

УДК 628, 574

д.т.н., професор, Насонкіна Н.Г.,  
Сахновська В.М., к.т.н., доцент Пашков В.Ф.,  
Донбаська національна академія будівництва і архітектури

**АНАЛІЗ СТАНУ ТА КРИТЕРІЇ БЕЗПЕКИ МЕРЕЖ ВОДОВІДВЕДЕННЯ**  
(стаття підготовлена на підставі матеріалів доповіді на науково-практичній конференції «Проблеми і перспективи розвитку міст України», м. Ужгород, 20-23 травня 2010 року)

*Визначені критерії екологічної безпеки та надійності мереж водовідведення, запропоновано рекомендації по їх реконструкції.*

**Постанова проблеми.** Трубопровідні мережі є невід'ємною частиною системи водовідведення, вартість яких в різних країнах складає від 40% до 70% вартості всієї системи. Так, за даними [1] каналізаційна мережа Великобританії є однією з найбільших та найстаріших, що є у Європі. Необхідна кількість вкладень на реконструкцію мережі включає 200 млрд. фунтів, в яких основну частину капіталовкладень складає трубопровід. В США на реконструкцію мережі в найближчі 30 років планується витратити 250-300 млрд. дол. США, в Москві щорічна потреба в інвестиціях складає 500-600 млн. дол. США [2].

Загальна протяжність каналізаційних мереж України усіх форм власності становить 49883,2 км, з них головних колекторів – 14757,1 км, вуличної каналізаційної мережі – 20918,6 км, внутрішньоквартальної та внутрішньодворової мережі – 114207,5 км. На кінець 2006 р. у ветхому та аварійному стані перебувало 4256,9 км (28,8 %) головних колекторів, 6610,5 км (31,6%) вуличної мережі та 44554,7 км (32,1 %) внутрішньоквартальної та внутрішньодворової мережі [3] (рис.1).

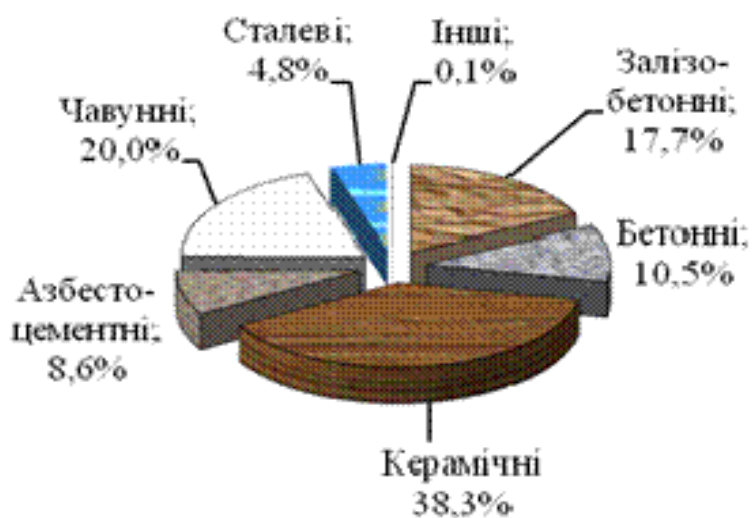


Рис.1. Структура мережі водовідведення України

Такий стан мереж приводить до високої аварійності. В той час як від надійності і якості їх роботи екологічна безпека поверхневих та підземних джерел водопостачання. Розгерметизація трубопроводів приводить до негативного впливу на підземні та поверхневі води, атмосферу, літосферу, соціальну сферу та людину[48] (рис.2.).

