

## ПРИБЛИЖЕННАЯ ОЦЕНКА УЩЕРБА ОТ АВАРИЙ В ГИДРОСЕТЯХ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

**Ю. Я. Ткачук**, канд. техн. наук, доцент;

**Е. В. Шатрюк**, студентка;

**С. А. Лобан**, студент;

Сумский государственный университет,  
ул. Римского-Корсакова, 2, Сумы, 40007, Украина

*Проведен теоретический анализ времени ликвидации аварий на трубопроводах водопроводных сетей. Установлено существование двух составляющих ликвидации аварий:*

1) *Составляющая связана с разрытием траншеи в которой уложен аварийный трубопровод. Эта составляющая характеризует земляные работы и ее время пропорционально диаметру трубопровода.*

2) *Составляющая связана с применением различных инструментов для восстановительных работ на самом трубопроводе - «инструментальная составляющая». Эта составляющая имеет нелинейный характер, так как зависит от многих трудноучитываемых факторов и представляет собой экспоненциальную зависимость.*

*Суммарное время ликвидации аварий позволяет определить дополнительные затраты на стоимость жизненного цикла.*

**Ключевые слова:** *сеть водоснабжения, диаметр трубопровода, глубина заложения труб в грунт, «земляная» и «инструментальная» составляющие восстановительных работ.*

### ВВЕДЕНИЕ

Аварии в гидросетях водоснабжения наносят городскому коммунальному хозяйству ощутимый ущерб, который с каждым годом увеличивается в связи с ростом количества аварий [1].

Причина аварий общеизвестна – износ трубопроводных сетей, срок амортизации которых давно истек. Внеамортизационная эксплуатация любого оборудования всегда обходится дороже, чем доамортизационная.

Единственно правильным выходом является замена всей гидросети на новые трубопроводы. Однако отсутствие финансовых средств не позволяет реализовывать замену труб. На ликвидацию аварий требуется выделение очередных средств, как правило, больших, чем на ликвидацию предыдущих, так как характер аварии усложняется в связи с продолжающимся усиленным износом. "Латать" изношенную трубу до бесконечности нельзя, наступает момент, когда необходима замена изношенной трубы на новую, а это гораздо дороже "латания"[2].

Кроме того увеличение количества аварий приводит к росту потерь питьевой воды как продукта, увеличения бесполезных затрат энергии при утечках воды, а также к затратам на ликвидацию последствий аварий: необходимости срочного ремонта подтопления, проседания участков дорог, размывов окружающей среды, а иногда и более серьезных разрушений жилых и промышленных зданий, сооружений, замыканий, обрывов электрических, телефонных кабелей, подъему уровня грунтовых вод, бактериальному загрязнению почвы [3].

Как видим, ущерб от аварий носит разнообразный, часто непредсказуемый характер. Однако работ, позволяющих расчетным путем оценить ущерб от аварий на водопроводных сетях явно недостаточно.

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Целью данной статьи является на основе теоретических предпосылок и использования рекомендаций имеющихся нормативных материалов [4], предложить аналитические расчетные зависимости, позволяющие оценить в данном выражении ущерб от аварий на водопроводных сетях.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Анализ имеющихся источников информации по ликвидации аварий на водопроводных сетях [5] показывает, что условно можно выделить следующие этапы этого процесса.

1. Обнаружение аварий и отключение подачи воды;
2. Земляные работы по раскрытию доступа к поврежденному участку трубопровода;
3. Инструментальные работы по восстановлению целостности трубопровода;
4. Пробный пуск и выведение сети водоснабжения на рабочий режим;
5. Восстановительные работы, связанные с приданием окружающей среде доаварийного состояния.

Каждый из этих этапов по-своему важен и требует соответствующих временных затрат, что необходимо учитывать исходя из принципов стоимости жизненного цикла системы водоснабжения. Таким образом, аварии являются существенным фактором, увеличивающим стоимость жизненного цикла систем водоснабжения.

Например на первом этапе необходимо особенно быстро среагировать с отключением водоподачи, чтобы избежать затопления территории в зоне аварий, не допустить подтопления подвалов жилых зданий, промышленных и административных построек, не допустить замыканий электросетей, размыва почвы и проседания грунта и т. д.

