальных труб г. Кременчуг Полтавской области
Fig. 12. Analytical dependence $\omega_0 = f(D)$ for steel pipes of Kremenchug town, Poltava region

Система водоснабжения г. Луцк

Полученные аналитические функции для средних значений параметра потока отказов сети водоснабжения г. Луцк изображены на графиках (рис. 13, 14).

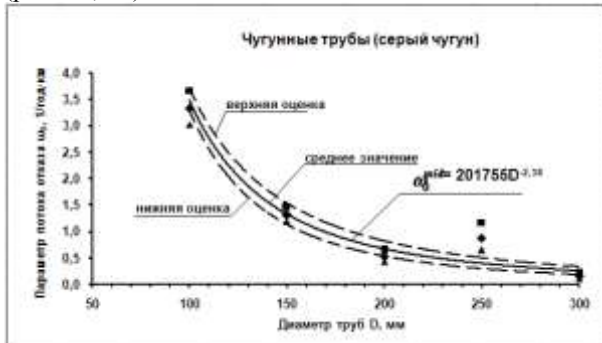


Рис. 13. Аналитическая зависимость $\omega_0 = f(D)$ для чугунных труб г. Луцк
Fig. 13. Analytical dependence $\omega_0 = f(D)$ for iron pipes of Lutsk city

Система водоснабжения г. Карловка Полтавской области

Для системы водоснабжения города Карловка также установлены аналитические зависимости параметра потока отказов от диаметра труб. Полученные аналитические функции для средних значений параметра потока отказов для сети водоснабжения г. Карловка показаны на графиках (рис. 15, 16).

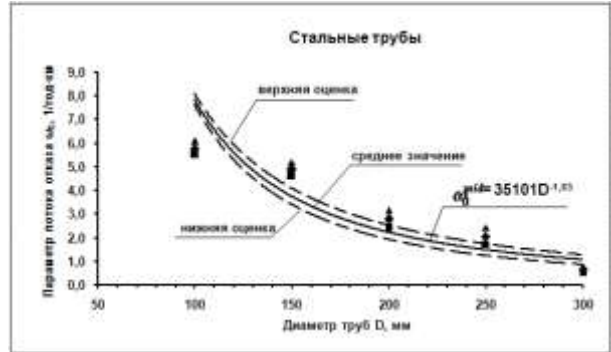


Рис. 14. Аналитическая зависимость $\omega_0 = f(D)$ для стальных труб г. Луцк
Fig. 14. Analytical dependence $\omega_0 = f(D)$ for steel pipes of Lutsk city



Рис. 15. Аналитическая зависимость $\omega_0 = f(D)$ для чугунных труб г. Карловка Полтавской области
Fig. 15. Analytical dependence $\omega_0 = f(D)$ for iron pipes of Karlivka town, Poltava region

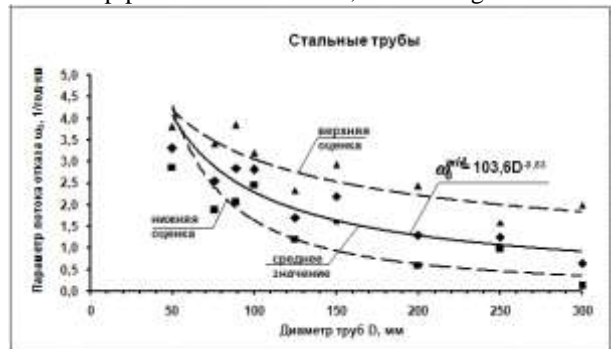


Рис. 16. Аналитическая зависимость $\omega_0 = f(D)$ для стальных труб г. Карловка Полтавской области
Fig. 16. Analytical dependence $\omega_0 = f(D)$ for steel pipes of Karlivka town, Poltava region

Обобщенный качественный анализ повреждений труб

На основе выполненного анализа повреждений водопроводных металлических труб рассчитаны средние значения причин повреждений, которые приведены на соответствующих диаграммах (рис. 17, 18).



Рис. 17. Виды повреждений чугунных водопроводных труб для четырех городов Украины
Fig. 17. Types of defects of iron pipes of four cities of Ukraine

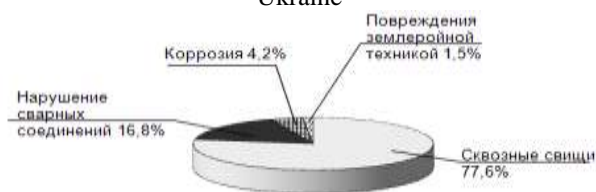


Рис. 18. Виды повреждений стальных водопроводных труб для четырех городов Украины
Fig. 18. Types of defects of steel pipes of four cities of Ukraine

Обобщенный количественный анализ повреждений труб

Для четырех городов Украины (Полтава, Кременчуг, Луцк и Карловка) рассчитаны средние значения параметра потока отказов и интервальные оценки для чугунных (серый чугун) и стальных труб (табл. 9).