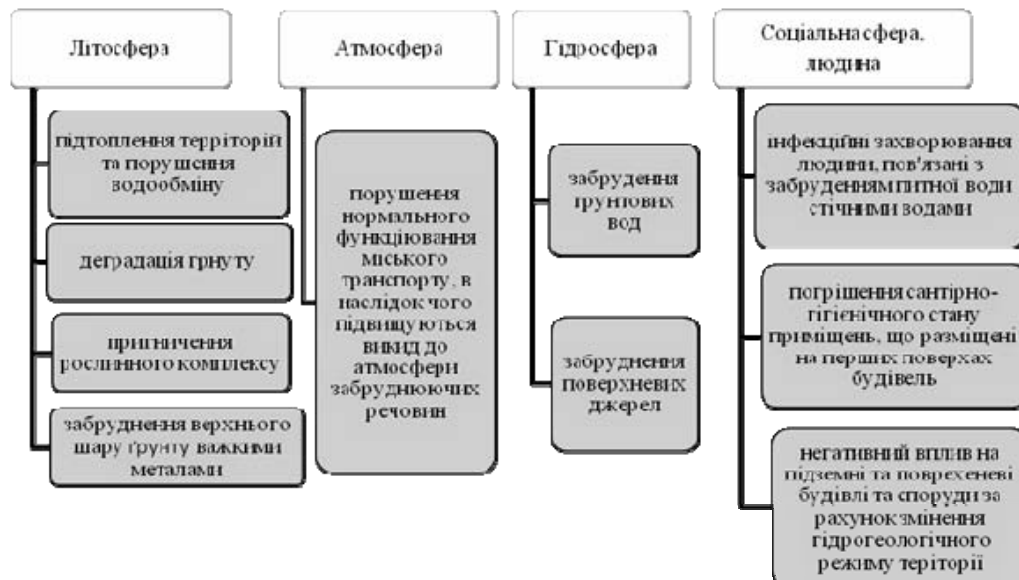


Рис.2. Наслідки впливу аварій мереж водопостачання та водовідведення

Аварії, на ділянках трубопроводу, приводять до серйозних наслідків (рис.3), що впливають на всю екосистему, в тому числі і на людину. За даними МНС України [5] серед найбільш визначних аварій можна руйнування дому в Одесі в травні 2009 року внаслідок підтоплення фундаментів; пориви каналізаційних колекторів та водопровідних магістралей в Харкові, Києві, Запоріжжі, Львівщині, Херсоні, що спричинили тривалі перерви в подачі води великій кількості населення. На протязі тільки квітня місяця 2009 року в м. Києві під землею опинилися 3 автомобіля. В березні місяці цього ж року внаслідок пориву каналізаційного колектору сталося просадження ділянки дороги в м. Києві. Подібні аварії сталися в 2006-2008 р. в Одесі, Києві, Дніпропетровську, Миколаєві, Харкові.



Рис. 3. Розмиття основ доріг, що пов'язані з аваріями мереж водопостачання та водовідведення: а) м. Харків (04.2009 р.), б) м.Одеса (08.2009 р.), в) м. Київ (10.2006 р.)

Загальний економічний спад та потреба великих капіталовкладень не дозволяє водночас вирішити проблему відновлення всіх мереж, тому виникає необхідність виконання детального аналізу існуючої ситуації та визначення першочергових заходів реформування системи водовідведення.

**Аналіз публікацій.** Проблемами оцінки екологічної безпеки займалися Ісаченко О.Г., Кочуров Б.І, Заславський Б.Г., Полукетова Р.С, Юрченко Л.І.. В їх працях визначено, що оцінка повинна носити як якісний, так і кількісний характер, використовувати весь багаж параметрів багатьох наук як природничих, так і соціальних, приведені типові джерела техногенної небезпеки, їх класифікація, моделі техногенних аварій в різних сферах діяльності, процес забруднення навколишнього середовища та аварії техногенних об'єктів з екологічними наслідками.