Кроме того, необходимо учитывать большой экономичный ущерб от задержек отключения водоподачи при авариях.

Приблизительно можно оценить денежные потери по двум параметрам: от потери самой воды и от потерь электроэнергии, при аварии.

Стоимость потерь воды  $C_w$  за время от начала аварийного состояния  $T_H$  до момента отключения  $T_0$  при тарифе на воду  $\sigma_w$  составит:

$$C_w = Q \cdot (T_0 - T_H) \cdot \sigma_w, \quad (1)$$

где  $Q$  – расход воды, м<sup>3</sup>/час;

$T_0 - T_H$  – время аварийного периода, час;

$\sigma_w$  – тариф на воду, грн/м<sup>3</sup>.

Стоимость потерь электроэнергии:

$$C_e = N \cdot (T_0 - T_H) \cdot \sigma_e, \quad (2)$$

где  $N$  – установочная мощность насосных агрегатов, кВт;

$\sigma_e$  – тариф на электроэнергию, грн/кВт·час.

Суммарные денежные потери составляют:

$$C = C_w + \tilde{N}_e. \quad (3)$$

При этом не учтены потери на восстановление от затопления территории, от разрушений дорог, тротуаров, других повреждений.

Земляные работы второго этапа ликвидации аварий также требуют больших затрат времени и средств, связанных с использованием землеройной техники, а также ручного труда аварийных бригад. Эти работы могут быть оценены приблизительно в

зависимости от объема земли, перемещенного для раскрытия доступа к поврежденному участку трубопровода:

$$C_3 = \omega \sigma_3 \quad (4)$$

где  $C_3$  – стоимость земляных работ;

$\omega$  – объем перемещенного грунта, м<sup>3</sup>;

$\sigma_3$  – ориентировочная стоимость земляных работ, грн/м<sup>3</sup>.

Третий этап очень ответственный, продолжительность его зависит от уровня организация и квалификация работников аварийной бригады, ее «инструментальном» оснащении.

Стоимость работ этого этапа приближенно может быть оценена по формуле:

$$C_e = (T_0 - T_H) \cdot \sigma_e, \quad (5)$$

где  $C_u$  – стоимость «инструментального» этапа, грн;

$\sigma_e$  – средний тариф «инструментальный» работ, грн/час.

Сами "инструментальные" работы носят вероятностный характер, т.к. зависят от множества факторов, заранее учесть и предусмотреть которые очень сложно.

Пятый этап также требует вероятностного подхода, т. к. не позволяет учесть все возможные последствия аварии для окружающей среды в зоне аварии.

Теоретический подход, на наш взгляд, может быть применен ко второму и третьему этапу.

Можно утверждать, основываясь на наблюдениях за процессом ликвидации аварий, что земельные работы, в частности, время их проведения, прямо пропорциональны длине  $L$  и диаметру  $D$  поврежденного участка трубопровода, т. е.

$$T = a_0 \cdot L \cdot D = a \cdot D, \quad (6)$$

где  $a$  – некоторый коэффициент пропорциональности, зависящий от свойств грунта, времени года, применяемых технических средств.

Для определения затрат времени на третьем ("инструментальном") этапе воспользуемся составлением математической модели этого процесса.

Пусть  $T_m$  – требуемое время для ликвидации разрушенного аварией участка трубопровода, а  $T$  – текущее время процесса ликвидации последствий аварии. Естественно предположить, что  $T_m$  и  $T$  зависят от отношения диаметров, которые могут быть применены в системе водоснабжения: наиболее часто применяемого  $D$  и  $D_m$  – максимально возможного, т. е.  $D/D_m$ . Для удобства записи уравнения обозначим  $T/T_m$  через  $y$ , а  $D/D_m$  через  $x$ .

Тогда можно записать:

$$dy = k \cdot (y_m - y) \cdot dx, \quad (7)$$

или

$$\frac{dy}{dx} = k(y_m - y), \quad (8)$$

где  $k$  – коэффициент пропорциональности.