Таблица 9

Обобщенные значения параметра потока отказов металлических труб для четырех городов Украины
Table 9
Generalized parameter failure flow of metal pipes for four Ukrainian cities

| Группы участков | Диаметр D, мм | Параметр потока отказов ω_0 , 1/год·км: | | |
|------------------------|---------------|--|---------------------|---------|
| | | среднее значение | интервальная оценка | |
| | | | нижняя | верхняя |
| Чугунные (серый чугун) | 50 | 4,47 | 3,39 | 5,80 |
| | 100 | 2,53 | 2,41 | 2,67 |
| | 150 | 1,39 | 1,29 | 1,47 |
| | 200 | 0,94 | 0,86 | 1,04 |
| | 250 | 0,93 | 0,79 | 1,08 |
| Стальные | 50 | 3,14 | 2,75 | 3,57 |
| | 100 | 3,71 | 3,53 | 3,90 |
| | 150 | 3,17 | 2,96 | 3,37 |
| | 200 | 2,11 | 1,88 | 2,32 |
| | 250 | 1,40 | 1,24 | 1,57 |
| 300 | 0,57 | 0,48 | 0,67 | |

Обобщенные аналитические зависимости для оценки безотказности металлических водопроводных труб

Получены аналитические функции средних значений параметра потока отказов для сети водоснабжения исследуемых городов. Графики

построенных аналитических зависимостей – на рисунках 19 и 20.

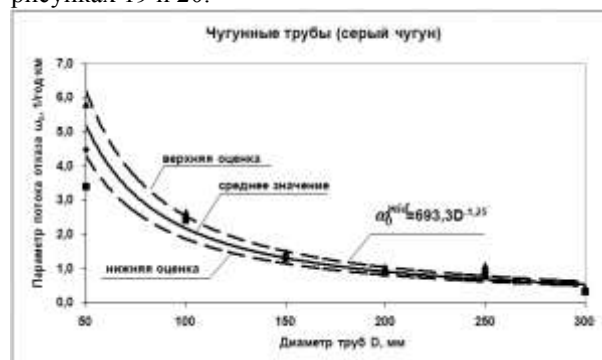


Рис. 19. Аналитическая зависимость $\omega_0 = f(D)$ для чугунных труб (обобщенная для 4-х городов Украины)

Fig. 19. Analytical dependence $\omega_0 = f(D)$ for iron pipes (summarized) of four cities of Ukraine

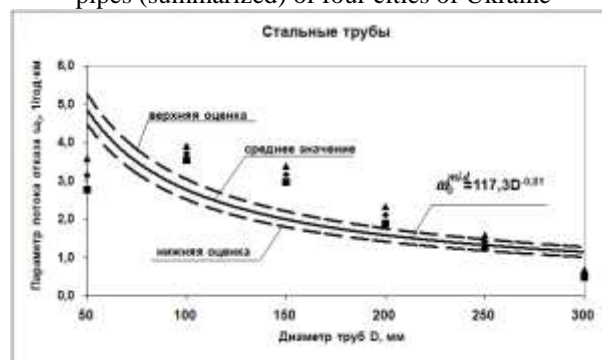


Рис. 20. Аналитическая зависимость $\omega_0 = f(D)$ для стальных труб (обобщенная для 4-х городов Украины)

Fig. 20. Analytical dependence $\omega_0 = f(D)$ for steel pipes (summarized) of four cities of Ukraine

ВЫВОДЫ

Методами математической статистики выполнен углубленный анализ данных эксплуатации по отказам металлических водопроводных труб. Таким образом, проведено дополнительное обоснование и подтверждение для городов Украины известного факта, что с увеличением диаметра металлических труб параметр потока отказов уменьшается.

Обобщенные средние значения удельного параметра потока отказов ω_0^{mid} , независимо от диаметра, для четырех городов Украины составляют:

- для чугунных труб $\omega_0^{mid} = 1,37$ 1/год·км,
- для стальных труб $\omega_0^{mid} = 2,64$ 1/год·км.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов Н., 1974. О проблемах надежности систем водоснабжения // Водные ресурсы. – №2. – 114 – 119.
2. Абрамов Н., 1979. Надежность систем водоснабжения. – М.: Стройиздат. – 231.
3. Абрамов Н., 1982. Водоснабжение: [учебник]. – М.: Стройиздат. – 440.