Серед досліджень з надійності мереж каналізації слід відмітити роботи Абрамовича І.А., Дрозда Г.Я., Василева В.М., Алексеєва М.И. та Єрмолина Ю.А., І.Ф.Корінько, Меженського О.М., Карамзінова Ф.В., Пріміна та інш., в яких запропоновано перспективні строки експлуатації систем водовідведення, визначені проблеми надійності транспортування стічних вод, кількості характеристики вірогідності та ризику появи відказів трубопроводів, запропоновано механізми, відновлення мереж за рахунок розвитку виробництва та технологій безтраншейного прокладання трубопроводів, прогнозуванні показників надійності системи, застосуванні комп'ютерних технологій при обліку та прогнозуванні аварій.

Але не зважаючи, на таку велику кількість праць, проблема екологічної безпеки та надійності мереж водовідведення залишається дуже гострою, що пов'язано з відсутністю визначення цих питань у діючій нормативній базі та розгляданням роботи мереж водовідведення окремо від роботи мереж водопостачання.

**Мета.** Визначення базових критеріїв, що впливають на екологічну безпеку і надійність мереж водовідведення.

**Основний матеріал.** Для мереж водовідведення основними показниками надійності є імовірність безвідмовної роботи, що характеризує стійкість мережі до перерв в подаванні води (повним відмовам), та коефіцієнт готовності, що характеризує вірогідність справного стану мережі та збереження її розрахункових параметрів роботи, т.є. параметричну надійність.

На інтенсивність відмов мереж водовідведення оказують вплив багато факторів, що тісно пов'язані між собою: якісні показники стічної рідини, що потрапляє до мережі; матеріал трубопроводів; діаметр та товщина стінки труб; негерметичність трубопроводів; порушення стикових з'єднань труб,

деформація тіла труб; геологія; наявність та агресивність ґрунтових вод; строк експлуатації; глибина закладання; динамічні навантаження на трубопровід; гідравлічний режим роботи водопровідної мережі; гідравлічний режим роботи мережі водовідведення; утворення осаду на внутрішній поверхні трубопроводів мереж водопостачання; засмічення мереж водовідведення.

Мережам водовідведення властива біологічна корозія. В пощільненому осадженні, що скроплюється в лотковій частині труби, проходять анаеробні процеси ферментизації відкладень. Цей процес проходить в дві стадії з утворенням та виділенням сірководню ( $H_2S$ ) та окислення його до сірчаної кислоти ( $H_2SO_4$ ). В результаті дії кислоти на частину зводу трубопроводу, що знаходиться вище рівня води, відбувається поступове руйнування труби [6].

Змінення гідравлічного режиму роботи водопровідної мережі призводить до змінення режиму роботи каналізаційних трубопроводів, багато з ділянок якого працюють поза розрахунковими швидкостями, швидкості руху стічних вод не доходять до самоочищуючих величин. Це сприяє випаденню у трубопроводах піску та інших крупних мінеральних та органічних домішок, що призводить до росту кількості засмічень та інтенсифікації процесів гниття, з утворенням газів, що сприяють корозії та руйнування зводу труб [7].

Такі процеси як корозія, вимивання матеріалу труб, формування біоплівки та осадів протікають у всіх типах труб по-різному [8]. Тому до обрання матеріалу трубопроводу слід підходити комплексно, зважаючи на всі фактори, що впливають на роботу мережі.

Від такого фактору, як матеріал трубопроводу на 18% залежить довговічність труб [8]. Строк служби сталевих трубопроводів без внутрішньої та зовнішньої ізоляції, що було прокладено в радянські часи, не перевищує 20 років, труб з сірого чавуну – 50-60 років, азбестоцементних – 20 років, керамічних – 40 років. Дослідження англійських, новозеландських, американських вчених [1] стверджують що строк служби бетонних трубопроводів складає не менш 100 років за умови правильної установки та експлуатації. Мінімальний строк служби сучасних поліетиленових труб по існуючим ГОСТам складає 50 років, але проведені в Скандинавії дослідження показують, що реальний строк служби збільшено на десятки років. Тому фактично такі трубопроводи можна розраховувати на 100-річний строк служби труб [9]. За даними [10] очікуваний строк служби трубопроводів з ВЧШГ складає 100 років. Кожному з видів трубопроводів характерні свої пошкодження [11]: для сталевих трубопроводів – це корозія (60%), чавуну, азбестоцементу та залізобетону - порушення стиків, переломи та руйнування тіла труб, для пластмас – порушення стиків.

