

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА ТА  
АРХІТЕКТУРИ**

На правах рукопису

**ЛЕБЕДЄВА ОЛЕНА СЕРГІЇВНА**

УДК 504.064:628.2+504.3.054

**ЗАХИСТ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ВІД ЗАБРУДНЕННЯ  
ВИКИДАМИ СІРКОВОДНЮ З КАНАЛІЗАЦІЙНИХ МЕРЕЖ**

Спеціальність 21.06.01 – екологічна безпека

Дисертація на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Науковий керівник:  
Юрченко Валентина Олександрівна,  
доктор технічних наук, професор

Харків – 2017

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1 ЗАХИСТ МІСЬКОГО АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ВІД ЗАБРУДНЕННЯ ГАЗОПОДІБНИМИ СПОЛУКАМИ, ЩО ВИКИДАЮТЬСЯ З КАНАЛІЗАЦІЙНИХ МЕРЕЖ.....	14
1.1 Каналізаційні мережі - джерело викиду газоподібних забруднень в міське атмосферне повітря.....	14
1.2 Екологічна небезпека газоподібних викидів з каналізаційних мереж для міського атмосферного повітря.....	17
1.2.1 Екологічна небезпека газоподібних середовищ, які формуються в спорудах каналізації, та їх надходження до міської атмосфери.....	17
1.2.2 Екологічна небезпека сірководню в газоподібних викидах з шахт, колодязів, вентиляційних стояків на каналізаційних мережах, для міського атмосферного повітря.....	22
1.3 Загрози екологічній безпеці міського середовища, що створюються в результаті «газової» корозії руйнуванням бетонних каналізаційних споруд.....	26
1.4 Методи боротьби з накопиченням сірководню в газоповітряному середовищі каналізаційних мереж.....	28
1.4.1 Передумови накопичення сірководню в газо-повітряному середовищі каналізаційних мереж.....	28
1.4.2 Технологічні фактори, управління утворенням сірководню в системах водовідведення.....	29
1.4.3 Фактори, що впливають на перехід сірководню зі стічної води (рідина) в атмосферу каналізаційного колектора.....	33
1.5. Інженерні заходи щодо захисту атмосферного повітря міських регіонів від екологічно небезпечних газоподібних викидів з каналізаційних мереж.....	34
1.5.1. Методи хімічного видалення летючих сполук із стічних вод.....	34
1.5.2 Дегазаційні установки на каналізаційних мережах.....	36

1.5.3 Технічні рішення по зниженню температури стічних вод, що транспортуються каналізаційними колекторами.....	39
1.6 Моніторинг вмісту екологічно небезпечних газоподібних сполук в підсклепіневому просторі каналізаційних мереж та атмосферному повітрі міст .....	44
1.6.1 Картографування концентрації сірководню на території розташування об'єктів каналізаційних мереж .....	46
Вибір напрямку дисертаційного дослідження .....	47
<b>РОЗДІЛ 2 ОБ'ЄКТИ І МЕТОДИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ...</b>	<b>49</b>
2.1 Лабораторне моделювання утворення сірководню в стічних водах, що транспортуються каналізаційними мережами .....	49
2.2 Методи лабораторних досліджень .....	50
2.2.1 Методи дослідження модельних стічних вод .....	50
2.2.2 Методи дослідження хімічного складу атмосфери каналізаційних колекторів.....	51
2.2.3 Методи розрахунку розсіювання екологічно небезпечних газоподібних сполук в атмосферному повітрі міських регіонів .....	53
2.2.4 Методи програмування для автоматизації системи моніторингу газоподібних викидів з каналізаційних мереж.....	55
Висновки по розділу 2 .....	56
<b>РОЗДІЛ 3 ВИЯВЛЕННЯ ФІЗИЧНИХ ТА ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ФАКТОРІВ, ЯКІ ПРИГНІЧУЮТЬ УТВОРЕННЯ СІРКОВОДНЮ В СТІЧНИХ ВОДАХ .....</b>	<b>57</b>
3.1 Дослідження в лабораторних умовах впливу фізичних та фізико-хімічних факторів на утворення сірководню (сульфатредукцію) в стічних водах .....	57
3.2 Визначення ефекту придушення утворення сірководню в стічних водах при одночасному впливі трьох екологічних факторів.....	61
3.3 Визначення кількісних показників впливу температури на активність накопичення сірководню в рідких та газоподібних середовищах каналізаційних мереж .....	66

3.3.1 Вплив температури на активність розвитку та метаболізму сульфатредуючих бактерій в стічних водах .....	66
3.3.2 Вплив температури на накопичення сірководню в підсклепіневому просторі каналізаційних трубопроводів .....	69
3.3.3 Вплив температури газоподібних викидів на самотягу в шахтах.....	73
3.4 Практичний досвід зниження температури стічних вод в каналізаційних мережах м. Харкова та його екологічні наслідки .....	76
3.4.1 Досвід застосування теплонасосного обладнання на КНС в м. Харкові ...	76
3.4.2 Вплив зниження температури стічних вод на вміст сірководню в підсклепіневому просторі колектора на КНС № 2а «Баварія».....	77
Висновки до розділу 3 .....	78
<b>РОЗДІЛ 4 ВИКИДИ СІРКОВОДНЮ З КАНАЛІЗАЦІЙНИХ МЕРЕЖ В МІСЬКЕ АТМОСФЕРНЕ ПОВІТРЯ, ТЕХНІЧНІ ЗАХОДИ ЩОДО ЇХ ЗНИЖЕННЯ ТА ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ВПРОВАДЖЕННЯ.....</b>	<b>80</b>
4.1 Розробка методу розрахункового визначення концентрації $H_2S$ на виході з каналізаційної шахти .....	80
4.2 Розрахунок очікуваної концентрації сірководню в газоповітряному середовищі на виході з шахт каналізаційних трубопроводів м. Харкова .....	82
4.3 Розрахунок розсіювання сірководню, що викидається з каналізаційних шахт, в атмосфері м. Харкова.....	82
4.4 Екологічна небезпека газоподібних викидів з шахт на ділянці каналізаційного колектора ХТЗ .....	85
4.4.1 Натурне обстеження складу газоподібного середовища підсклепінєвого простору трубопроводів на ділянці каналізаційного колектора ХТЗ.....	85
4.5 Експлуатаційні характеристики дегазаційних установок на каналізаційних мережах м. Харкова.....	90
4.5.1 Досвід застосування дегазаційних установок на каналізаційних мережах м. Харкова .....	90
4.6 Еколого-економічна оцінка використання теплонасосного обладнання для зменшення газоподібних викидів з каналізаційних мереж.....	93

4.6.1 Еколого-економічна оцінка збитку, заподіяного викидами сірководню з каналізаційних мереж .....	93
4.6.2 Розрахунок маси сірководню, що викидається в атмосферне повітря з каналізаційних мереж наднормативно .....	94
4.6.3 Визначення суми податку за викиди сірководню в атмосферне повітря з шахт каналізаційних мереж м. Харкова.....	96
4.6.4 Еколого-економічна оцінка використання теплових насосів на каналізаційних мережах .....	97
4.6.5 Основні показники економічної ефективності природоохоронних заходів з використанням теплових насосів.....	100
Висновки до розділу 4 .....	106
<b>РОЗДІЛ 5 РОЗРОБКА МЕТОДОЛОГІЧНОГО ТА ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ І ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ ШАХТ КАНАЛІЗАЦІЙНИХ МЕРЕЖ</b>	<b>107</b>
5.1 Методологічні основи встановлення класів екологічної небезпеки ділянок каналізаційних мереж та визначення пріоритетності впровадження природоохоронних заходів.....	108
5.2 Структура інформаційної системи моніторингу екологічного стану шахт каналізаційних мереж .....	114
5.2.1 База даних інформаційної системи моніторингу екологічного стану шахт каналізаційних мереж .....	116
5.2.2 База знань інформаційної системи моніторингу екологічного стану шахт каналізаційних мереж .....	117
5.2.3 Клієнтський додаток .....	117
5.3 Практичне застосування інформаційної системи моніторингу вмісту сірководню в різних середовищах каналізаційних мереж.....	124
Висновки по розділу 5 .....	124
<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ</b> .....	<b>126</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ</b> .....	<b>128</b>
<b>ДОДАТКИ</b> .....	<b>148</b>

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ,  
СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

Скорочення

КМ -	каналізаційні мережі
ГДК -	гранично-допустима концентрація
ГДК <sub>м.р.</sub> -	гранично-допустима концентрація максимально разова
ГДК <sub>с.д.</sub> -	гранично-допустима концентрація середньодобова
ГДК <sub>р.з.</sub> -	гранично-допустима концентрація робочої зони
ЕБ -	екологічна безпека
СЗЗ -	санітарно-захисна зона
КНС -	каналізаційна насосна станція
ДМС -	диметилсульфід
БСК -	біохімічне споживання кисню
ХСК -	хімічне споживання кисню

## ВСТУП

**Актуальність роботи.** Каналізація є системою житлово-комунального господарства, яка забезпечує екологічну безпеку (ЕБ) технічного та господарсько-питного водокористування міста. Проте, споруди водовідведення є великомасштабними технічними об'єктами, які чинять інтенсивне техногенне навантаження на навколишнє природне середовище, нерідко стаючи джерелом значущої екологічної небезпеки для міських регіонів. Навіть при роботі каналізаційних мереж (КМ) в безаварійному режимі, їх експлуатація створює екологічну проблему, обумовлену утворенням токсичних газоподібних сполук (сірководню, меркаптану, діоксиду сірки, діоксиду вуглецю, метану та ін.), які через шахти і колодязі забруднюють атмосферне повітря міських регіонів. Особливу екологічну небезпеку за кратністю перевищення гранично-допустимих концентрацій (ГДК) в газоподібних викидах з КМ створює сірководень (речовина 2 класу небезпеки). Він до того ж ініціює розвиток на склепіневій частині бетонних трубопроводів біогенної сірчаноокислотної корозії, яка кардинально зменшує експлуатаційну довговічність цих об'єктів. Служби експлуатації КМ потребують не тільки заходів, що мінімізують утворення сірководню в стічних водах, які транспортуються мережами, а й ефективної системи моніторингу викидів сірководню для отримання оперативної інформації про дійсний та прогнозований стан КМ та їх окремих ділянок. Створення та удосконалення існуючих систем моніторингу КМ шляхом впровадження нових комп'ютерних технологій та інформаційних систем, розширення контролю показників ЕБ є одним з пріоритетних напрямків у галузі життєзабезпечення населення та ЕБ країни.

Актуальність дисертаційної роботи обумовлена необхідністю розробки та обґрунтування технічних і технологічних рішень щодо зниження техногенного навантаження на навколишнє середовище, створюваного викидами сірко-

водню з каналізаційних мереж в міське атмосферне повітря, з урахуванням економічних та експлуатаційних показників.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційну роботу виконано в рамках державних науково-дослідних робіт МОН України на теми: «Забезпечення екологічної безпеки об'єктів біосфери в умовах техногенного навантаження» (ДР № 0115U001145), «Забезпечення глибокого вилучення біогенних елементів - азоту, фосфору та сірки, з газоподібних викидів та стічних вод в системах водовідведення» (ДР № 0115U000634) на кафедрі безпеки життєдіяльності та інженерної екології Харківського національного університету будівництва та архітектури.

**Мета і завдання роботи.** Метою дисертаційної роботи є підвищення рівня екологічної безпеки каналізаційних мереж для атмосферного повітря шляхом застосування науково обґрунтованих методів, що забезпечують додержання нормативів шкідливих впливів на довкілля викидів сірководню (шляхом мінімізації його утворення та очистки газоподібних викидів), а також розробки сучасної системи оперативного екологічного моніторингу цих викидів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- науково проаналізувати та виявити найбільш екологічно небезпечні газоподібні сполуки, що викидаються з каналізаційних мереж, процеси, що їх утворюють та шляхи мінімізації;
- науково дослідити й експериментально кількісно охарактеризувати вплив фізичних та фізико-хімічних чинників на утворення сірководню в стічних водах, що транспортуються каналізаційними мережами;
- визначити та науково дослідити концентрації сірководню в підсклепіневому просторі різних ділянок каналізаційних трубопроводів, у газоподібних викидах із шахт та в міському атмосферному повітрі внаслідок їх розсіювання;
- розробити комп'ютерну програму моніторингу газоподібних викидів з каналізаційних мереж та методологію класифікації екологічної небезпеки каналізаційних шахт/колодязів за рівнем викиду та розсіювання сірководню в міському атмосферному повітрі;



– виконати еколого-економічну оцінку впровадження технічних заходів, що мінімізують викиди сірководню та інших екологічно небезпечних газів із каналізаційних мереж.

**Об’єкт дослідження** – викиди сірководню з шахт каналізаційних мереж та їх вплив на атмосферне повітря.

**Предмет дослідження** – методи контролю та мінімізації викидів сірководню з шахт каналізаційних мереж в атмосферне повітря.

**Методи досліджень.** У процесі виконання експериментальних досліджень стічних вод, що транспортуються каналізаційними мережами, та газоподібних середовищ використовувалися гідрохімічні методи аналізу стічних вод, а також хімічні методи аналізу газоподібних середовищ відповідно до нормативних вимог в Україні. Для обробки експериментальних даних використовувались статистичні методи та методи регресійного аналізу. Для розробки комп’ютерної програми використовували методи об’єктно-орієнтованого програмування.

#### **Наукова новизна одержаних результатів:**

– уперше розроблено методологію класифікації рівнів екологічної небезпеки ділянок каналізаційних мереж й методику визначення пріоритетності впровадження природоохоронних заходів;

– уперше на підставі експериментальних та наукових досліджень розроблено метод розрахунку концентрацій сірководню в викидах, що надходять з підсклепіневого простору каналізаційних трубопроводів через шахти в атмосферне повітря міського середовища;

– удосконалено методику розрахунку залишкової концентрації  $H_2S$  в підсклепіневому просторі каналізаційних колекторів при зниженні температури стічної води шляхом впровадження формули мультиплікативного впливу на залишкові концентрації  $H_2S$  двох факторів: зниження концентрації  $H_2S$  в стічній воді (внаслідок пригнічуючої дії на метаболізм сульфатредуючих бактерій), а також затримання  $H_2S$  у стічній воді за рахунок підвищення розчинності сірководню;

– набули подальшого розвитку та удосконалення геоінформаційні системи каналізаційних мереж шляхом створення комп'ютерної програми моніторингу викидів з них екологічно небезпечних газоподібних речовин.

### **Практичне значення одержаних результатів.**

За результатами дослідження розроблено рекомендації щодо автоматизації системи моніторингу газоподібних викидів з каналізаційних мереж та визначення класу небезпеки для міської атмосфери шахт/колодязів на каналізаційних мережах. Рекомендації передано до КП «Харківводоканал» (акт прийому-передачі науково-технічної документації від 08.06.2016). Отримані результати впроваджено в навчальний процес для вивчення дисциплін таких, як «Моніторинг навколишнього середовища», «Моделювання та прогнозування стану навколишнього середовища», «Міське комунальне господарство», «Геоінформаційні системи в екології», «Організація баз даних і знань» студентами спеціальностей 6.040106, 6.050101, 6.030502 та в науково-дослідну роботу студентів і магістрів ХНУБА (акти впровадження від 04.02.2016, 10.02.2016).