Выражение (8) можно представить, разделив переменные:

$$\frac{dy}{y_m - y} = k \cdot dx. \quad (9)$$

Интегрируя (9), получим:

$$\ln \frac{y_m}{y_m - y} = k \cdot x. \quad (10)$$

Потенцируя (10), имеем:

$$\frac{y_m}{y_m - y} = e^{kx}. \quad (11)$$

Из выражения (11) следует, что

$$\frac{y_m - y}{y_m} = \frac{1}{e^{kx}}, \quad (12)$$

откуда

$$1 - \frac{y}{y_m} = \frac{1}{e^{kx}}, \quad (13)$$

или

$$\frac{y}{y_m} = 1 - \frac{1}{e^{kx}}. \quad (14)$$

Переходя к реальным переменным, после простых преобразований получим:

$$T = T_m \left(1 - e^{-k \frac{D}{D_m}}\right). \quad (15)$$

Выражение (15) описывает затраты времени на инструментальные устранение последствий на водопроводные сети.

Для того чтобы практически воспользоваться предлагаемыми формулами необходимо:

1. Определить коэффициент пропорциональности  $a$  в выражении (6);
2. Определить  $k$  в выражении (7).

Для этого нанесем в координатах  $T$  и  $D$  значения расчетного времени ликвидации аварий на трубопроводах при глубине заложения труб до 2 метров [6] и соединим эти точки. С достаточной для практики точности получим прямую, тангенс угла наклона которой будет соответствовать коэффициенту пропорциональности, а в выражении (6) соответствующая прямая должна проходить через начало координат (это прямая А на рис. 1).

Таблиця 1 – Результати розрахунку часу ліквідації аварії

$D_i$	$\frac{D_3}{D_0}$	$K \cdot \frac{D_3}{D_0}$	$e^{K \cdot \frac{D_3}{D_0}}$	$\frac{1}{e^{K \cdot \frac{D_3}{D_0}}}$	$1 - \frac{1}{e^{K \cdot \frac{D_3}{D_0}}}$	$T_B = T_0 \cdot \left( 1 - \frac{1}{e^{K \cdot \frac{D_3}{D_0}}} \right)$	$T_A = aD_3$	$T_C = T_A + T_B$
0	0	0	1	1	0	0	0	0
100	0,5	0,693	2	0,500	0,500	2,50	0,8	3,30
200	1,0	1,386	4	0,250	0,750	3,75	1,6	5,35
300	1,5	2,079	8	0,125	0,860	4,38	2,4	6,78
400	2,0	2,772	16	0,063	0,940	4,69	3,2	7,89
500	2,5	3,465	32	0,031	0,970	4,85	4,0	8,85
600	3,0	4,158	64	0,016	0,980	4,92	4,8	9,72
800	4,0	5,944	256	0,004	0,996	4,98	6,4	11,38
1000	5,0	6,930	1022	0,000	1,000	5,00	8,0	13,00

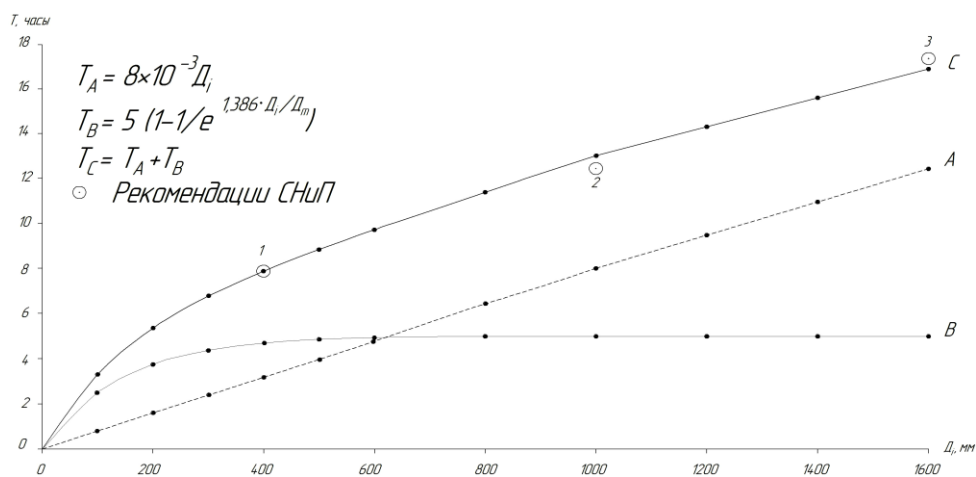


Рисунок 1 – Залежності часу ліквідації аварій від діаметра трубопровода мережі водоснабження