Окрім самого матеріалу, з якого виготовлено труби, на ці пошкодження, безумовно, впливають такі фактори, як геологічні характеристики ділянки, глибина та дефекти укладання, динамічні та статичні навантаження на трубопровід, наявність та агресивність ґрунтових вод.

Деформація та стан ґрунтів оказують серйозний вплив на стан мереж водопостачання та водовідведення, так за даними [12] аварійність трубопроводів, що прокладено на територіях, що підроблюються, значно вище, ніж на непорушених територіях. Тип ґрунту та її корозійна активність, оказують вплив на зовнішню поверхню трубопроводів та її корозію, а отже призводять до зменшення довговічності роботи трубопроводу та підвищення аварійності мереж.

Як відмічають ряд російських вчених [6] до факторів геологічного ризику можна віднести: карстово-сифузійні та сифузійні процеси; підтоплення значних територій і змінення внаслідок цього фізично-механічних властивостей ґрунту; забруднення геологічного середовища, підвищення агресивності ґрунтових вод, погіршення властивостей забруднених ґрунтів.

Наявність ґрунтових вод значно впливає на надійність та екологічну безпеку роботи трубопроводів, так як цей фактор оказує вплив на кілька інших факторів.

По-перше, підвищення рівня ґрунтових вод та їх агресивності в результаті забруднення фекальними водами визиває активізацію карстових процесів, що призводить до утворення карстових провалів, що погрожує спорудам, руйнування тіла фундаментів, корозії арматури та бетону та інш. Крім того витіки з каналізаційних мереж забруднюють ґрунтові води та самі ґрунти, призводять до погіршення їх механічних властивостей (понижується опір зсуву). Велику небезпеку оказують витіки з трубопроводів, що супроводжуються «розмиттям» ґрунтів основ. Працюючи як дрени, колектори викликають появу суфозії та осідання ґрунту. Провали колекторів призводять до руйнування будівель, зупинки руху транспорту та провалу ділянок доріг [5].

Наявність ґрунтових вод сприяє їх інфільтрації до мереж, що в свою чергу впливає на гідравлічний режим роботи трубопроводів та склад води як в водопровідній так і каналізаційній мережі. Збільшення витрат стічної рідини змінює роботу каналізаційних насосних станцій та очисних споруд, підвищує вартість експлуатації каналізаційної мережі.

Екологічна безпека та надійність мереж водовідведення залежить від великої кількості факторів. Тому для визначення першочергових заходів з реконструкції мережі слід визначити домінуючі фактори, які впливають на її роботу.

Для визначення значимості критеріїв, що впливають на роботу мереж водопостачання та водовідведення скористуємося теорією графів та матричним методом. Для чого складаємо структурну схему зв'язків факторів, що визначають їх вплив один на одного, у виді орієнтованих графів (рис.4). Ранжування цих 27 факторів та підставі безлічі їх зчленувань зручно проводити, склав матрицю залежності  $M$  усіх можливих зчленувань факторів. Далі на підставі усіх встановлених зв'язків графів кожному з 27 факторів або елементів матриці  $M$  присвоюється «0» або «1». Цифра «1» означає залежність одного фактора від іншого, цифра «0» - відсутність такої залежності. Чисельний ступінь значимості одного фактору по відношенню до іншого, або ступінь домінування факторів, показників та обставин, визначається рангом, що дорівнює сумі елементів строки матриці  $M$ . Для підширення діапазону чисельних значень рангів 27 факторів матриця домінування перетворюється у матрицю  $S$  (1):

$$S = M + M^2 + M^4 \quad (1)$$

Для автоматизованого підрахунку матриці добутку та додавання матриць  $M$  та виявлення рівня значимості факторів (шляхом підрахунку сум елементів підсумкової матриці  $S$ ), у виді числових значень використовувалась програма MathCAD.