**Особистий внесок здобувача** полягає в проведенні детального аналізу основних проблем екологічної безпеки викидів сірководню для навколишнього середовища, сучасних методів і обладнання, що знижують викиди сірководню в міське атмосферне повітря; обстеженні в натурних умовах ділянки каналізаційного колектора; проведенні в лабораторних умовах експериментальних досліджень впливу фізико-хімічних факторів на накопичення сірководню в стічних водах та їх моделях й викид його в атмосферне повітря; проведенні розрахунку розсіювання сірководню з шахт КМ на території м. Харкова та на окремих ділянках; розробленні комп'ютерної програми моніторингу газоподібних викидів з КМ, методологічних основ класифікації екологічної безпеки об'єктів КМ і визначення пріоритетності впровадження природоохоронних заходів. Вибір теми дисертаційної роботи, постановка завдань, обговорення отриманих результатів та формулювання висновків здійснювалось спільно з науковим керівником, д.т.н., професором Юрченко В.О. Усі положення і результати, які виносяться на

захист, отримано автором самостійно. Особистий внесок здобувача у роботах, що опубліковано у співавторстві:

- збір та аналіз науково-технічних матеріалів з використання теплових насосів на каналізаційних мережах [126, 128, 129];
- збір та аналіз науково-технічних матеріалів з екологічної небезпеки газоподібних сполук, що викидаються з каналізаційних систем в міську атмосферу [119, 127, 130];
- аналіз науково-технічних даних щодо аварій на каналізаційних трубопроводах у результаті сульфатної корозії бетону та забруднення сірководнем міської атмосфери [118];
- оцінка ефективності роботи дегазаторів на КМ та розробка пропозицій щодо поліпшення відеоекологічних характеристик дегазаторів [132 - 136];
- експериментальне встановлення кінетичних показників, математичне моделювання мікробіологічних процесів утворення сірководню та його корозії в КМ, математичне моделювання ефективності природоохоронного заходу [95, 113, 116];
- експериментальне дослідження накопичення сірководню в стічних водах та в газоподібному середовищі каналізаційних колекторів [92];
- розрахунок кількісних показників та ефективності зниження температури стічних вод на утворення сірководню в каналізаційних мережах [111, 115, 119, 121, 122];
- розрахунок ефективності придушення утворення сірководню при зниження температури стічних вод [117];
- експериментальне дослідження впливу окислювально-відновних умов на утворення сірководню в стічних водах [93];
- експериментальне вимірювання концентрацій газоподібних сполук на каналізаційних мережах, дослідження впливу температурного фактора на накопичення сірководню в стічних водах [91];
- розробка методики визначення концентрації сірководню на виході з каналізаційної шахти, експериментальні вимірювання концентрацій сірководню

в підсклепіневому просторі каналізаційного колектора, розрахунок розсіювання сірководню у міській атмосфері, розробка комп'ютерної програми моніторингу сірководню та методології класифікації рівнів екологічної небезпеки ділянок каналізаційних мереж [90, 120, 123, 131, 158 - 165].

**Апробація результатів роботи.** Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися на 18 конференціях: міжнародних науково-технічних конференціях «Екологічна та техногенна безпека. Охорона водного і повітряного басейнів. Утилізація відходів» (м. Бердянськ, 2012 р.), «Ресурсосбереження та енергоефективність інженерної інфраструктури урбанізованих територій», «Вода. Екологія. Суспільство» у ХНУМГ ім. О.Н. Бекетова (м. Харків, 2013, 2014 рр.), «Безпека життя і діяльності людини – освіта, наука, практика» (м. Одеса, 2013 р.); Міжнародній науковій конференції «Екологія, неоекологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування» в ХНУ ім.В.Н. Каразіна (м. Харків, 2013, 2014 рр.); Міжнародній молодіжній науковій конференції «Екологія і раціональне природокористування агропромислових регіонів» (м. Белгород, Росія, 2014, 2015 рр.), Міжнародній науково-методичній конференції «Безпека людини у сучасних умовах» в НТУ"ХП" (м. Харків, 2014 р.); Всеукраїнській науковій конференції аспірантів і студентів «Охорона навколишнього середовища та раціональне використання природних ресурсів» (м. Донецьк, 2013 р.); Міжнародних науково-практичних конференціях «Еколого-правові та економічні аспекти екологічної безпеки регіонів», «Галузеві проблеми екологічної безпеки» в ХНАДУ (м. Харків, 2013, 2015 рр.), «Сучасні проблеми водного господарства, інженерно-комунікаційних систем і екологія» (м. Баку, Азербайджан, 2014 р.), «Прикладні аспекти техногенно-екологічної безпеки» в НУЦЗУ (м. Харків, 2015 р.); Міжнародному науково-практичному конгресі «Міське середовище – XXI сторіччя. Архітектура. Будівництво. Дизайн» (м. Київ, 2014 р.); конференції молодих вчених «Наука - майбутнє Литви. Інженерія транспорту та організація перевезень» (м. Вільнюс, Литва, 2014 р.); Всеукраїнській науково-практичній інтернет-конференції «Ресурсозбереження і хіміко-екологічні про-

блеми технологічних процесів» в ХНАДУ (м. Харків, 2014 р.); VI та VII Всеукраїнському науковому семінарі «Методи підвищення ресурсу міських інженерних інфраструктур» в ХНУБА (м. Харків, 2014, 2015 рр.); Всеукраїнській науково-практичній конференції «Екологія візуальності: стратегії, концепти, проекти» (м. Черкаси, 2015 р.), Міжнародній науково-практичній конференції молодих вчених та фахівців «Інноваційні шляхи модернізації базових галузей промисловості, енерго- і ресурсозбереження, охорона навколишнього природного середовища» (м. Харків: ГП УкрНТЦ «Енергосталь», 2016 р.), Міжнародному конгресі «Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування» (м. Львів, 2016 р.).

**Публікації.** За результатами дисертаційної роботи опубліковано 36 наукових праць, у т.ч. 8 статей у наукових фахових виданнях з переліку МОН України, 1 стаття в виданні, що індексується міжнародною наукометричною базою Scopus, 17 статей в інших виданнях, 9 тез доповідей на конференціях, отримано 1 авторське свідоцтво.

**Структура та обсяг роботи.** Дисертаційна робота складається із вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи становить 198 сторінок. Дисертаційна робота містить 25 таблиць та 44 рисунки, 165 найменувань списку використаних джерел на 20 сторінках та 12 додатків на 51 сторінці.

РОЗДІЛ 1  
ЗАХИСТ МІСЬКОГО АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ВІД ЗАБРУДНЕННЯ  
ГАЗОПОДІБНИМИ СПОЛУКАМИ, ЩО ВИКИДАЮТЬСЯ З  
КАНАЛІЗАЦІЙНИХ МЕРЕЖ

1.1 Каналізаційні мережі - джерело викиду газоподібних забруднень в міське атмосферне повітря

Оцінка рівнів забрудненості атмосферного повітря сучасних міст показує, що максимальні разові концентрації речовин в атмосфері житлової забудови міст досягають екологічно небезпечних значень (табл. 1.1) [1]. Найбільш небезпечними сполуками, які зумовлюють ситуацію, що склалася, є неорганічні вуглець-, азот- та сірковмісні газоподібні сполуки.

Таблиця 1.1 - Оцінка ступеня забруднення атмосферного повітря м. Харкова за середньорічними концентраціями газоподібних речовин

Речовина	Середньорічна концентрація, мг/м <sup>3</sup>	Клас небезпеки	Середньорічна концентрація в кратності ГДК	Максимально разова середньорічна концентрація, в кратності ГДК
Оксид вуглецю	1,9	4	0,6	2,8
Діоксид азоту	0,03	2	0,8	4,6
Оксид азоту	0,02	3	0,3	0,2
Сірководень	0,002	2	0,1	1,4
Аміак	0,01	4	0,1	0,3
Фенол	0,002	2	0,6	2,3

Як видно з даних табл. 1.1, середньорічні концентрації екологічно небезпечних газоподібних сполук в міській атмосфері мають невисокі значення (не більше 0,8 ГДК). Однак, ГДК максимально разова (ГДК<sub>м.р.</sub>) середньорічних концентрацій ряду газів (сірководню, діоксиду азоту, оксиду вуглецю та фенолу) вже перевищують ГДК.

Основними джерелами, забруднення міської атмосфери є автомобільний транспорт та промислові підприємства: теплові електростанції, металургійні, хімічні, целюлозно-паперові та ін. виробництва. Підприємства житлово-комунального сектору також являють собою джерела забруднення атмосферного повітря. Внесок однієї з наймастштабніших систем життєзабезпечення міста – каналізаційних мереж, практично не враховується.

КМ забезпечують ЕБ промислового та господарсько-побутового водокористування в населених пунктах. Традиційно головною функцією КМ є безпечне збирання та транспортування стічних вод на очисні споруди. Ця концепція не враховує той факт, що при транспортуванні стічних вод їх хімічний та фізичний склад істотно змінюється, а сам каналізаційний колектор являє собою розтягнутий у просторі «реактор» хімічних та біологічних процесів. В цілому каналізаційний колектор можна розглядати як техногенну екосистему, в якій відбуваються численні біологічні процеси, пов'язані між собою міграцією біогенних елементів [2].

КМ та споруди очистки стічних вод є джерелами викидів ряду екологічно небезпечних, токсичних та маючих неприємних запах сполук - сірководню, меркаптану, метилмеркаптану, оксидів азоту, аміаку та ін. Причому маса сірководню, що надходить з КМ в міську атмосферу за рік, досягає 2,9 - 19,0 т, що можна порівняти з викидами промислових підприємств [3, 4]. Загазовані мережі часто є причиною нещасних випадків (отруєння сірководнем) обслуговуючого персоналу. Крім того, численні випадки так званої газової (в сучасній термінології - біогенної сірчаноокислої) корозії колекторів каналізації говорять про те, що в короткі терміни (4-10 років) газові викиди здатні зруйнувати сотні тонн залізобетонних конструкцій. Викиди газоподібних

сполук з КМ в атмосферу міських регіонів спричиняють порушення нормальної життєдіяльності населення, проживаючого в районах розташування джерел викидів, внаслідок вдихання токсичних речовин, що мають неприємний запах. Створювана викидами екологічно небезпечна ситуація викликає скарги з боку мешканців міста.

Основними (прямими) процесами, в результаті яких відбувається викид в атмосферу міських регіонів екологічно небезпечних газоподібних сполук з КМ, є: процес транспортування стічних вод КМ та процес очищення стічних вод на очисних спорудах. Окрім цього, існує ряд непрямих, неорганізованих джерел викиду газоподібних сполук з КМ (рис.1.1) [5].

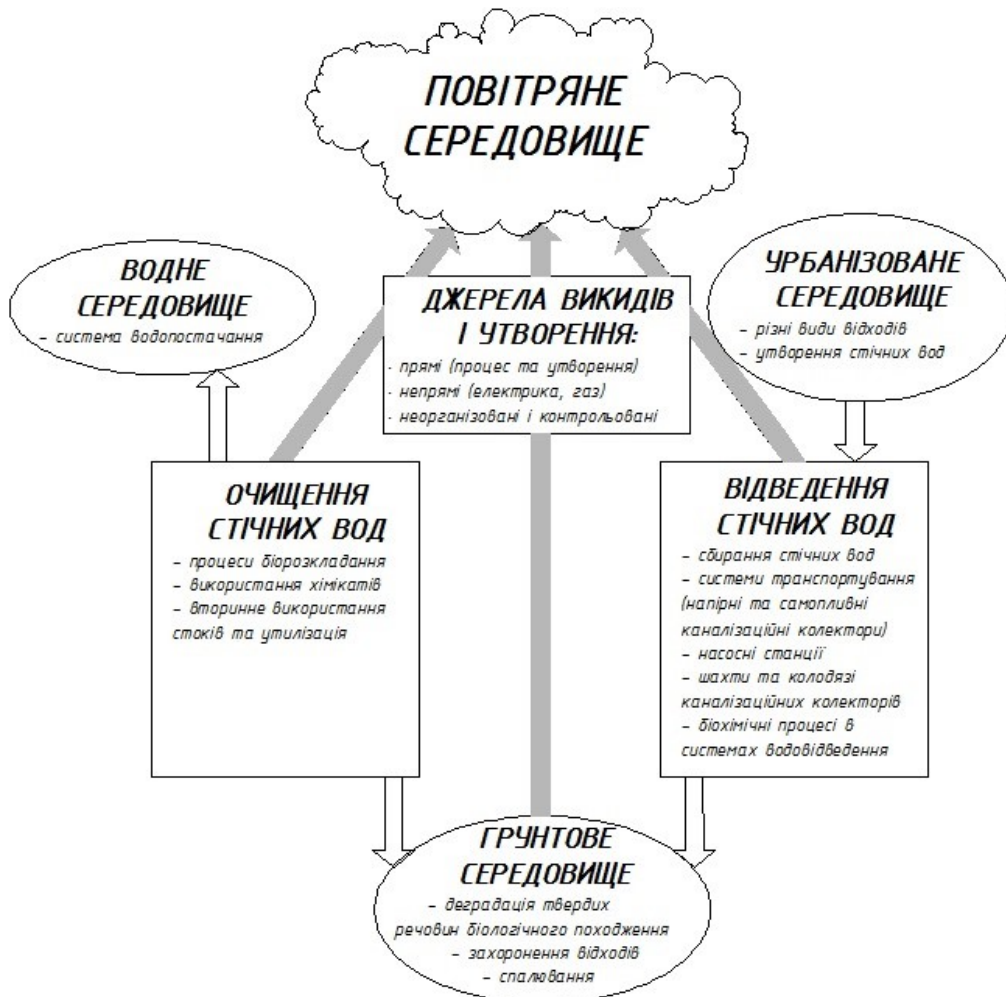


Рисунок 1.1 - Оцінка газоподібних викидів в атмосферу в рамках циклу відведення та очищення стічних вод [5]



Як видно з даної схеми, заходи з контролю та запобігання викидів екологічно небезпечних газоподібних сполук в рамках циклу транспортування та очищення стічних вод повинні відбуватися за такою схемою:

- виявлення джерел викидів екологічно небезпечних газоподібних сполук на всіх етапах водовідведення та кількісна оцінка викидів шляхом інструментальних вимірювань, а також порівняння результатів з нормативними показниками;
- інвентаризація джерел газоподібних викидів (прямих, непрямих і т.д.), матеріалів та енергії, які використовуються на всіх етапах обробки та транспортування стічних вод на протязі всього циклу водовідведення, а також обслуговування технічних об'єктів каналізаційних систем;
- оцінка впливу на атмосферу, яка досліджує потенційні та фактичні наслідки, пов'язані з тими чи іншими факторами (склад стічних вод, склад викидів, вид палива для опалення об'єктів каналізаційного господарства тощо);
- розробка та техніко-економічна оцінка природоохоронних заходів для захисту атмосфери від екологічно небезпечних газоподібних викидів на всіх етапах водовідведення;
- впровадження природоохоронних заходів на каналізаційних системах;
- оцінка позитивних змін та реалізації впровадження природоохоронних заходів, спрямованих на зниження викидів в атмосферу з систем водовідведення [5].

1.2 Екологічна безпека газоподібних викидів з каналізаційних мереж для міського атмосферного повітря

1.2.1 Екологічна безпека газоподібних середовищ, які формуються в спорудах каналізації, та їх надходження до міської атмосфери

Основними джерелами екологічно небезпечних газоподібних викидів в атмосферу міських регіонів з самопливної каналізації (через нещільність в

кришках люків та камер, вентиляційні камери і т.д.) - це ділянки мережі, що працюють з великим наповненням, з низькими швидкостями течії води, після приєднання промислових стоків, що містять білкові забруднення, перед якими відбувається розвантаження напірних колекторів, що особливо характеризуються низькими швидкостями, перед та після дюкерних переходів. У напірній каналізації джерелами цих речовин є приймальні резервуари каналізаційних насосних станцій (КНС), аварійно-регулюючі резервуари, вантузи на напірних трубопроводах, а також споруди для вилучення, транспортування та зберігання відходів, уловлених на встановлених там решітках [6].

Газоподібні викиди з КМ, які потрапляють в міську атмосферу з прийомних резервуарів КНС, шахт, колодязів, вентиляційних стояків і т.д., створюють екологічну напруженість в прилеглих міських регіонах та загрозу здоров'ю населення, оскільки концентрація в них ряду сірковмісних сполук сірководню, діоксиду сірки, меркаптана, диметилсульфіду (ДМС) перевищують ГДК середньодобове (ГДК<sub>с.д.</sub>), ГДК робочої зони (ГДК<sub>р.з.</sub>) (табл. 1.2, 1.3, 1.4). Крім високих абсолютних значень концентрацій цих сполук в газоподібних викидах, велику небезпеку становить синергічний ефект їх впливу, пов'язаний з присутністю в викидах діоксиду сірки [7, 8].

Таблиця 1.2 - Типовий склад атмосфери каналізаційних колекторів [9, 10]

№ п/п	Сполука	Порядок концентрації за об'ємом
1	Диоксид вуглецю	0,2-1,2 %
2	Вуглеводні та їх хлорпохідні	
	а. Вуглеводні, головним чином аліфатичні C6-C14, C8-C12 (бензини)	до 500 ppb
	б. Хлорпохідні вуглеводнів, головні - трихлоретилен, дихлорид етилену, тетрахлорид вуглецю	10-100 ppb
3	Сірководень	0,2-10 ppb
4	Пахучі гази і пари	
	а. Сульфіді (головним чином меркаптан, ДМС, деякі етилмеркаптани)	10-50 ppb
	б. Аміни (головним чином тріметиламін і диметиламин, деякі діетиламіни)	10-50 ppb
	в. Альдегіди (головним чином масляний альдегід)	10-100 ppb

Як свідчать дані табл.1.2, концентрації деяких з цих сполук перевищують ГДК<sub>р.з./с.д.</sub>, становлять істотне джерело забруднення повітря міських регіонів, а також небезпеку для здоров'я персоналу, що працює на КМ. Хімічний склад газоподібних сполук в каналізаційних колекторах та мережах м. Харкова представлений в табл. 1.3.