4. Абрамов Н., 1984. Надежность систем водоснабжения. – М.: Стройиздат. – 216.
5. Абрамов Н., Малов В., 1976. О надежности систем водоснабжения и путях ее обеспечения // Известия АН СРСР. Энергетика и транспорт. – №1. – 161 – 176.
6. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування: ДБН В.2.5-74:2013 – [Чинний від 2014-01-01]. — К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2013. – 281. – (Національні стандарти України).
7. ГОСТ 11.005-74 Прикладная статистика Правила определения оценок и доверительных границ для параметров экспоненциального распределения и распределения Пуассона. / М.: Издательство стандартов, 1974. – 29.
8. Ильин Ю., 1985. Надежность водопроводных сооружений и оборудования. – М.: Стройиздат. – 240.
9. Ильин Ю., 1987. Расчет надежности подачи воды. – М.: Стройиздат. – 320.
10. Климиашвили Л., 1978. Исследование надежности и методов оптимального резервирования систем транспортирования воды: автореф. дис. канд. техн. наук. – М.: МИСИ– 22.
11. Кузенков Е., 2004. Обеспечение надежности, долговечности и экологической безопасности сетей водоснабжения // Водоснабжение и санитарная техника. – №11. – 33 – 37.
12. Макогонов В., Эренбург Э., 1973. Показатели надежности системы водоснабжения / Проблемы надежности систем водоснабжения. – М.: Московский ордена Трудового Красного Знамени инженерно-строительный институт им. В.В. Куйбышева. – 29 – 34.
13. Матяш О., Новохатній В., 2010. Аналіз безвідмовності водопровідних металевих труб за статистичними даними.– Проблеми водопостачання, водовідведення і гідравліки: Науково-технічний збірник. – Вип. 14. – К.: КНУБА. – 56 – 64.
14. Найманов А., 2005. О надежности систем водоснабжения и водоотведения // Водоснабжение и санитарная техника.– №7. – 30 – 35.
15. Новохатній В., 2012. Надійність функціонування подавально-розподільного комплексу систем водопостачання: автореф. дис. докт. техн. наук. – К.: КНУБА. – 32.
16. Новохатній В., Костенко С., 2013. Надежность водопроводов систем водоснабжения. MOTROL. — Commission of motorization and energetics in agriculture : Polish Academy of sciences. — Lublin. — Vol. 12C. — 114—122.
17. Правила надання послуг з централізованого опалення, постачання холодної та гарячої води і водовідведення / Постанова Кабінету Міністрів України від 21 липня 2005р. №630.
18. Прикладная статистика. Правила оценки аномальности результатов наблюдений. ГОСТ 11.002-73. – М.: Издательство стандартов, 1973.–24.
19. Примин О., Орлов В., 2008. Методы оценки пропускной способности действующих напорных трубопроводов / Проекты развития инфраструктуры города. Перспективные направления развития технологии и проектирования в водохозяйственном комплексе города. Сб. научных трудов. – Вып.8. – М.– 92 – 96.
20. Сабитов А., 1977. Исследование надежности системы подачи и распределения воды в районах с повышенной сейсмичностью: автореф. дис. канд. техн. наук. – М.: МИСИ– 20.
21. Ткачук О., 2008. Удосконалення систем подачі та розподілення води населених пунктів. – Рівне: НУВГП. – 301.
22. Українець Н., 1973. Влияние неравномерности водопотребления на надежность водообеспечения города. – М.: Московский ордена Трудового Красного Знамени инженерно-строительный институт им. В.В. Куйбышева.– 96 – 101.
23. Хоружий П., Хомутецька Т., Хоружий В., 2008. Ресурсозберігаючі технології водопостачання. – К.: Аграрна наука. – 534.
24. Храменков С., 2005. Стратегия модернизации водопроводной сети. – М.: ОАО Изво “Стройиздат”. – 400.
25. Hotłós H. Analiza strat wody w systemach wodociagowych // Ochrona Srodowiska. – 2003. - №1. – S. 17 – 24
26. Piechurski F. Straty wody i sposoby ich obnizania // Ochrona Srodowiska. – 2/2005, 4/2005, 1/2006, 2/2006.
27. Rak J. Podstawy bezpieczeństwa systemów zaopatrzenia w wodę. – Komitet Inzynierii Srodowiska PAN. – T. 28. – Lublin, 2005. – S. 1 – 215.
28. Rak J., Tchórzewska-Cieślak B. Metody analizy i oceny ryzyka w systemie zaopatrzenia w wodę. - Rzeszów: Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, 2005.

RELIABILITY OF METAL WATER PIPES OF UKRAINE

Oleksandr Matyash

Summary: The water supply network is one of the most important elements in the water supply and distribution system, therefore the reliability aspects of the pipelines should be obligatory taken into consideration during designing of water supply networks. In this article we have ascertained the failure causes, calculated value of the specific parameter of the failure flow and made analytical dependences for four Ukrainian cities.

Key words: metal water pipes, reliability indices, faultlessness, repairability.