Аналізуючи отримані дані можна відмітити, що кожний елемент матриці, після проведення операції додавання строк, здобуває своє бальне значення. Значимість кожного з факторів приведена в таблиці 1.

Згідно до отриманих даних (табл.1) головними факторами, що впливають на роботу всієї мережі є матеріал, строк експлуатації, наявність агресивних ґрунтових вод та гідравлічний режим саме водопровідної мережі. Як видно з цих таблиць, від цих факторів залежить не тільки екологічна безпека та надійність мереж водопостачання, але й мережі водовідведення. Крім того до базової групи факторів слід також віднести матеріал, строк дії, гідравлічний режим роботи мереж водовідведення та діаметр (товщину стінки), наявність осаду та негерметичність мереж водопостачання.

До додаткових факторів, відносимо всі інші фактори графу, що більш впливають на роботу кожної з підсистем окремо, ніж на всю систему загалом. З таблиці видно, що таких факторів в підсистемі «Мережі водопостачання» лише 5 з 13, в той час як для системи водовідведення, вони складають основний масив – 9 факторів.

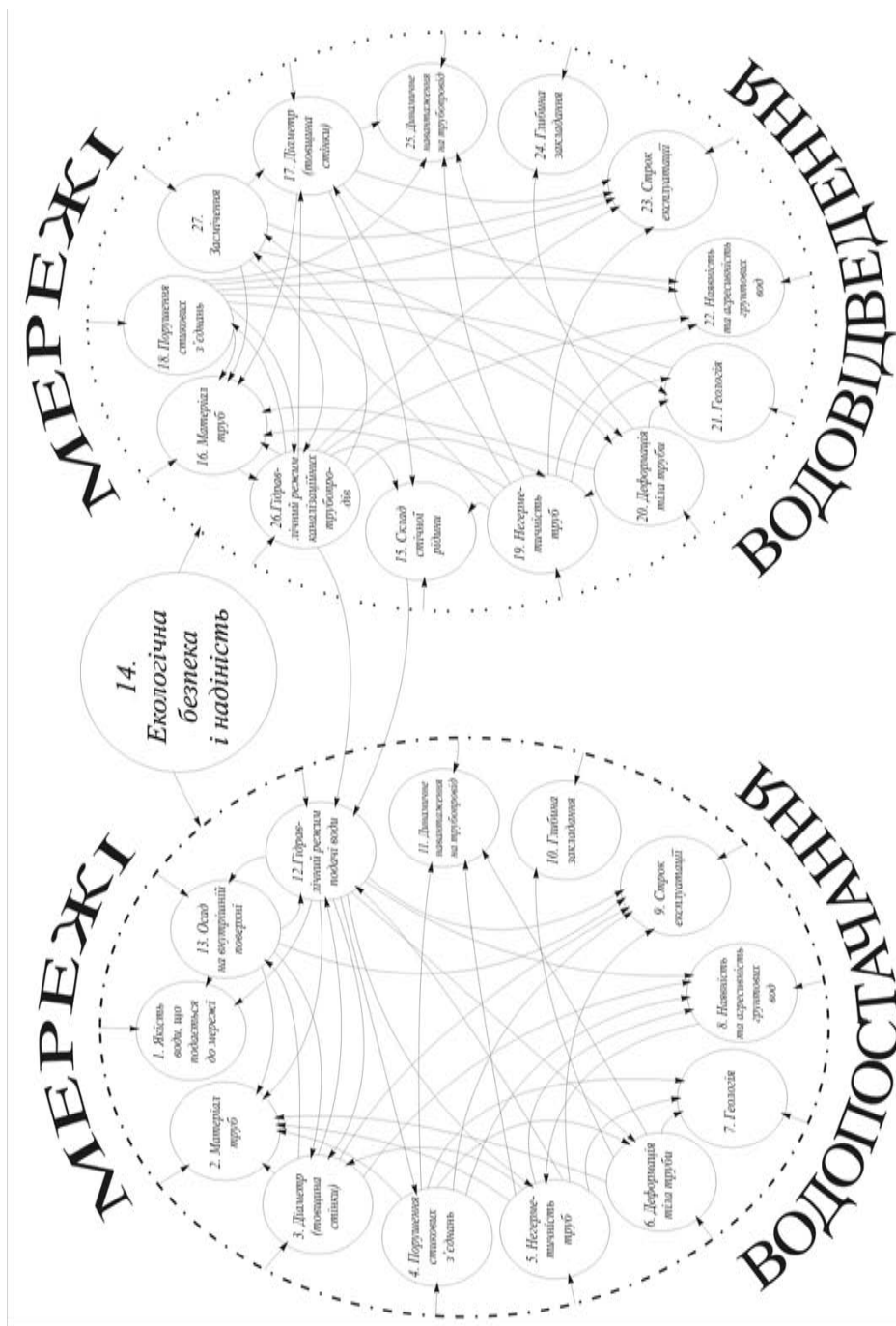


Рис. 4. Граф зв'язності факторів, що впливають на екологічну безпеку і надійність мереж водопостачання та водовідведення

Таблиця 1  
Значимість факторів, що впливають на екологічну безпеку на надійність мереж водопостачання та водовідведення

Найменування фактору	Значимість
1	2
Якість води, що подається до мережі водопостачання	0,036
Матеріал трубопроводу водопровідної мережі	0,088
Діаметр (товщина стінки) мережі водопостачання	0,054

1	2
Порушення стикових з'єднань мереж водопостачання	0,025
Негерметичність трубопроводів мережі водопостачання	0,045