Таблиця 1.3 - Хімічний склад атмосфери КМ у м Харкові [2]

Сполука	Концентрація	Кратність перевищення ГДК <sub>р.з.</sub>
CO, мг/м <sup>3</sup>	0-25	1,4
CO <sub>2</sub> , об. %	0,1-3,5	-
CH <sub>4</sub> , об. %	0,2-6,0	0
H <sub>2</sub> S, мг/м <sup>3</sup>	0-300	30
SO <sub>2</sub> , мг/м <sup>3</sup>	5-10	0,5-1,5
NH <sub>3</sub> , мг/м <sup>3</sup>	0-5,0	0-0,4

З метою отримання усереднених показників була проведена верогідносно-статистична обробка даних за змістом газів в колекторах різних ділянок м. Харкова. Як свідчать дані, найбільше перевищення ГДК спостерігається по сірковмісним сполукам - сірководню та ДМС [4, 11, 12].

Таблиця 1.4 - Токсикологічні характеристики газоподібних сполук, що виділяються в процесі водовідведення

Речовина	Токсикологічні характеристики				Поріг запаху	Парниковий ефект
	Клас небезпеки	ГДК <sub>м.р.</sub> , мг/м <sup>3</sup>	ГДК <sub>р.з.</sub> , мг/м <sup>3</sup>	ГДК <sub>с.д.</sub> , мг/м <sup>3</sup>		
1	2	3	4	5	6	7
H <sub>2</sub> S (сірководень)	2	0,008	10	0,008	14	
NH <sub>3</sub> (аміак)	4	0,2	20	0,04	32000	
SO <sub>2</sub> (діоксид сірки)	3	0,5	10	0,05		

1	2	3	4	5	6	7
CO (оксид вуглецю)	4	5	20	3	-	
CO <sub>2</sub> (діоксид вуглецю)	-	-	-	-	-	+
NO <sub>2</sub> (діоксид азоту)	3	0,085	2,0	0,04	0,2	
CH <sub>4</sub> (метан)	-	50 (ОБРВ*)	1500, 7000	50	-	+
CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> SH (етилмеркаптан)	3	10 <sup>-4</sup>	1	-	0,19	
CH <sub>3</sub> SH (метілмеркаптан)	2	9·10 <sup>-6</sup>	0,8	-	0,4	

\*ОБРВ – орієнтовано безпечний рівень впливу

Серед наведених у табл. 1.4 газоподібних сполук особливу екологічну небезпеку по кратності перевищення ГДК, а також за токсикологічними характеристиками, створює сірководень [8, 9, 13 - 20]. Діоксид вуглецю та метан є газами парникової дії. Також практично всі з перерахованих речовин є одорантами (мають неприємний запах) [5, 21, 22].

Німецькими авторами детально вивчено склад газоподібних речовин, що виділяються зі стічних вод в анаеробних умовах. У табл. 1.5 наведено перелік речовин, що виділяються в газо-повітряне середовище над стічними водами (Німеччина) [23].

Таблиця 1.5 - Перелік речовин, виявлених в результаті аналізу газо-повітряного середовища над стічними водами Baden Wuerttemberg Region (Німеччина) [23].

Клас речовини	Речовина	Макс. концентрація., мг/м <sup>3</sup>
1	2	3
Сірковмісні	діоксид сірки	0,67021
	діметилдісульфід	0,21259
	діметилтрісульфід	0,04549
Кетони	ацетон	0,46179

1	2	3
	2-бутанон	4,53781
	ацетофенон	0,58772
Альдегіди	бензальдегід	0,06699
	триметил- бензальдегід	0,06432
	деканал	0,02146
	нонанал	0,01982
Ароматичні	етил-бензол	0,01472
	діетил-бензол	0,01767
	1-етил-2-метилбензол	0,01309
	1,3,5-триметилбензол	0,00836
	p-ксилен	0,04724
	1,2,4- триметилбензол	0,01055
	бензол	0,02191
	толуол	0,50921
Терпени	лімонен	0,02304
	D-лімонен	0,02304
	a-пінен	0,01314
Спирти	2-бутоксі-етанол	0,09634
	2-етилгексил-етанол	0,04782
	2-етил-1-етанол	0,39902
Летючі жирні кислоти	оцтова кислота	0,10511
	бутанова кислота	0,02088
	пропанова кислота	0,01128
Вуглеводні	тексан	0,00382
	ундекан	0,00537
	диметил-ундекан	0,01989
	додекан	0,00341
	тетрадекан	0,00476
	метил-циклогексан	0,01257
	тридекан	0,00404
	октан	0,01301
	нонан	0,01071
	декан	0,00708
Інші	тетрахлоретилен	0,01065
	октаметилціклотетрасілоксан	0,58773

Більшість ідентифікованих сполук є типовими для газо-повітряного середовища КМ. Як ключовий компонент викидів було визначено диметилдисульфід.

Інтенсивність викиду такої екологічно небезпечної сполуки як сірководень непостійна і залежить від пори року. У зимовий період, поряд із загальним зниженням емісії відбувається збільшення частки викиду сірководню на об'єктах водовідведення [24].

Значення ГДК забруднюючих речовин для робочої та сельбищної зони відрізняються на декілька порядків. В результаті цього розсіювання викидів від деяких споруд каналізації вимагає великих (100-500 м) санітарно-захисних зон (СЗЗ). В сучасних умовах, коли площі для розвитку всередині меж великих міст вичерпуються, проблема екологічної безпеки та запахів від очисних споруд, а також інших об'єктів каналізації (КНС, шахти та колодязі КМ) набуває містобудівного значення. Першим кроком для вирішення проблеми викидів забруднюючих речовин від очисних споруд є перекриття поверхні споруд. Також існують адсорбційні, біологічні, електрохімічні та фотохімічні методи очищення газоподібних викидів від очисних споруд.

1.2.2 Екологічна безпека сірководню в газоподібних викидах з шахт, колодязів, вентиляційних стояків на каналізаційних мережах, для міського атмосферного повітря

За даними вимірювань хімічної лабораторії КМ м. Харкова, концентрація сірководню в каналізаційних коллеторах може досягати 250-300 мг/м<sup>3</sup>. Як видно з табл. 1.6, у персоналу, що працює на КМ, можуть спостерігатися очні та респираторні пошкодження, судоми, втрата свідомості при часі експозиції близько 30 хв. Проведення ремонтних робіт в колекторі при таких концентраціях сірководню являє суттєву небезпеку для життя та здоров'я робітників. Робітники повинні дотримуватись правил та вимог до проведення робіт в каналізаційних мережах, безпосередньо перед початком робіт проводити аналіз газо-повітряного середовища в підсклепіневому просторі

каналізаційного колектора. Якщо вживати ці заходи, робота на КМ буде представляти меншу небезпеку для життя та здоров'я персоналу.

При підвищенні вимог до комфортності проживання в сучасному місті все більша увага приділяється не тільки безпеці атмосферного повітря, але й присутності в ній одорантів, які формують неприємні запахи навіть в концентраціях, які не становлять особливої загрози для здоров'я. До таких забруднюючих речовин відносяться з'єднання відновленої сірки, в першу чергу - сірководень [3-13, 4].

У табл. 1.6. показано вплив на людину вдихання сірководню в залежності від часу експозиції та концентрації в атмосфері [25].

Таблиця 1.6 - Вплив сірководню в атмосфері на здоров'я людини

Вплив на людину	Час контактування	Концентрація в атмосфері, ppm
Поріг сприйняття запаху	Кілька годин без значних проблем	0,0001 – 0,002
Рівень початку відчуття запаху		0,13
Слабкий, але відчутний запах «тухлих яєць»		1,0
Відчутний, наростаючий, виразний запах		5,0
Максимально допустима концентрація для 8-годин робочого часу		10
Неприємний та сильно відчутний запах		30
Головний біль, нудота та подразнення очей, носа і горла; нестерпний запах		10-50
Відсутність відчуття запаху людиною (при більш високих концентраціях запах менш сильний та неприємний)	Менш ніж 60 хвилин без значних проблем	> 100
Очні та респіраторні пошкодження		50-300
Судоми та втрата свідомості, небезпека для життя	Небезпечно для життя при контакті протягом 30 хвилин	300-500
Негайна смерть	Небезпечно для життя при контакті протягом декількох хвилин/секунд	Більш 700

Найбільш небезпечним процесом, який ініціює ряд вкрай несприятливих для експлуатаційної довговічності бетонних конструкцій та ЕБ міської атмосфери, є мікробіологічна сульфатредукція в стічних водах, що транспортуються [1 - 8]. При сульфатредукції - відновленні сульфатів протонами органічних сполук, сульфатредукуючі бактерії продукують газоподібний сірководень, який елює в газо-повітряне середовище підсклепіневого простору трубопроводів, а з нього - в міську атмосферу. Крім того, розчиняючись в конденсатній волозі на sklepiневій частині колектора сірководень ініціює розвиток в цьому середовищі ацидофільних тіобацил - збудників мікробіологічної корозії бетону [3, 4].

Для оцінки екологічної небезпеки сірководню, що викидається з КМ для атмосферного повітря, проводились дослідження в одному із міст східної частини України. Було вивчено самопливну ділянку колектора діаметром 1200 мм та довжиною близько 2 км після напірного трубопроводу. У стічній воді концентрація сірководню перебувала в межах від 3,8 до 34 мг/л в залежності від сезону року. Витрата стоків - 0,8-1,23 м<sup>3</sup>/с, середній час пробігання стоків по досліджуваній ділянці - 695 с, середньодобовий обсяг водовідведення по колектору становив 90 тис. м<sup>3</sup>. Інтенсивність дегазації сірководню з стоків в підсклепіневий простір трубопроводу в залежності від його вмісту у воді знаходилася в межах 1,12-8,27 мг/м<sup>3</sup>·с.

Розраховувалися інтенсивність розсіювання сірководню вентиляційними стояками в атмосфері. Аналіз результатів досліджень показав: добовий викид в атмосферу міста токсичного сірководню з загазованого каналізаційного колектора становить 8,0 - 52,0 кг.

На рис. 1.2 наведені карти розсіювання сірководню, на яких представлені лінії рівних концентрацій H<sub>2</sub>S в частках ГДК (ГДК сірководню прийнята 0,008 мг/м<sup>3</sup>). Карти побудовані в залежності від інтенсивності виділення сірководню з води в підсклепіневий простір колектора (C=1,21; 1,46; 6,95 мг/м<sup>3</sup>·с), висоти вентиляційного стояка (H=5; 10; 15 м), швидкості виходу газо-повітряного



поток з стояка ( $V=0,3; 0,6; 1,0$  м/с) з урахуванням фізико-географічних і кліматичних умов району розташування колектора.

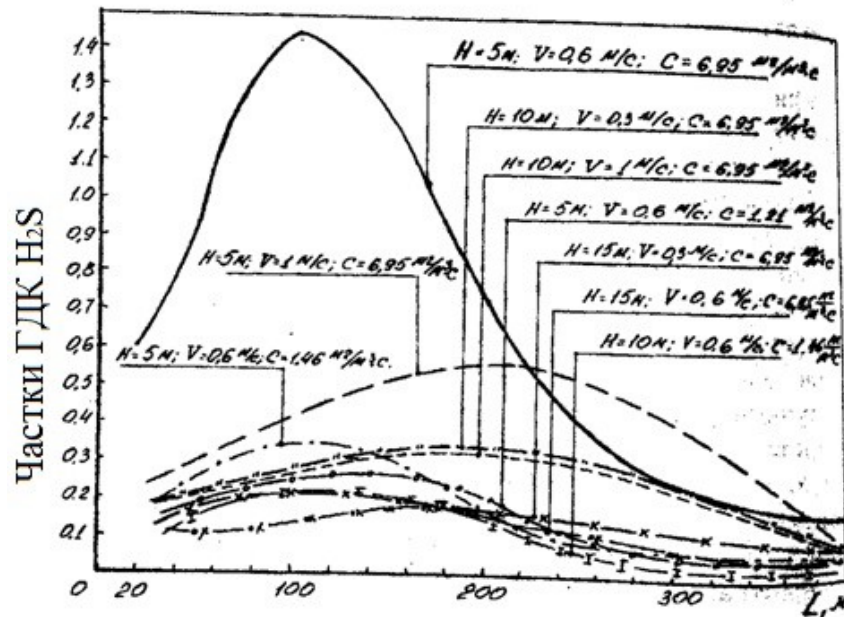


Рисунок 1.2 - Карта розсіювання сірководню [4]

Виходячи з рис. 1.2, високий ступінь розсіювання сірководню в атмосфері досягається збільшенням висоти вентиляційного стояка та швидкості газоповітряного потоку, що виходить з нього, при низьких значеннях інтенсивності дегазації стічних вод. При несприятливих поєднаннях стояків на відстані 100-150 м спостерігалось перевищення ГДК сірководню в міській атмосфері в 1,5 рази. Передбачалося, що такі ж закономірності справедливі і для інших видів газів, що виділяються з КМ: вуглекислого газу, метану, оксидів азоту та ін.

Результати даних досліджень дають підставу стверджувати, що вентиляційні стояки є самостійним джерелом забруднення та інфікування міської атмосфери, вплив якого на санітарно-епідеміологічну обстановку міст вимагає подальшого всебічного вивчення. Вентиляційні шахти та стояки на мережах не є широко поширеними спорудами для всіх систем каналізації. Були виконані аналогічні дослідження для будинкових вентиляційних стояків каналізації та сміттєпроводів. Проводили обстеження стояків на будівлях різної поверховості. Отримані закономірності розсіювання газів збігалися з

наведеними на рис. 1.2, та відрізнялися тільки концентрацією. Мікробіологічне забруднення повітря, що викидається для різних будинкових вентиляційних стояків різко відрізнялися один від одного за видом мікрофлори, а концентрація їх була значно нижче, ніж у викидах з вентиляційних стояків на перепадних колодязях мережі. Однак загальна кількість вентиляційних стояків на даху навіть одного будинку забезпечує сумарний викид мікробних клітин та спор, який можна порівняти з викидами з стояків КМ. З огляду на те, що загальна кількість вентиляційних пристроїв у містах величезна, слід вважати, що їх роль в забрудненні та інфікуванні повітряного басейну значна. Ця проблема практично ніким не досліджувалася та представляє інтерес з соціальної, санітарно-гігієнічної та екологічної точок зору [3, 4].

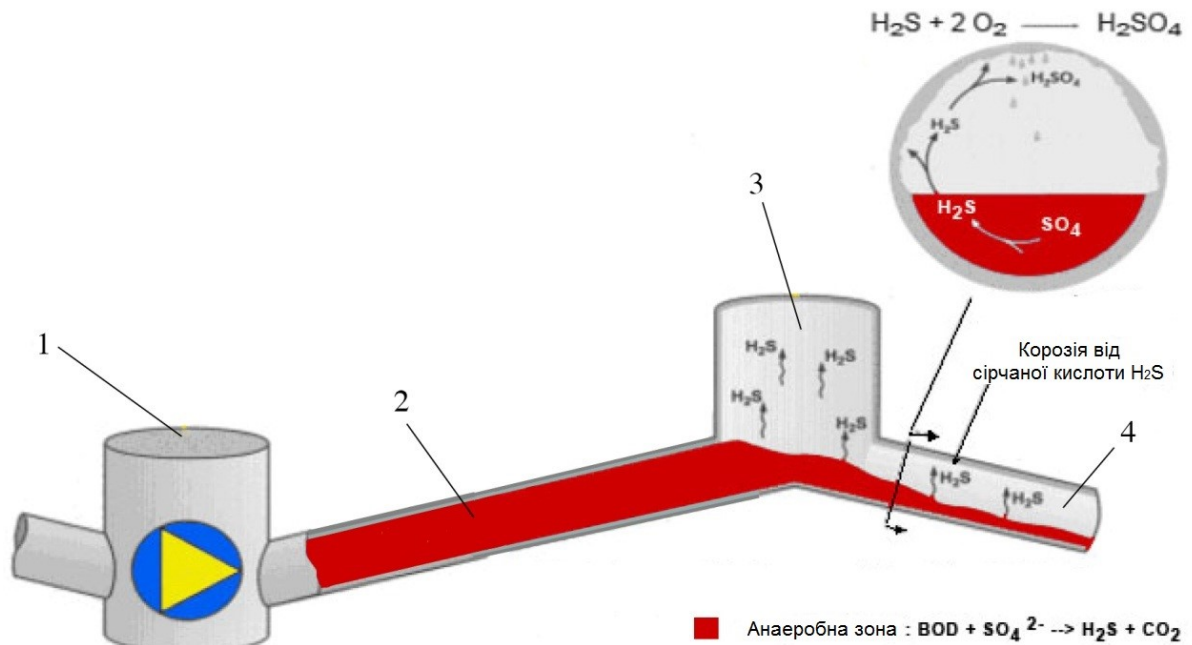
1.3 Загрози екологічній безпеці міського середовища, що створюються в результаті «газової» корозії руйнуванням бетонних каналізаційних споруд

Накопичення сірководню в атмосфері підсклепіневого простору каналізаційних трубопроводів ініціює розвиток на склепіневій частини трубопроводів тіонових бактерій - збудників самого інтенсивного виду мікробіологічної агресії по відношенню до конструктиву - біогенної сірчаноокислотної корозії, іменованої як «газова» корозія.