Для визначення  $k$  використаємо рекомендації [6], відповідно до яких

$$e^{kx} = 2^{2x}. \quad (16)$$

Логарифмуємо (16) і маємо

$$kx \cdot \ln e = 2x \ln 2, \quad (17)$$

откуда

$$k = 2 \ln 2 = 2 \cdot 0,693 = 1,386. \quad (18)$$

При такому значенні  $k$  значення  $D_T = 200$  мм.

Для получения результирующей кривой С производим графические сложения кривой А и В (см. рис. 1). Соответствующие расчеты приведены в таблице, из которой, следует, что суммарные время ликвидации аварии:

$$T_c = T_A + T_B. \quad (19)$$

Зная  $T_c$  можно найти стоимость работ по ликвидации аварии на трубопроводе системы водоснабжения:

$$C_{\text{э}} = n \cdot T_c \cdot \sigma_{\text{э}}, \quad (20)$$

где  $n$  – количество людей аварийной бригады, человек;

$\sigma_{\text{э}}$  – тариф работ, грн/человек час.

### ВЫВОДЫ

1. Теоретически обосновано существование двух составляющих времени ликвидации аварий на трубопроводах системы водоснабжения : «земляной» и «инструментальной» и предложены расчетные формулы для их определений.
2. Приведены формулы для приближенного расчета затрат связанных с ликвидацией аварий на трубопроводах системы водоснабжения.
3. Показано, что аварии являются значительными факторами, влияющим на стоимость жизненного цикла трубопроводной системы водоснабжения.

### APPROXIMATE ESTIMATION OF DAMAGE FROM ACCIDENTS IN WATER SUPPLY HYDRAULIC SYSTEM

*Yu. Ya. Tkachuk, E. V. Shatruck, S. A. Loban,*  
Sumy State University,  
2 Rimsky-Korsakov Str., 40007 Sumy, Ukraine

*The paper presents a theoretical analysis of the time elimination of pipeline accidents water networks. The existence of two components of the emergency response:*

*1) The component associated with the trenches dug in which the emergency pipeline is laid/ This component describes the excavation work and the time is proportional to the diameter of the pipeline.*

*2) The component associated with the use of various tools for restoration work on the line - "instrumental component." This component has a nonlinear character, as it depends on many factors and is an exponential dependence.*

*The total time of emergency allows to determine the additional cost of life cycle costs.*

**Key words:** *system of water supply, pipe diameter, depth of the pipes in the ground, "earthy" and "instrumental" component reconstruction.*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Fireplanexpress.ru/publ/avarii\_inzheneriykh\_setej/1-1-0-23.
2. Режим доступа : <http://www.ukrboard.com.ua/ru/board/m-863868/zamena-vodoprovodnykh-trub-vinnitsa-zamena-vodoprovoda-vinnitsa/>.
3. Правила пользования системами коммунального водоснабжения и канализации в Российской Федерации. Утв. постановлением Правительства РФ от 12.02.1999г. №167.
4. Рекомендации по повышению устойчивости работы водопроводно-канализационных сооружений, предупреждению и ликвидации аварий и брака. Утв. Протоколом № (6)13-10 заседания СНОиС НТС Госстроя РСФСР от 27.07.89.
5. Режим доступа : [http://www.discflo.ru/info/i\\_lcc\\_i\\_disckoviy\\_nasos.html](http://www.discflo.ru/info/i_lcc_i_disckoviy_nasos.html).
6. Ткачук Ю. Я. Совершенствование методов расчета промышленных роботов / Ю. Я. Ткачук. – К.: Знание, 1988. – 24 с.

*Поступила в редакцию 29 августа 2012 г.*

---

---