Деформація тіла труби мереж водовідведення	0,032
Геологія (де прокладено мережі водопостачання)	0,034
Наявність та агресивність ґрунтових вод, в місцях де прокладена мережа водопостачання	0,066
Строк експлуатації мережі водопостачання	0,077
Глибина закладання мереж водопостачання	0,011
Динамічне навантаження на мережі водопостачання	0,033
Гідравлічний режим подачі води	0,071
Осад на внутрішній поверхні мереж водопостачання	0,042
Склад стічної рідини	0,034
Матеріал труб мережі водовідведення	0,064
Діаметр (товщина) стінки мереж водовідведення	0,031
Порушення стикових з'єднань мереж водопостачання	0,014
Негерметичність трубопроводів мережі водовідведення	0,020
Деформація тіла труби	0,015
Геологія (де прокладено мережі водовідведення)	0,020
Наявність та агресивність ґрунтових вод, в місцях де прокладена мережа водовідведення	0,040
Строк експлуатації мережі водовідведення	0,052
Глибина закладання мереж водовідведення	0,006
Динамічне навантаження на трубопровід мереж водовідведення	0,034
Гідравлічний режим роботи каналізаційних трубопроводів	0,034
Засмічення мереж водовідведення	0,022
ВСЬОГО	1,000

Отже, до першочергових заходів з реконструкції мережі слід віднести заміну аварійних ділянок трубопроводів та заходи з інтенсифікації роботи мереж водовідведення.

Заміну аварійних та старих ділянок трубопроводу слід провадити по домінуючому принципу – впливу роботи кожної окремої ділянки на всю систему (від головних колекторів то внутрібудинкової мережі).

При виборі матеріалу трубопроводу для реконструкції слід виконувати техніко-економічне обґрунтування прийнятого рішення, яке буде спиратися на принципі надійність – вартість, а вибір методу відновлення на принципі екологічна безпека -вартість.