Сучасні уявлення про мікробіологічну корозію дають підстави вважати що її індукують різні групи мікроорганізмів, що послідовно змінюють один одного. Механізм корозії на прикладі руйнування каналізаційного колектора складається з трьох стадій розвитку [26]:

1. Абіотична нейтралізація поверхні бетону.
2. Заселення нейтрофільними тіобацилами.
3. Заселення ацидофільними тіобацилами.

Процес сульфатредукції та виділення сірководню в каналізаційному трубопроводі представлений на рис. 1.3.



1 - КНС, 2 - ділянка напірного каналізаційного трубопроводу, 3 - каналізаційна шахта, 4 - ділянка самопливного каналізаційного трубопроводу

Рисунок 1.3 - Процес сульфатредукції та виділення сірководню в каналізаційному трубопроводі

В спорудах водовідведення активність корозійних процесів, які вражають бетон та залізобетон зводу трубопроводів (обумовлюючи до 70% аварій на цих об'єктах), багаторазово перевершує аналогічну характеристику в наземних спорудах з аналогічних конструкційних матеріалів [3, 27 - 35].

Інтенсивність аварій на 1 км залізобетонних трубопроводів (які складають близько  $\frac{1}{4}$  всіх КМ) в рік досягає 1,8, в той час як на 1 км керамічних - 0,09, а на 1 км цегляних - тільки 0,009 [3].

Оскільки бетон та залізобетон застосовуються як конструкційні матеріали для великомасштабних споруд водовідведення - каналізаційних колекторів, то відмови в їх роботі, а тим більше аварії, приносять не тільки значні економічні збитки та порушення в функціонуванні підприємств і міського господарства, а й обумовлюють інтенсивне забруднення всіх середовищ біосфери, що має дов-

гострокові екологічні наслідки та загрожує здоров'ю та життю населення [3, 36].

1.4 Методи боротьби з накопиченням сірководню в газоповітряному середовищі каналізаційних мереж

1.4.1 Передумови накопичення сірководню в газо-повітряному середовищі каналізаційних мереж

Утворення агресивного середовища та його вплив на бетон/залізобетон зводу колектора представляється складеним з декількох етапів [3, 37 - 46]:

- утворення сірководню в стічній воді внаслідок мікробіологічної сульфатредукції або інших мікробіологічних процесів;
- виділення сірководню з стічної рідини до підсклепіневого простору;
- розчинення сірководню в конденсатній волозі на поверхні труб та окислення його тіоновими бактеріями до сірчаної кислоти, руйнування матеріалу будівельних конструкцій.

Для вирішення завдань підвищення ЕБ систем водовідведення шляхом зниження викидів сірководню в міську атмосферу, найбільш важливими є перших два етапи.

Захист бетону каналізаційних колекторів є обов'язковою умовою довговічності цих споруд, їх ЕБ для міських регіонів. Масштаб процесів корозійного руйнування каналізаційних колекторів, його економічний (близько 2% валового національного продукту) та екологічний збитки вимагають масштабних рішень проблеми їх довговічності і надійності на етапах проектування, будівництва та експлуатації.

Виходячи з цього, способи запобігання викиду сірководню з КМ можна розділити на дві групи:

- запобігання або зведення до мінімуму утворення сірководню в стічних водах, що транспортуються;

– запобігання елюювання сірководню в атмосферу підсклепіневого простору КМ.

Перший напрямок включає наступні технічні рішення [3, 31, 32]:

– аерацію стічних вод на напірних ділянках, або введення окислювачів (технічного кисню, пероксиду водню, нітратів, нітритів, хлорпроизводних та ін.);

– зниження концентрації органічних речовин у стічних водах;

– зниження температури стічних вод до 5-10<sup>0</sup>С [3] або 15-18<sup>0</sup>С [31, 33].

– проектування ухилів, що створюють швидкості, які перешкоджають утворенню відкладень;

– зменшення площ поверхні напірних трубопроводів;

– скорочення часу перебування стоків у приймальних резервуарах насосних станцій;

– механічне очищення для видалення відкладення слизу та мулу в колекторі та механічну очистку резервуарів насосних станцій.

Другий напрямок включає наступні технічні рішення [3, 31, 47-49]:

– повне заповнення перетину трубопроводу стічною водою;

– підлужування стічних вод;

– зниження турбулентності потоку;

– введення солей заліза;

– віддувка сірководню повітрям, збільшення поверхні розділу фаз;

– вентиляція підсклепіневого простору КМ. Напірна вентиляція економічно доцільна лише в каналізаційних трубах великого діаметру.

З вище перерахованих методів тільки 2-3 мають практичний досвід застосування.

1.4.2 Технологічні фактори, управління утворенням сірководню в системах водовідведення

Ряд авторів виділяють фактори (конструкції споруд, склад стічних вод, експлуатаційні характеристики відведення стічних вод і т.д.), що впливають на

концентрацію сірководню в стічних водах, в газовому середовищі підсклепіненого простору КМ та активність корозії споруд водовідведення (табл.1.7) [50].

Управління факторами, перерахованими в табл. 1.7, є необхідним для придушення утворення сульфідів в стічних водах та перетворення їх в газоподібний сірководень. У табл. 1.8 представлено позитивний вплив заходів з придушення процесів сульфатредукції.

Як найбільш перспективні фактори для управління утворенням сульфідів та накопиченням сірководню в КМ, можна розглядати температуру та рН стічної води [51-61].

Таблиця 1.7 - Фактори, що впливають на утворення сульфідів ( $\text{SO}^{2-}$ ) та корозію в системах водовідведення [50]

Фактор	Ефект
Характеристики стічної води	
Концентрація розчиненого кисню	Низький вміст розчиненого кисню сприяє поширенню анаеробних бактерій та подальшому утворенню сульфідів
Біохімічне споживання кисню (БСК)	Високе БСК стимулює зростання мікробів та виснаження розчиненого кисню, і підвищує утворення сульфідів пропорційно зростанню БСК
Температура	Висока температура підвищує швидкість росту сульфатредукуючих бактерій та знижує вміст розчиненого кисню
рН	Низький рН сприяє переходу до розчиненого газу $\text{H}_2\text{S}$
Присутність сірковмісних компонентів	Сірковмісні компоненти потрібні для утворення сульфідів
Характеристики систем водовідведення	
Непостійна заповнюваність	Знижує киснеобмін та сприяє утворенню сульфідів. Може пригнічувати утворення кислоти промиванням та розведенням
Накопичений пісок та сміття	Повільний плин стічних вод, що затримує тверді органічні речовини і тим самим підвищує утворення сульфідів
Час перебування стічних вод в КМ	Залежить від швидкості потоку та об'єму стоків в колекторі. Концентрація сульфідів збільшується пропорційно зменшенню швидкості потоку стоків і залежить від загального вмісту сульфідів

Таблиця 1.8 – Заходи із придушення накопичення сірководню в стічних водах різного складу [50]

Характеристика стічних вод	Спрямованість заходів та механізм їх дії
Сульфідвміщуючі стоки	Зниження концентрації сульфідів
Високостійкі органічні стоки	Швидкість утворення сульфідів пропорційна концентрації органічних забруднень
Висока температура стоків	Зниження температури стоків може призвести до зменшення швидкості утворення сульфідів, підвищення розчинності $H_2S$ , зменшення викиду $H_2S$ та $O_2$
Стоки, що містять жири, масла й змащення	Зниження потенціалу засмічення каналізації, знижує осадження твердих речовин та утворення сульфідів
Кислотні стоки	Підтримка рН на рівні нейтрального або вище зменшує кількість $H_2S$ , який може потрапляти в атмосферу КМ

Температура стічних вод як фактор, що впливає на процес утворення сульфідів в атмосфері каналізаційного колектора

Стічні води мають сезонні коливання температури: взимку  $+2-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ , влітку  $+17-22\text{ }^{\circ}\text{C}$ . У холодній воді процес сульфатредукції практично не відбувається. Через великий вміст в ній розчиненого кисню, з одного боку, та гальмування біохімічних процесів - з іншого. Зниження температури стічних вод до рівня зимової здатне запобігти мікробіологічній сульфатредукції та емісії газоподібних речовин із стічних вод в газо-повітряний простір. Час перебування стічних вод в каналізаційному трубопроводі має значення для розвитку процесів сульфатредукції.

На рис. 1.4 представлений графік залежності утворення  $H_2S$  в стічних водах від температури стоків (Т) та часу перебування стічних вод в каналізаційному колекторі (t).

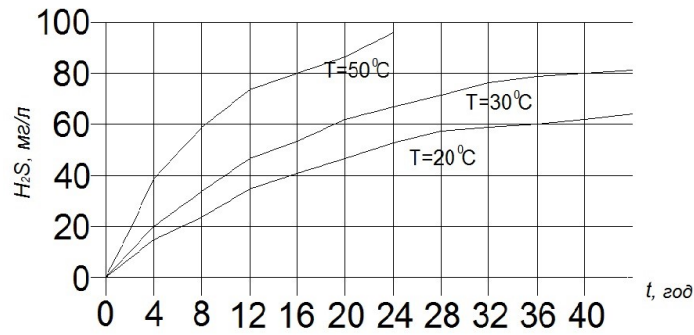


Рисунок 1.4 - Залежність утворення  $H_2S$  від температури (T) та часу (t) [4]

Виходячи з графіка, з зниженням температури стічних вод концентрація  $H_2S$  в них стійко знижується.

pH стічних вод як фактор, що впливає на процес утворення сульфідів в каналізаційному колекторі

У водному середовищі, в залежності від рівня pH, існують різні форми двовалентних сульфідів: іони гідросульфіда  $HS^-$ ;  $S^{2-}$  - сульфід-іони та розчинений сірководень  $H_2S_{\text{водн.}}$  ( $S^{2-} \leftrightarrow HS^- \leftrightarrow H_2S_{\text{водн.}} \leftrightarrow H_2S_{\text{повітр.}}$ ). На рис. 1.5 приведена залежність розчинення різних форм у водному середовищі від рівня pH.

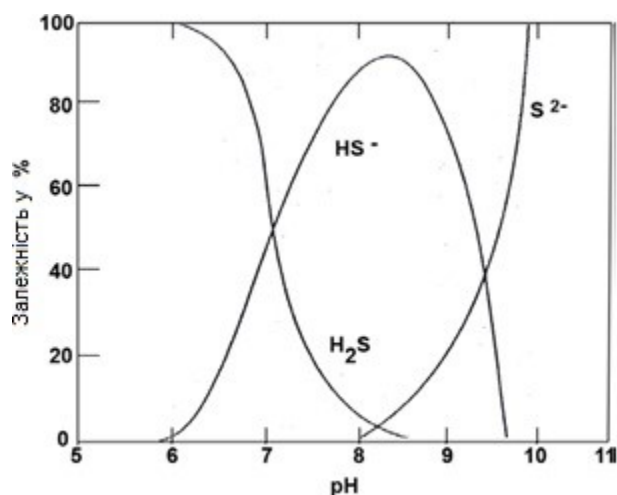


Рисунок 1.5 - Залежність розчинення різних форм у водному середовищі від рівня pH



При  $pH < 5$ , існує тільки сірководень, який легко випаровується в атмосферу. При  $pH > 10$  існують тільки сульфід-іони, та немає небезпеки пов'язаної з виділенням сірководню з рідкої в газоповітряне середовище. При  $5 < pH < 10$  існують всі три форми (газоподібний  $H_2S$ , у вигляді іонів гідросульфіда  $HS^-$  та сульфід-іонів  $S^{2-}$ ), але в різному процентному співвідношенні. При  $pH > 8,5$  сірководень практично відсутній.

#### 1.4.3 Фактори, що впливають на перехід сірководню зі стічної води (рідина) в атмосферу каналізаційного колектора

Для розуміння процесу переходу сірководню з рідкої фази (стічна вода) в газову (атмосфера підсклепінєвого простору каналізаційного колектора) необхідно враховувати фізичні, хімічні та мікробіологічні характеристики у водній та газовій фазах [58-61, 62, 63].

Деякі хімічні, фізичні та експлуатаційні фактори визначають інтенсивність викиду сірководню. Основними з них є:

- $pH$ ;
- температура;
- ступінь дисоціації;
- інтенсивність турбулентності потоку;
- наявність та склад каналізаційного осаду;
- наявність біоплівки;
- ухил каналізаційних трубопроводів;
- компоненти стічних вод;
- характеристики каналізаційної атмосфери (наприклад вологість).

Структура та характеристика КМ також мають вирішальне значення для накопичення сірководню в підсклепінєвому просторі каналізаційних колекторів. Наприклад, колектори з різкими вигинами або ухилами можуть збільшити інтенсивність викиду газо-подібних сполук із стічних вод через більш високі турбулентності. Фактори, що впливають на перехід сірководню зі стічної води в підсклепінєвий простір колектора представлені на рис. 1.6.

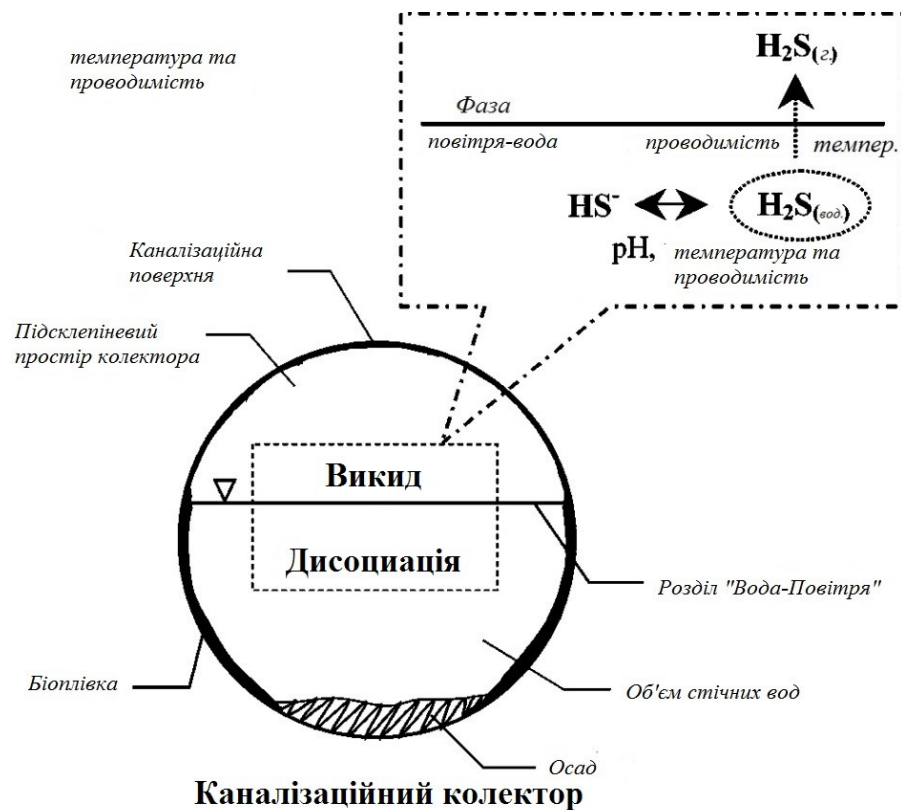


Рисунок 1.6 - Фактори, що впливають на емісію сірководню з рідкої фази (стічна вода) в газову (підсклепіневий простір каналізаційного колектора) [51]

1.5. Інженерні заходи щодо захисту атмосферного повітря міських регіонів від екологічно небезпечних газоподібних викидів з каналізаційних мереж

#### 1.5.1. Методи хімічного видалення летючих сполук із стічних вод

Метод заснований на постійному контролі та вимірюванні концентрацій сірководню безпосередньо в атмосфері підсклепіневого простору каналізаційного колектора, передачі даних на сервер системи та на введенні хімічного реагенту в стічні води в місцях інтенсивного утворення екологічно небезпечних газоподібних сполук у небезпечних концентраціях, які фіксуються спеціальними приладами. Після введення реагенту небезпечні речовини переводяться в нерозчинний стан. Цей спосіб має технічне рішення, представлене на рис. 1.7.

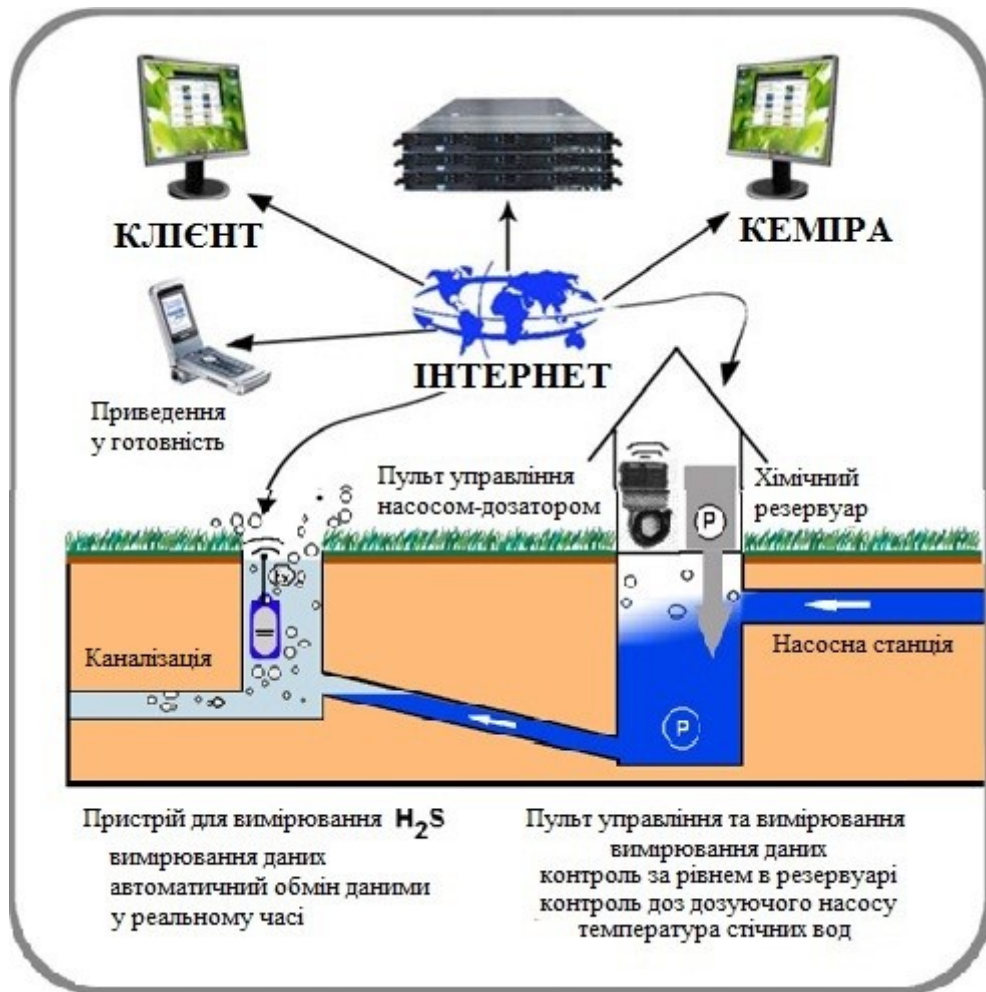


Рисунок 1.7 – Компьютеризована схема автоматизованої системи хімічного видалення летючих сполук із стічних вод

Командо-контролер для насоса  $H_2S$ -Guard<sub>TM</sub> застосовується для реєстрації, а також передачі аналогового цифрового сигналу з метою визначення оптимальної дози реагенту. Вся інформація передається з командо-контролера на сервер, де вона доступна для використання.

Залежно від виду КМ (напірна, самопливна), розміщення пунктів дозування (спочатку, посередині, на кінці ділянки мережі), інтенсивності протікання стічних вод, хімічного складу стічних вод використовуються залізовмісні реагенти або нітратвмісні. Мішенню останнього реагенту не є леткі сполуки, а сульфатредукуючі бактерії. Нітрати ініціюють утворення  $HS^-$  при мікробній сульфатредукції. Дана технічна система є швидкореагуючою в разі аварійної си-

туації, раптових та/або сезонних проблемах [52]. Система потребує реагентного господарства та програмної підтримки.

### 1.5.2 Дегазаційні установки на каналізаційних мережах

Герметизація споруд та ділянок мережі призведе до припинення виділення летких речовин, проте викличе інтенсивне руйнування бетону на даній ділянці та підвищення вибухонебезпечності. Нормативним документом України [64] на дихальній арматури, де можуть викидатися вибухонебезпечні суміші парів та газів, слід передбачати установку вогнеперешкод. Відповідно до вимог [64], концентрація агресивних та шкідливих газів в колекторі не повинна перевищувати граничних концентрацій, представлених в табл. 1.9.

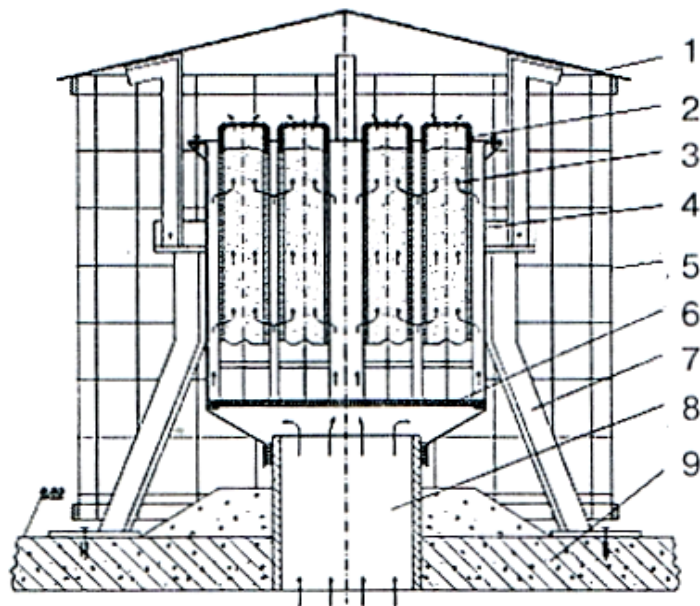
Таблиця 1.9 - Гранична концентрація агресивних та шкідливих газів в колекторі [64]

Сполука	Гранична концентрація
CO, мг/м <sup>3</sup>	20 мг/м <sup>3</sup> або 0,0016 % вільного об'єму колектора
CO <sub>2</sub> ,	0,05 % вільного об'єму колектора при вологості від 45% до 98%
CH <sub>4</sub>	7000 мг/м <sup>3</sup> або 1 % вільного об'єму колектора
H <sub>2</sub> S	0,1 мг/дм <sup>3</sup> для забезпечення запобігання від газової та біологічної корозії; 10 мг/м <sup>3</sup> для безпеки обслуговування
SO <sub>2</sub> , мг/м <sup>3</sup>	5-10 мг/м <sup>3</sup>
NH <sub>3</sub> , мг/м <sup>3</sup>	20 мг/м <sup>3</sup> або 0,0026 % вільного об'єму колектора

При розташуванні місць інтенсивного газоутворення у житлових та громадських будівель або у вибухонебезпечній зоні ДБН рекомендується встановлювати пристрої для очищення газових викидів (касетні фільтри-

поглиначі з замінними касетами з активованим вугіллям, встановлені на витяжних трубах, адсорбери, абсорбери і т.д.) [64].

Для вирішення екологічної проблеми забруднення міської атмосфери сірководнем, аміаком, меркаптанами та іншими шкідливими речовинами та підвищення ЕБ систем водовідведення розроблена установка для очищення викидів методом сухої хімічної фільтрації [65-67], з використанням сорбентів, які мають активну поверхню (рис. 1.8).



1 – зонт, 2 – патрон змінний, 3 – завантаження (сорбент), 4 – корпус, 5 – сітка огорожувальна, 6 – захисна сітка, 7 – опора, 8 – труба викиду газів, 9 – перекриття шахт

Рисунок 1.8 - Установка для очищення газових викидів від шахт каналізаційних колекторів [66]

Установка для очищення газових викидів з шахт каналізаційних колекторів представляє собою металевий циліндричний корпус, який з'єднаний з витяжною трубою шахтного колодезя. У циліндричному корпусі розміщені касета зі змінними патронами, які заповнені сорбентом. Установка має просту конструкцію, не вимагає енергетичних витрат та спеціально навченого персоналу. Корпуси для вентиляційних пристроїв слід виготовляти з корозійно-стійких матері-

алів і з утепленням (при зовнішній їх установці) [64]. Ефективність газоочистки дегазатора становить 95-99%. Як свідчать дані експлуатації, установка сухої фільтрації ефективно очищає газові викиди з шахт каналізаційних колекторів від метилмеркаптана, сірководню та аміаку, але малоефективно видаляє метан. Крім того, сорбент в такій установці через 1-1,5 року експлуатації руйнується, а ефект газоочистки кардинально знижується [66]. Інтенсивне зволоження і руйнування сорбенту дозволяє припустити, що ці явища, ймовірно, обумовлені рядом агресивних впливів, в тому числі і мікробіологічних. Потрібна заміна сорбенту або його регенерація.

Дегазатори можуть розташовуватися в зоні житлової забудови, рекреаційній зоні та ін. Відеоекологічні характеристики та дизайн даних природоохоронних споруд дисгармоніюють з навколишнім середовищем, що викликає справедливі скарги населення, що проживає в районах розташування дегазаторів.

Конструкції з завантаженням можуть використовуватись не тільки для вловлювання токсичних газоподібних речовин, а й для їх деструкції, зумовленої біохімічними процесами.

Біохімічні методи газоочистки основані на здатності мікроорганізмів розщеплювати та перетворювати різні сполуки. Розкладання ЗР проходить під впливом ферментів (біологічних каталізаторів), що виробляються мікроорганізмами. Важлива відмінність біохімічних реакцій деструкції ЗР заключається в тому, що вони протікають за участю ферментів при звичайних температурах та з утворенням кінцевих нешкідливих продуктів. З цієї причини біохімічні методи газоочистки викидів є екологічно чистими.

Практично на даний час це реалізується в пристроях трьох типів:

- біореакторах (капельні фільтри) с орошаємою поживним розчином інертною насадкою, на поверхні якої штучно вирощується біоплівка;
- біофільтрах з шаром рихлого, вологого біологічно активного фільтруючого матеріалу. В якості фільтруючого матеріалу може застосовуватись торф, компост, вереск, кора дерев хвойної породи, тирса, солома, ґрунт та ін. і суміші цих матеріалів в різних співвідношеннях;

– біоскруберах (розпливаючі адсорбери з використанням в якості адсорбента водної суспензії активного мулу) з реактором для наступної біодеструкції ЗР.

Установки біохімічної очистки можливо використовувати в різних галузях промисловості. Ефективність очищення повітря в біофільтрах, які застосовуються на каналізаційних системах становить 75-90 % [15].

### 1.5.3 Технічні рішення по зниженню температури стічних вод, що транспортуються каналізаційними колекторами

Як зазначено вище, зниження температури стічних вод знижує утворення сульфідів в стічній воді, і як наслідок, зменшує викид сірководню до підсклепіненого простору каналізаційних колекторів. Охолодження води в літній період можна здійснити в приймальному резервуарі насосної станції, створюючи на окремій ділянці навколо трубопроводу футляр із замороженого ґрунту одним з методів, що застосовуються в підземному будівництві. В якості охолоджувача може бути використана типова розсільна речовина [4, 68]. Також в якості охолоджувача стічних вод може використовуватися наступна схема: розсіл, охолоджений в випарнику заморожуючої станції, насосом прокачується через теплообмінник, розташований в приймальному резервуарі насосної станції.

Охолоджена вода по напірному трубопроводу подається в самопливний колектор. Сульфатредукція в стічній воді пригнічена, а отже, викид сірководню в атмосферу на ділянці самопливного колектора не відбудеться. При тепловому потоці від ґрунту до труби зі стічною охолоджуючою водою потужністю 0,01 кВт/м та діаметрі напірного трубопроводу 1 м ефективність охолодження води в КНС доцільна до довжини напірного трубопроводу 600-800 м. Після подолання цієї відстані температура води в трубопроводі підвищується за рахунок тепла, що виділяється ґрунтом, до значень 17-20 °С і процес сульфатредукції поновлюється. Якщо напірний трубопровід має довжину більше ніж 800-1000 м, охолодження води можна здійснити створенням крижаного футляра на ділянці довжиною до 30 м. При цьому використовується типове обладнання для

заморожування ґрунтів з додатковими уточненнями розрахунковим шляхом параметрів розсільної мережі до холодопродуктивності заморожувальної станції [68]. При великій довжині напірних трубопроводів, в залежності від їх діаметрів, відстань між заморожувальними станціями для підтримки необхідної температури води має становити 600-2000 м.

Зарубіжний досвід використання заохочувальних програм для організацій, які встановили теплонасосні системи

У багатьох зарубіжних країнах теплонасосної системи широко застосовуються в різних галузях промисловості. Їх впровадження стимулюється заохочувальними програмами. В Україні програми стимулювання впровадження альтернативних джерел теплопостачання відсутні. Необхідно ввести систему економічного заохочення таких проектів. Приклади програм заохочення впровадження в вигляді часткової компенсації витрат на установку теплових насосів:

- Австрія - до 3 300 € на встановлену систему для індивідуальної будівлі;
- Німеччина - 5-10 € на 1 м будівлі в залежності від ефективності теплового насоса;
- Німеччина (Баварія) - максимальна підтримка до 25% від вартості проекту з тепловим насосом (не більше 12 500 €);
- Німеччина (Бранденбург) - максимальна підтримка до 30% від вартості проекту;
- Італія - до 55% компенсації витрат на теплові насоси (макс. 30000 €);
- Китай - 10 \$ на 1 м опалювальної площі за допомогою теплового насоса.

У ряді зарубіжних країн застосовуються як пільгові умови на видачу кредитів для установки теплових насосів, так і пільгові тарифи їх експлуатації. У Франції використовується 50% пільгове податкове кредитування таких проектів. В Австрії, Німеччині застосовуються пільгові умови у вигляді низьких відсотків при кредитуванні установки теплонасосної систем. У Швейцарії застосовують спеціальні електричні тарифи для теплових насосів (різні в залеж-



ності від регіону). У Німеччині також використовують знижені тарифи на електроприводи теплових насосів (різні в залежності від регіону) [69].

### Опис принципу дії теплового насоса

Тепловий насос - це перетворювач теплової енергії від енергоносія з низькою температурою до енергоносія з більш високою температурою. Являє собою звернену холодильну машину та дозволяє виробляти теплову енергію, використовуючи низькопотенційне тепло вторинних енергетичних ресурсів та нетрадиційних відновлюваних джерел енергії (вода, ґрунт, повітря, сонячна енергія). Застосування теплових насосів дозволяє економити до 70% традиційних енергетичних ресурсів. Теплопостачання за допомогою теплових насосів відноситься до області енергозберігаючих екологічно чистих технологій [70].

На рис. 1.9 представлена принципова схема теплового насоса.