При розробці заходів з оптимізації роботи системи водопостачання (зменшення або збільшення обсягів водопостачання) необхідно враховувати змінення гідравлічного режиму роботи мереж водовідведення та його наслідки:

- змінення режиму роботи очисних споруд;
- змінення технології очищення стічної рідини, в зв'язку зі зміною її кількісного та якісного складу;
- зменшення строку служби колекторів в зв'язку з підвищенням агресії стічної рідини та тривалості перебування її в трубопроводі;
- збільшення витрат на додаткові промивання мережі, в зв'язку зі збільшенням засмічень у мережі.

Тому при визначенні обсягу зменшення водопостачання необхідно ґрунтуватися на системному принципі: економія в системі водопостачання – вартість заходів з оптимізації системи водовідведення.

### **Висновки.**

1. За допомогою складеного графу зв'язності факторів, що впливають на екологічну безпеку і надійність мереж водовідведення, визначено що основними критеріями, які впливають на роботу мереж водовідведення є матеріал трубопроводу, їх строк та режим експлуатації, наявність ґрунтових вод. При цьому базовими є характеристики водопровідної мережі.
2. До першочергових заходів з реконструкції мережі слід віднести заміну аварійних ділянок трубопроводів та заходи з інтенсифікації роботи мереж водовідведення.
3. При розробці заходів оптимізації роботи мереж водопостачання слід ґрунтуватися на принципах: екологічна безпека-вартість, надійність - вартість, економія в системі водопостачання – вартість заходів з оптимізації системи водовідведення.

### **ЛІТЕРАТУРА**

1. Нау, Y; Clarke, B; Howes, C; Cunningham, R.; Mathews, M. Defects in sewer pipe joints and water tests. // Proceedings of the Institute of Civil Engineers, Water Management 158. - Issue WM 3 - 2005, Paper 14044, - Pages 119- 125.
2. С. В. Храменков, О. Г. Примин, В. А. Орлов. Реконструкция трубопроводных систем.// АСВ - Москва, 2008 - 216 стр. - Тираж: 4000 экз.
3. Національна доповідь про якість питної води та стан питного водопостачання в Україні у 2006 році// Київ – 2007.– 349 с.
4. Національної доповіді про стан навколишнього природного середовища в Україні в 2006 році. // Київ – 2007. - 548 с.
5. [www.mns.gov.u](http://www.mns.gov.u) - сайт МНС України.

6. Орлов В.А., Харькин В.А. Разработка стратегии восстановления городских водоотводящих сетей [Текст]//РОБТ. — 2001. — № 3. — с. 20—27.
7. Nasonkina N., Sahnovska V. Complex evaluation of water supply and sewerage systems.// Вісник Доннаба. - Інженерні системи та техногенна безпека. -2009- Випуск 2009\_2(76)- С.158-166
8. Абрамович И.А. Сети и сооружения водоотведения: расчет, проектирование, эксплуатация. // Харьков: Коллегиум. - 2005. — 228 с.
9. Глухова О.В., Салагаева Е.В., Ращепкин А.К., Князев И.Н., Фаттахов М.М. Эксплуатационная надежность и ремонтпригодность полиэтиленовых трубопроводов// Нефтегазовое дело. - 2006.— с.1-8
10. Проблемы обеспечения надежности, долговечности и экологической безопасности сетей водоснабжения. // С.О.К. 02/2005 - <http://www.c-o-k.com.ua/content/view/30/>.
11. А. Я. Найманов, Н.Г. Насонкина, В.Н. Маслак, Н.И. Зотов. Основы надежности инженерных систем коммунального хозяйства. // Макеевка. - 2001. — 93с.: ил.
12. Насонкина Н.Г. Повышение экологической безопасности систем питьевого водоснабжения.// Макеевка, ДонНАСА. -2005. — 181 с.

#### **Аннотация.**

Определены критерии экологической безопасности и надежности сетей водоотведения, предложены рекомендации по их реконструкции.

#### **Summary.**

There have been defined criteria of environmental safety and reliability of sewerage network, there have been propose recommendation of their reconstruction