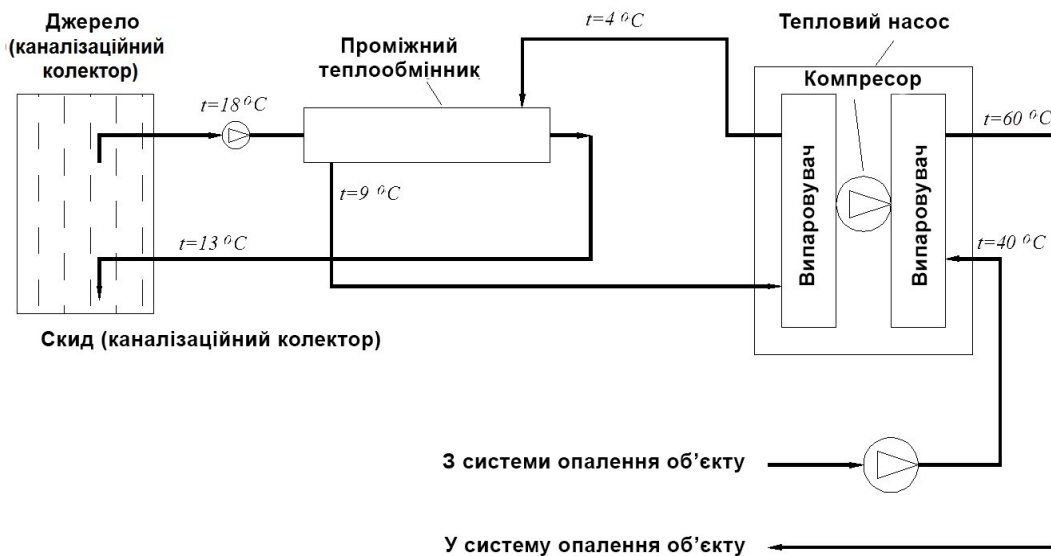


Рисунок 1.9 – Принципова схема теплового насоса [70 - 72]

Робочий цикл теплового насоса виглядає так:

1. Рідина циркулює в колекторі та збирає теплову енергію землі, води, повітря або інших джерел.
2. Ця енергія передається хладагенту з низькою температурою кипіння, і йде на його випаровування.

3. Пароподібний (що випарувався) хладагент надходить у компресор та стискується там з підвищенням температури до розрахункового рівня.

4. У конденсаторі хладагент віддає тепло системі опалення та гарячого водопостачання будівлі та конденсується.

5. Рідкий (що сконденсувався) хладагент надходить у дроселюючий вентиль, де його тиск різко падає, він знову сильно охолоджується, здебільшого переходить з газоподібного стану в рідкий і знову може отримувати тепло навколишнього середовища.

6. При низькому тиску хладагент повертається у випарник, і процес починається спочатку [70 - 72].

#### Варіанти використання теплових насосів в системах каналізації

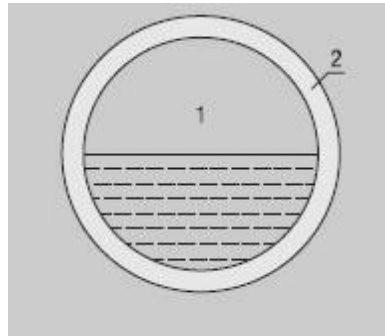
Як джерело низькопотенційного тепла використовуються неочищені стічні води з забором з камери каналізаційного колектора та скиданням в колектор нижче камери за течією. Відбір тепла циркуляційним контуром випарника теплового насоса проводиться через коаксіальний теплообмінник-утилізатор. Стічні води мають температуру близько 22<sup>0</sup>С. Температура каналізаційних стоків будівель протягом року характеризується постійною високою температурою, що не знижується взимку нижче 12<sup>0</sup>С. При використанні теплообмінної системи температура знижується на 6-8<sup>0</sup>С. Насос, що працює за принципом парокомпресійної холодильної машини на хладагенті, переводить низькопотенційну енергію на більш високий енергетичний рівень [70 - 72]. Циркуляційний контур конденсатора теплового насоса пов'язаний повітряною теплотрасою з існуючою котельнею. З котельні теплоносії подається на систему-споживача насосної групи. Існуюча система опалення комплексу дозволяє використовувати тепловий насос як єдине джерело тепла, або паралельно з котельнею, крім того зберігається можливість роботи тільки від котельні.

За допомогою теплових насосів є можливість повернути тепло споживачам, з дотриманням всіх умов природного руху стічних вод згідно з проектом каналізаційної системи. Приклад організації відбору тепла від стічних вод безпосередньо в будинку представлений на рис. 1.10.

Стічні води проходять всередині труби 1, в міжтрубному просторі проходить рідина (наприклад суміш пропіленгліколю та води). З метою зменшення гідравлічного опору антифризу та збільшення швидкості обтікання поверхні теплообмінника патрубки входу та виходу спрямовані тангенціально.

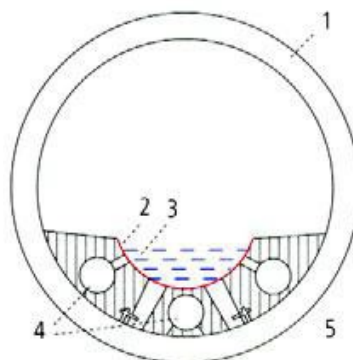
Відбір тепла від каналізаційних стоків можна інтенсифікувати, якщо відводити стоки окремими трубопроводами. Один для теплих умовно чистих стічних вод від ванн, мийок та пральних машин. Другий для холодних і більш забруднених стоків.

На рис. 1.11 предствалено поперечний переріз каналізаційної труби з теплообмінником для утилізації тепла каналізаційних стоків.



1 - заповнена стічними водами каналізаційна труба; 2 - область, заповнена незамерзаючої рідиною

Рисунок 1.10 – Поперечний переріз теплообмінника на стічних водах



1 - каналізаційна труба; 2 - поперечний переріз половини труби теплообмінника; 3 - стоки всередині каналізаційної труби; 4 - проміжне середовище, подаючий трубопровід; 5 - проміжне середовище, зворотний трубопровід

Рисунок 1.11 – Поперечний переріз каналізаційної труби з теплообмінником для утилізації тепла каналізаційних стоків

Пристрій теплообмінника для відбору тепла із стічних вод може проводитися як безпосередньо в каналізаційній трубі (колекторі), так і на станції аерації до та після проходження системи їх очищення. Для цього в колекторі прокладається поліетиленова труба для забезпечення розрахункової витрати теплоносія. Рідина циркулює від теплового насоса до теплообмінника, утилізуючи низькопотенційне тепло стічних вод [71, 72].

1.6 Моніторинг вмісту екологічно небезпечних газоподібних сполук в підсклепіневому просторі каналізаційних мереж та атмосферному повітрі міст

Система моніторингу екологічно небезпечного  $H_2S$  в атмосферному повітрі міських регіонів існує в США. Система моніторингу «Richmond  $H_2S$  Monitoring» в м. Річмонд (Каліфорнія) організована таким чином: в 7 контрольних точках встановлені сенсори, які ведуть безперервний вимір рівня концентрації  $H_2S$  в атмосферному повітрі міста. Сенсори пов'язані із супутником, який безперервно передає дані ін-тернет-сайту, що доступний для користувачів у відкритому доступі. На головній сторінці показується он-лайн карта м. Річмонд, на якій нанесені 7 точок, які підлягають безперервному контролю концентрації  $H_2S$  [73]. При наведенні курсору на точку, що цікавить користувача, у спливаючому вікні з'являється інформація про місце знаходження контрольної точки, про рівень концентрації  $H_2S$  на поточний момент, дані про сенсор і т.д. Потім користувач має можливість переглянути графік концентрації  $H_2S$  в атмосферному повітрі на поточний момент та простежити динаміку викиду, перейшовши за посиланням у спливаючому вікні [74]. Також, на сайті можна ознайомитися зі звітами про концентрації  $H_2S$  в будь-якій з 7 контрольних точок за період, що цікавить користувача з моменту впровадження даної системи по поточний місяць [75].

Якщо рівень  $H_2S$  різко піднімається та знаходиться за межами нормативного показника, система моніторингу відсилає сигнал «Alarm» по супутнику на сервер будівлі управління «Veolia Water North America», яке займається аварій-

ним реагуванням на проблеми викидів небезпечних дурно пахнучих газоподібних речовин з каналізаційних систем. Далі вживаються необхідні заходи щодо запобігання створеної екологічно небезпечної ситуації, яка може спричинити за собою негативні наслідки для здоров'я та нормальної життєдіяльності населення і погіршення якості атмосферного повітря. Система моніторингу «Richmond H<sub>2</sub>S Monitoring» функціонує на сьогоднішній день (2016 р.) та має позитивний досвід експлуатації.

В Україні також є досвід створення та експлуатації системи моніторингу вмісту екологічно небезпечних газоподібних сполук в підсклепіневому просторі каналізаційних колекторів. В м. Львів дослідження вмісту H<sub>2</sub>S в напірних колекторах підприємства ЛМКП «Львівводоканал» проводиться службою каналізаційного господарства водоканалу. Для дослідження використовують газоаналізуючий прилад H<sub>2</sub>S-Guard [76], який цілодобово здійснює відбір газоповітряної суміші та передає результати аналізу через супутниковий зв'язок на сервер підприємства.

Прилади встановлені в колодязях, де підключені напірні колектори. Вони фіксують періодичне підвищення вмісту сірководню в десятки разів. В окремі дні піки вмісту H<sub>2</sub>S досягають 200-600 ppm (рис.1.12).

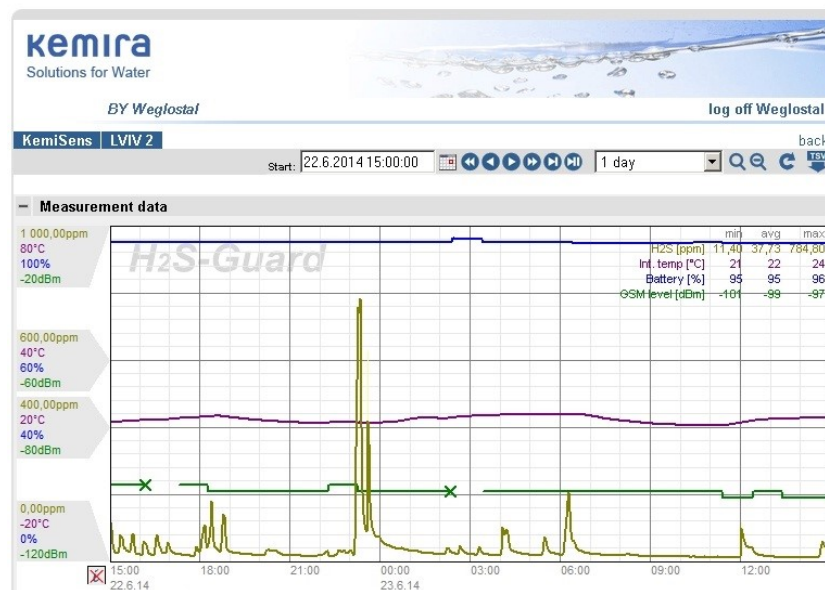


Рисунок 1.12 – Графік вмісту H<sub>2</sub>S в каналізаційному колодязі м. Львів [77]

Система надає оперативну інформацію службам експлуатації та сприяє запобіганню аварійних ситуацій на КМ.

1.6.1 Картографування концентрації сірководню на території розташування об'єктів каналізаційних мереж

Картографування сірководню - це найпростіша техніка взяття великої кількості вимірювань концентрацій  $H_2S$  навколо очисних споруд і використання даних вимірювань для створення контурної карти концентрацій сірководню.

Така техніка розвивалася та вперше використовувалася у Великобританському Водному Дослідницькому Центрі в кінці 80-х років XX століття [78].

Карта концентрації  $H_2S$  - це фактично моментальний знімок, який свідчить про тривалу дію запаху на ділянці, і може бути використаний в спробі класифікувати джерела запаху на спорудах очистки стічних вод (рис. 1.13). Картографування  $H_2S$  відображає окремі викиди на різних етапах станцій очищення стічних вод: надходження стічних вод на очисні споруди; в первинному відстійнику; в мулоущільнювачі; в аеротенках.



Рисунок 1.13 – Сірководневе картографування на території м. Харкова [78]

## Вибір напрямку дисертаційного дослідження

На підставі виконаного аналізу сучасного стану проблеми ЕБ міської атмосфери встановлено, що концентрації сірководню - ключового забруднення по класу небезпеки, токсичності та негативному впливу на здоров'я населення, в атмосфері міст України перевищують ГДК<sub>м.р., с.д.</sub>. Моніторинг та захист міської атмосфери від забруднення викидами, виконуються на промислових підприємствах. Одним з істотних джерел викидів сірководню в міську атмосферу є КМ. У той час, як викиди сірководню з КМ практично не очищуються.

Утворення сірководню зумовлене мікробіологічною сульфатредукцією в стічних водах, що транспортуються КМ, потім він виділяється в газо-повітряне середовище підсклепіневого простору та через шахти і колодязі викидається в міську атмосферу. Актуальним завданням є придушення мікробіологічної сульфатредукції та придушення елюювання сірководню з стічних вод в газо-повітряне середовище. Основна увага в практичному вирішенні цього завдання на діючих КМ приділяється методам зв'язування сірководню важкими металами, вентиляції КМ, очищенню газоподібних викидів. У той час, як зниження температури стічних вод, що придушує сульфатредукцію, практично не застосовувалося через високу вартість, трудомісткість та відсутність необхідного обладнання. В даний час з'явилися технічні рішення, які роблять цей метод економічно та технічно привабливим. Дегазатори, що використовуються в даний час для очищення газоподібних викидів з КМ, засмічують візуальне середовище міста та негативно впливають на психо-фізичний стан населення.

Необхідним елементом системи ЕБ каналізаційних мереж є системи моніторингу сірководню в КМ та в атмосфері міста, які вже використовуються в деяких зарубіжних компаніях. В Україні такі системи практично не застосовуються. Існує завдання розробки класифікації екологічної небезпеки каналізаційних шахт і колодязів для міської атмосфери та розробки сучасної автоматизованої системи моніторингу, що включає контроль вмісту сірководню в

різних фазах екосистеми каналізаційного колектора, а також орієнтовні розміри СЗЗ на підставі розрахунку розсіювання.

На підставі аналізу даних науково-технічної літератури сформульовані наступні напрямки дисертаційного дослідження:

- за даними науково-технічної літератури визначити екологічно небезпечні газоподібні сполуки, що викидаються з КМ, джерела їх утворення та шляхи мінімізації;

- експериментально дослідити й кількісно охарактеризувати вплив фізико-хімічних факторів на утворення сірководню в стічних водах, що транспортуються;

- кількісно розрахувати вплив температури стічної води, що транспортується на викиди сірководню з КМ;

- провести заміри концентрації сірководню в підсклепіневому просторі каналізаційних трубопроводів, розробити метод розрахунку викиду сірководню з каналізаційних трубопроводів через каналізаційні шахти і провести розрахунок розсіювання цих викидів в міській атмосфері;

- виконати еколого-економічну оцінку впровадження технічних заходів, які мінімізують викиди сірководню та інших екологічно небезпечних газів з КМ;

- розробити методологію класифікації екологічної небезпеки шахт КМ для міського атмосферного повітря;

- розробити комп'ютерну програму моніторингу газоподібних викидів з КМ.



## РОЗДІЛ 2

### ОБ'ЄКТИ І МЕТОДИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Об'єктом досліджень були викиди сірководню з шахт каналізаційних мереж та їх вплив на екологічну безпеку атмосферного повітря.

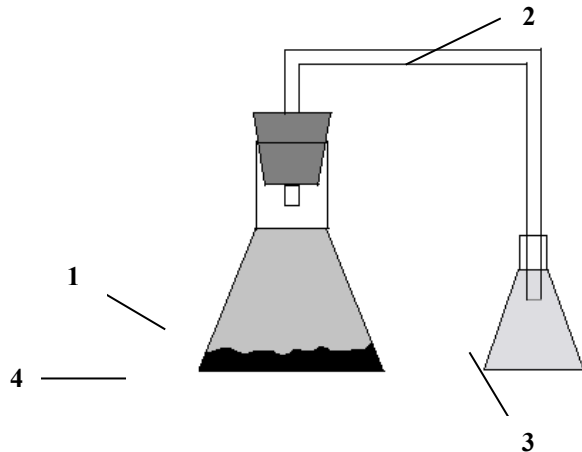
При виконанні експериментальних робіт застосовували наступні методи досліджень:

- лабораторне моделювання утворення сірководню в стічних водах, що транспортуються КМ;
- побудова регресійного рівняння залежності ефекту придушення утворення сірководню в стічних водах від трьох експлуатаційних факторів;
- методи дослідження хімічного складу атмосфери каналізаційних колекторів;
- розрахунок розсіювання сірководню від низькорозташованих джерел викидів;
- методи 3D візуалізації установок дегазації на КМ;
- методи об'єктно-орієнтованого програмування для автоматизації системи моніторингу газоподібних викидів з КМ.

2.1 Лабораторне моделювання утворення сірководню в стічних водах, що транспортуються каналізаційними мережами

Для лабораторного моделювання процесів, що відбуваються в лотковій частини каналізаційних трубопроводів, використовували лабораторні культиватори (рис. 2.1), які представляли собою сосуди, закриті гумовими пробками з водними затворами. Газоподібні сполуки, що елюють з водного середовища в повітряний простір культиватора, відводилися в підлучену воду для уловлювання сірководню, що виділяється.

Для заповнення культиваторів в лабораторних експериментах використовували стічні води або їх моделі наступного складу: хімічне споживання кисню (ХСК) – 350-400 мг/дм<sup>3</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> - 170-190 мг/дм<sup>3</sup>, N-NH<sub>4</sub> – 19-15 мг/дм<sup>3</sup>, P-PO<sub>4</sub> - 2-3 мг/дм<sup>3</sup>, рН - 7,5-8,0. Для інокуляції стічної води в культиваторах використовували каналізаційні осади з систем водовідведення.



1 - культиватор зі стічною водою, 2 - газовідвідна трубка, 3 - посудина-газоприймач з підлуженою водою, 4 - каналізаційний осад

Рисунок 2.1 - Лабораторний культиватор з водяним затвором

У лабораторному експерименті моделювали вплив на активність утворення H<sub>2</sub>S в стічних водах трьох параметрів: температури, окислювально-відновного потенціалу середовища та тривалості культивування.

Різні температурні умови створювали, проводячи культивування в холодильнику (+6<sup>0</sup>C), в кімнатному середовищі (+18<sup>0</sup>C) та в термостаті (+28<sup>0</sup>C).

Вплив окисно-відновних умов на накопичення сірководню у водних середовищах культиватора моделювали при паралельній інкубації культиваторів без струшування та за допомогою струшування на шуттель-апараті для постійного перемішування. Тривалість культивування становила 0,5-2,0 доби.

## 2.2 Методи лабораторних досліджень

### 2.2.1 Методи дослідження модельних стічних вод

Температуру стічної води вимірювали ртутним термометром з ціною ділення 0,1<sup>0</sup>C [75, 76].

pH стічної води визначали електрометрично за допомогою універсального іонміра EB-74 за стандартною методикою [79 - 81].

Eh водних середовищ вимірювали електрометрично за допомогою платинового електрода на потенціометрі. Окислювально-відновні умови, які сформувалися у водному середовищі культиватора, характеризували за допомогою двох показників Eh и rH<sub>2</sub>. - інтегральний показник, що відображає вплив на окислювально-відновні умови двох параметрів – pH и Eh.

$$rH_2 = 2pH + Eh/30$$

Визначення концентрації сірководню в стічній воді виконували фотоколориметрично при взаємодії сірководню з сірчаною кислотою сіллю діметилпарафенілендіаміна (ПФДА), в присутності хлорного заліза (FeCl<sub>3</sub>). Оптичну щільність вимірювали на фотоелектроколориметрі (КФК-3) з червоним світлофільтром (довжина хвилі λ=670 Нм) [81]. На підставі даних вимірювання оптичної щільності за градуіровочною кривою розраховували концентрацію сірководню в досліджуваній воді.

Концентрацію розчиненого органічного субстрату визначали за показником ХСК. Визначення ХСК проводили титриметрично з сіллю Мора в присутності ферроїна після 2-х годинного кип'ятіння досліджуваної води та біхромату калію (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) [79 - 81].

Для обробки експериментальних даних та визначення ефекту придушення утворення сірководню в стічних водах в залежності від трьох експлуатаційних факторів використовували регресійний аналіз.

## 2.2.2 Методи дослідження хімічного складу атмосфери каналізаційних колекторів

Аналіз газової фази в підсклепіневому просторі каналізаційних колекторів виконувався спільно з фахівцями хімічної лабораторії на мережах КП

«Харківводоканал». Для вимірювань була обрана ділянка колектора ХТЗ. Карта досліджуваної ділянки наведена на рис. 2.2.

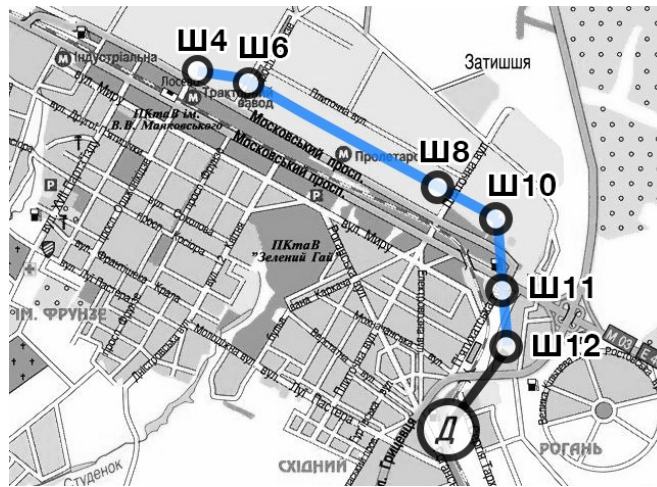


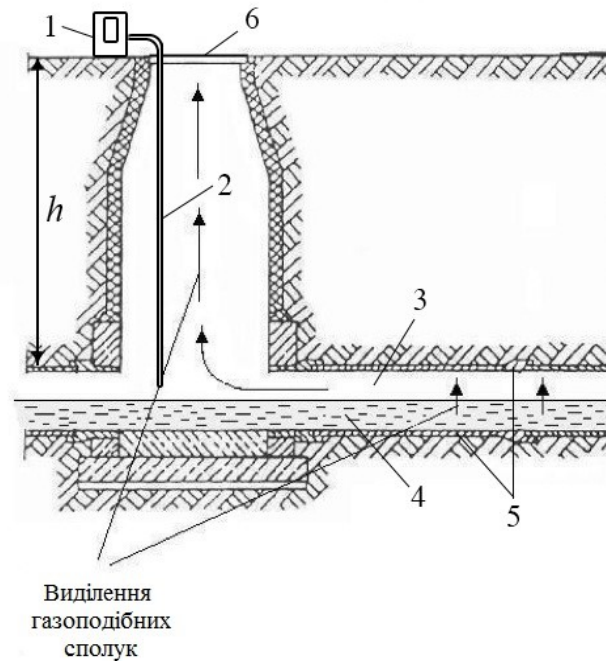
Рисунок 2.2 - Досліджувана ділянка колектора ХТЗ з нанесеними на ній каналізаційними шахтами

Як видно з рис. 2.2, на обраній ділянці розташовані 6 каналізаційних шахт, на яких проводили вимірювання вмісту екологічно небезпечних газоподібних сполук. На шахті №12 встановлено дегазатор.

Для визначення хімічного складу атмосфери підсклепіневого простору каналізаційних трубопроводів використовували: універсальний переносний газоаналізатор УГ-2, аналізатор «ДОЗОР», шахтний інтерферометр ШІ-11 (для визначення метану та вуглекислого газу) [82].

На рис. 2.3 представлена схема методики, за якою проводили вимірювання складу газової фази в підсклепіневому просторі каналізаційного трубопроводу.

Газоаналізатор встановлюється біля каналізаційної шахти, аспіраційна гумова трубка опускається на глибину шахти до підсклепіневого простору колектора. Газоаналізатором проводять вимірювання концентрації газоподібних сполук. Вимірювання проходять в три серії для більшої достовірності результатів. Значення концентрацій фіксуються.



1 - газоаналізатор, 2 - гумова трубка, занурена на всю глибину шахти, 3 - підсклепіневий простір каналізаційного трубопроводу, 4 - стічна вода, 5 - стінки каналізаційного трубопроводу, 6 - каналізаційна шахта

Рисунок 2.3 – Схема методики вимірювання газової фази в підсклепіневому просторі каналізаційного трубопроводу

2.2.3 Методи розрахунку розсіювання екологічно небезпечних газоподібних сполук в атмосферному повітрі міських регіонів

Каналізаційні мережі м. Харкова здійснюють прийом, відведення, перекачування та повну біологічну очистку стічних вод, які надходять від населення, комунально-побутових та промислових підприємств міста, обробку каналізаційних осадів. На рис. 2.4. приведена схема водовідведення м. Харкова з нанесеними на неї каналізаційними колекторами, насосними станціями та комплексами очисних споруд.

По м. Харкову експлуатується 2142,8 км водоводів та водопровідних мереж, в т.ч. водоводи - 313,8 км (14,6%), водопровідні мережі - 1829,0 км (85,4%). Загальна протяжність КМ - 1634,25 км, в т.ч. тунельних колекторів -

55,57 км, напірних трубопроводів - 85,00 км. Кількість КНС - 30, каналізаційних очисних споруд: КБО «Диканівський», «Безлюдівський».

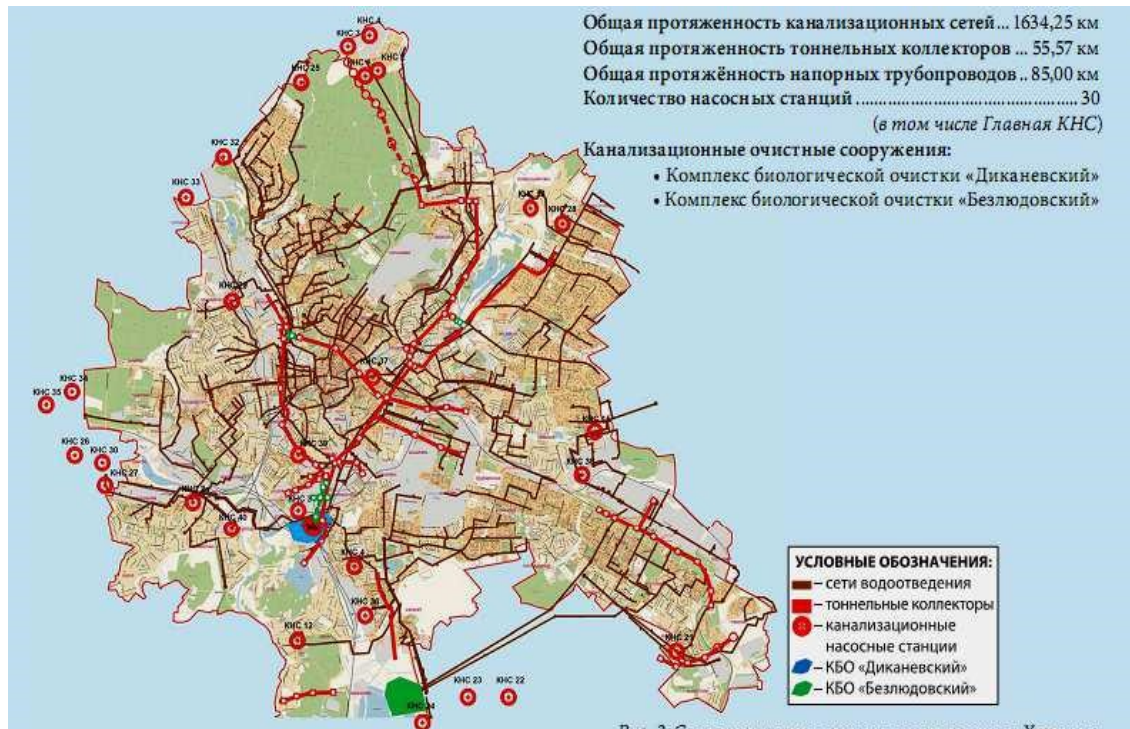


Рисунок 2.4 - Схема водовідведення м. Харкова [83]

Утворення екологічно небезпечних газоподібних речовин в стічних водах, що транспортуються КМ та викид цих речовин в міську атмосферу відбувається на всіх етапах роботи КМ.

Розрахунок розсіювання сірководню проводився для території м. Харкова. Розрахунковий майданчик представлено у вигляді прямокутника з розмірами 21000 м x 22000 м (рис. 2.5) з кроком 500 м уздовж вісей X та Y, з ГДК = 0,8 ГДК сельбищної зони. Напрямки вітру бралися з кроком, рівним 10 градусів. Розрахунки проводили при середньозважених небезпечних швидкостях вітру  $U_{0.5}$ ,  $0,5 U_{0.5}$ ,  $1,5 U_{0.5}$ ,  $0,5$  м/с,  $4,0$  м/с.

Розрахунок розсіювання сірководню виконували за допомогою програми «ЕОЛ +». В основі розрахунку використовували методику ОНД-86 [84].

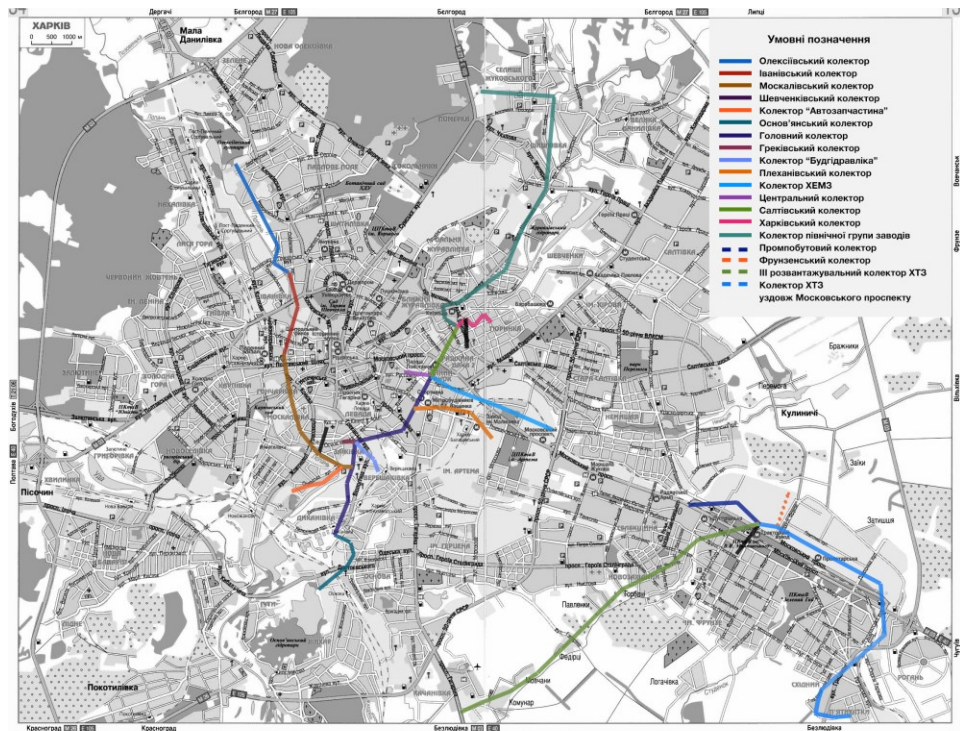


Рисунок 2.5 - Розрахунковий майданчик м. Харкова

## 2.2.4 Методи програмування для автоматизації системи моніторингу газоподібних викидів з каналізаційних мереж

Методи програмування системи моніторингу газоподібних викидів з КМ включали наступні елементи:

- MySQL - система управління базами даних [85];
- PHP - скриптова мова, на якій реалізована логіка роботи інформаційної системи [86];
- HTML + CSS - мова розмітки гіпертексту та каскадні таблиці стилів для візуалізації всіх компонентів програмного забезпечення та формування структури інтерфейсу користувача [85];
- jQuery - бібліотека JavaScript, що фокусується на взаємодії JavaScript та HTML [86];
- Bootstrap - фреймворк для розробки адаптивних web-інтерфейсів [87];

– Ymaps API - програмний інтерфейс для розміщення Яндекс.Карт на сайті, що включає необхідні інструменти геоінформаційного моделювання та візуалізації [88, 89].

Для обробки експериментальних даних використовували:

- методи статистичної обробки даних при математичному плануванні лабораторних експериментів [90];
- методи математичного моделювання - регресійний аналіз;
- програми Word, Excel, MathCAD, Corel Draw, ЕОЛ +;
- засоби та методи програмування для реалізації комп'ютерної програми та клієнтської програми «Моніторинг газоподібних викидів з КМ»: MySQL, PHP, HTML + CSS, jQuery, JavaScript, Bootstrap, Ymaps API.

## Висновки по розділу 2

1. Вирішення задач дисертаційного дослідження ґрунтувалося на експериментальних дослідженнях, математичному моделюванні та програмуванні.
2. Експериментальні дослідження проводили в натурних умовах - при обстеженні шахт/колодязів систем водовідведення м. Харкова та вимірювань концентрацій газоподібних сполук в атмосфері підсклепіневого простору каналізаційних трубопроводів, а також в лабораторних умовах при моделюванні процесів, які відбуваються в стічних водах, що транспортуються КМ.
3. Аналіз хімічного складу водних середовищ виконували за методиками, рекомендованими нормативними документами України.
4. Аналіз хімічного складу газоподібних середовищ виконували за допомогою таких приладів: універсального переносного газоаналізатора УГ-2, аналізатора «ДОЗОР», шахтного інтерферометра ШІ-11.
5. Математичний аналіз утворення сірководню в стічних водах проводили за допомогою програми MathCAD, для реалізації комп'ютерної програми моніторингу газоподібних викидів з каналізаційних мереж використовували методи об'єктно-орієнтованого програмування.



## РОЗДІЛ 3

## ВИЯВЛЕННЯ ФІЗИЧНИХ ТА ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ФАКТОРІВ, ЯКІ ПРИГНІЧУЮТЬ УТВОРЕННЯ СІРКОВОДНЮ В СТІЧНИХ ВОДАХ

3.1 Дослідження в лабораторних умовах впливу фізичних та фізико-хімічних факторів на утворення сірководню (сульфатредукцію) в стічних водах

У лабораторних експериментах досліджували вплив на накопичення сірководню в стічній рідині наступних факторів: наявність/відсутність каналізаційних осадів, температури, рН, Eh (окислювально-відновного потенціалу) та тривалості інкубації.

У першій серії експериментів проби стічної води паралельно інкубували в двох культиваторах без струшування при температурі 18 °С (у фізико-хімічних умовах, аналогічних умовам в колекторах). В перший культиватор не вводили каналізаційні осади, у другий - вводили. Результати вимірювань хімічних та фізико-хімічних показників складу стічних вод в культиваторах через 12 год інкубації представлені в табл. 3.1. Як видно, при інкубації проб стічних вод без введення каналізаційних осадів сульфатредукція практично не відбувалася та концентрація сірководню в стічній воді практично не змінювалася. У варіанті досліду з введенням каналізаційних осадів в стічну воду через 12 год інкубації концентрація сірководню підвищилася приблизно в 4 рази, що свідчить про активний розвиток сульфатредукції. Динаміка окислювально-відновного потенціалу (ОВП) (зниження) та рН (підвищення) підтверджують процеси відновлення сульфатів до сірководню.

Цей результат узгоджується з даними інших авторів [2, 3], які вважають, що процес активного утворення  $H_2S$  та інших газоподібних сполук в спорудах водовідведення обумовлений життєдіяльністю мікроорганізмів, які розвиваються не у водній товщі, а в осадах або біоплівці, що утворюються в лотковій частини трубопроводів.

Таблиця 3.1 - Характеристики стічних вод в динаміці інкубації

Варіант досліджу	Тривалість інкубації, год	t <sup>0</sup> C	pH	Eh, мВ	Концентрація H <sub>2</sub> S в стічній воді, мг/дм <sup>3</sup>
Без каналізаційних осадів	0	18	7,65	+82	4,9
	12		7,85	+85	3,6
З каналізаційними осадами	0	18	7,65	+82	4,9
	12		8,0	+10	12,0

У другій серії лабораторних експериментів досліджували вплив температури стічних вод на активність накопичення сірководню (сульфатредукція). Результати контролю процесу наведені на рис. 3.1.

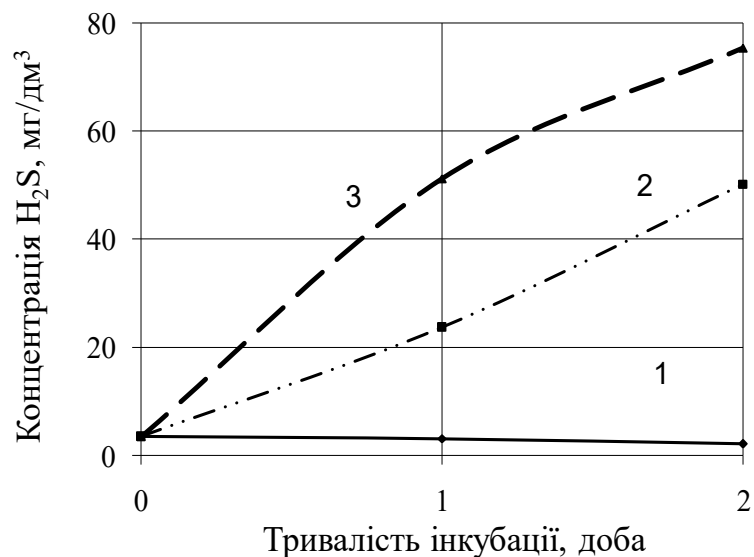


Рисунок 3.1 - Вплив температури на накопичення H<sub>2</sub>S в стічних водах:  
1 — - t 6°C, 2 - - - - t 18°C, 3 - ···· t 28°C [91 - 93]

Як видно, максимальна швидкість накопичення сірководню в стічній воді спостерігалася при температурі 28 °C (що узгоджується з даними інших авторів [2, 3]), незважаючи на те, що розчинність газів при підвищенні температури води зменшується. Причому, при збільшенні температури водного середовища на

10 °C, концентрація  $\text{H}_2\text{S}$  в стічній воді збільшувалася приблизно в 2 рази, що узгоджується з законами кінетики мікробіологічних процесів. При температурі +6 °C сірководень в стічній воді практично не накопичувався, хоча розчинність його при зниженні температури істотно збільшувалась.

Показник Eh у водному середовищі варіювали шляхом додавання в модельні стічні води: для підвищення Eh - перекису водню (0,1 мл на 100 мл), для зниження Eh - сульфід натрію (20-40 мг на  $\text{дм}^3$ ). Окислювально-відновні умови, які сформувалися в водних середовищах при інкубації в різних температурних умовах, істотно відрізнялися як за показником Eh, так і за показником  $r\text{H}_2$  (табл. 3.2):

Таблиця 3.2 - Вплив температурного режиму на окислювально-відновні умови, створювані в стічній воді

Показники окислювально-відновних умов	Вихідні значення	Окислювально-відновні умови в стічній воді через 2 доби інкубації при температурі, °C		
		6	18	28
Eh, мВ	+100	+120	0	-60
pH	7,8	7,7	8,3	8,2
$r\text{H}_2$	18,6	18,4	16,6	14,4

Активна сульфатредукція вимагає глибоко анаеробних умов -  $r\text{H}_2$  повинен мати значення менше 16. Проте і сама сульфатредукція значимо впливає на окислювально-відновні характеристики середовища, оскільки її продуктом є сірководень - найактивніший відновник, що знижує Eh середовища. Із збільшенням окисно-відновного потенціалу середовища концентрація  $\text{H}_2\text{S}$  в стічній воді стало зменшувалась (рис. 3.2). Як видно з табл. 3.1 та 3.2, чим нижче температура середовища, тим більше пригнічується сульфатредукція і тим вище Eh та інтегральний показник  $r\text{H}_2$ . Найбільш сприятливі окислювально-відновні умови середовища для сульфатредукції сформувалися при температурі 28 °C: Eh 60 мВ та  $r\text{H}_2$  14,4 [93].

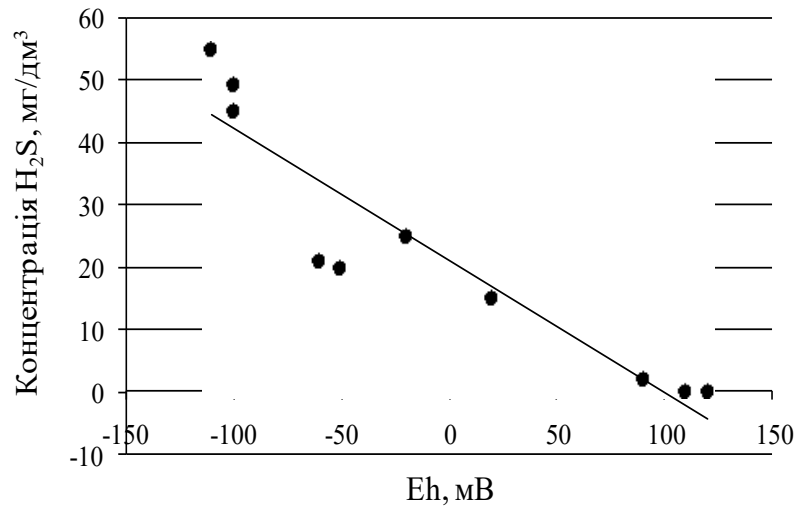


Рисунок 3. 2 – Вплив Eh середовища на накопичення H<sub>2</sub>S в стічних водах

Динаміка рН в інтервалі температур +6 °С - +18 °С (табл. 3.2) яскраво ілюструє розвиток процесу сульфатредукції при підвищенні температури. Відновлення сульфатів при сульфатредукції підлужує середовище та підвищує його рН. Незначне зниження рН середовища при підвищенні температури від +18<sup>0</sup>С до +28<sup>0</sup>С, як видно, пов'язано з розвитком бродильних процесів, подкислюючих середовище, оскільки його анаеробність і наявність легкоокислювального органічного субстрату сприяє розвитку різних бродінь.

Аналіз води в приймачах водяних затворів культиваторів, які інкубували при різних температурах, показав (табл. 3.3), що найбільший викид H<sub>2</sub>S в повітряне середовище був зроблений з третього культиватора, де зазначалося найбільше накопичення H<sub>2</sub>S у водному середовищі.

Таблиця 3.3 - Вплив температурного режиму на викиди газоподібного H<sub>2</sub>S зі стічної води

Тривалість інкубації, доба	Концентрація H <sub>2</sub> S у воді газопрймальника (мг/дм <sup>3</sup> ) при температурі інкубації культиватора, °С		
	6	17	28
1	0	0	2
2	0	3	15

Великий вплив на Eh та rH<sub>2</sub> водного середовища надає не тільки концентрація в ньому H<sub>2</sub>S, але і надходження сильних окислювачів - кисню повітря.

У третій серії експериментів досліджували вплив аерації на накопичення сірководню в стічній воді при температурі 18°C. Один культиватор поміщали в шуттель-апарат для постійної механічної аерації, а другий культиватор інкубували без перемішування. Процес контролювали протягом 2 діб, динаміка контрольованих параметрів представлена в табл. 3.4.

Як видно, аерація кардинально змінило окислювально-відновні умови в стічній воді: Eh і rH<sub>2</sub> водного середовища підвищувалися, а накопичення сірководню не відбувалося.

Таблиця 3.4 - Вплив перемішування на накопичення H<sub>2</sub>S у стічних водах

Тривалість інкубації, доба	Параметри, що контролювали	Режим інкубування	
		Без аерації	З аерацією
0	Концентрація H <sub>2</sub> S, мг/дм <sup>3</sup>	2,0	2,0
	Eh	+90	+90
	rH <sub>2</sub>	19,2	19,4
1	Концентрація H <sub>2</sub> S, мг/дм <sup>3</sup>	21,0	0
	Eh	+20	+120
	rH <sub>2</sub>	17,0	19,2
2	Концентрація H <sub>2</sub> S, мг/дм <sup>3</sup>	49,3	0
	Eh	- 10	+110
	rH <sub>2</sub>	16,1	19,8

Таким чином, отримані експериментальні дані свідчать, що накопичення сірководню в стічній воді залежить від температури середовища та окислювально-відновних умов: чим нижче температура та вище окислювально-відновні характеристики середовища - Eh та rH<sub>2</sub>, тим менше сірководню накопичиться у водному середовищі.

3.2 Визначення ефекту придушення утворення сірководню в стічних водах при одночасному впливі трьох екологічних факторів

Для ефективного аналізу механізму явищ та управління процесами необхідно виявити взаємозв'язки між факторами, що визначають хід процесу, і представити їх в кількісній формі - у вигляді математичної моделі. Математична модель є математичним відображенням найбільш істотних сторін процесу. Модель являє собою сукупність рівнянь, умов та алгоритмічних правил і дозволяє [94, 95]:

- отримувати інформацію про процеси, що протікають в об'єкті;
- розраховувати системи, тобто аналізувати та проектувати їх;
- отримувати інформацію, яка може бути використана для управління

модельованим об'єктом.

Накопичення сірководню в рідкій фазі (стічна вода) в результаті мікробіологічної сульфатредукції залежить в основному від наступних параметрів процесу:

- температури стічної води,  $T$ ;
- ОВП водного середовища,  $Eh$ ;
- тривалості інкубації,  $t$ .

Перемішування проб виконували 1 раз на 12 годин дуже повільно без утворення воронки для запобігання насичення води киснем.

У процесі трьохфакторного лабораторного експерименту зазначені вище основні параметри варіювали в наступних межах:

- $T = 6 - 28$  °C;
- $Eh = +120 - -60$  мВ;
- $t = 3 - 48$  год.

Для проведення досліджень впливу екологічних факторів на накопичення сірководню в стічних водах в лабораторії склали план трьохфакторного експерименту. Особливістю плану експерименту є те, що незалежні змінні, які мають в загальному випадку фізичну розмірність, представляються у вигляді безрозмірних нормованих змінних. Значення нової безрозмірної нормованої незалежної змінної змінюються в діапазоні від -1 до 1 [95 - 102]. Для переводу розмір-

них змінних в безрозмірні, були розраховані значення незалежної змінної, в так званому центрі плану за формулою:

$$X^0 = \frac{X^{\max} + X^{\min}}{2}, \quad (3.1)$$

де  $X^{\max}$ ,  $X^{\min}$  – відповідно максимальне і мінімальне значення незалежних змінних.

$$X_1^0 = 17,$$

$$X_2^0 = 90,$$

$$X_3^0 = 25,5.$$

Крім того визначили інтервал варіювання за формулою:

$$\Delta X = \frac{X^{\max} - X^{\min}}{2}. \quad (3.2)$$

Звідси:

$$\Delta X_1 = 11,$$

$$\Delta X_2 = 90,$$

$$\Delta X_3 = 22,5.$$

Перехід до безрозмірних змінних визначався за формулою:

$$x = \frac{X^{\min} - X^0}{\Delta X}. \quad (3.3)$$

Звідси:

$$x_1 = -1,$$

$$x_2 = -1,$$

$$x_3 = -1.$$

Побудували план трьохфакторного експерименту при зазначених вище параметрах (табл. 3.5).

Таблиця 3.5 - План експерименту

Характеристика	T, °C	Eh, мВ	t, год
----------------	-------	--------	--------

Основний рівень	17	90	25,5
Інтервал варіювання	11	90	22,5
Верхній рівень	28	120	48
Нижній рівень	6	-60	3

Регресійне рівняння ефективності:

$$E = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_{12} X_1 X_2 + b_{13} X_1 X_3 + b_{23} X_2 X_3, \quad (3.4)$$

де  $b_i$  – невідомі коефіцієнти регресійного рівняння;

$X_1, X_2, X_3$  – безрозмірні кодовані змінні приймають значення  $\pm 1$ .

Експеримент проводили трьома серіями. В ході експерименту встановлювали ефективність придушення утворення сірководню в модельних стічних водах при різних значеннях параметрів варіювання  $T, E_h, t$ .

У спеціальній літературі докладно розглянуті різні регресійні моделі та плани експериментів для них [98 - 100, 103 - 107], правила проведення регресійного аналізу і т.д. У табл. додатку А представлена матриця планування, складена відповідно до вказівок [98 - 100, 103 - 107], встановленими раніше рівнями варіювання та набутих значень функції відгуку  $E$ .

Коефіцієнти регресійного рівняння знаходили за методом найменших квадратів та в матричній формі вони мають такий вигляд:

$$b = (X^T X)^{-1} X^T Y. \quad (3.5)$$

З урахуванням отриманих коефіцієнтів регресійне рівняння має наступний вигляд:

$$E = 68,08 - 15,08 X_1 + 8,28 X_2 - 7,08 X_3 - 1,25 X_1 X_2 - 0,75 X_1 X_3 + 0,417 X_2 X_3 \quad (3.6)$$

Для проведення регресійного аналізу [96 - 99, 102, 105 - 107]:

1. Перевіряли результати експериментів на відтворюваність відповідно до критерію Кохрена. При визначенні критерію Кохрена обов'язковою умовою є:



$$G_{\text{розн.}} \leq G_{\text{табл.}} \quad (3.7)$$

Розрахункове значення:  $G_{\text{розн.}} = 0,339$ ;

Табличне значення:  $G_{\text{табл.}} = 0,516$ .

( $0,339 < 0,516$ ). Відповідає критерію Кохрена.

2. Розраховували коефіцієнти регресії та перевіряли їх на значущість відповідно до критерію Стюдента:

$$|b| \geq S_b \times t_{\text{кр}} \quad (3.8)$$

Якщо коефіцієнт регресії є незначним, тобто не виконується рівняння (3.8), значить даним коефіцієнтом при визначенні ефективності придушення утворення сірководню в стічній воді можна знехтувати. Остаточне регресійне рівняння має вигляд:

$$E = 68,08 - 15,08X_1 + 8,58X_2 - 7,08X_3 - 1,25X_1X_2 \quad (3.9)$$

3. Після відкидання незначущих коефіцієнтів перевіряли отримане рівняння регресії на адекватність відповідно до критерію Фішера:

$$F_p \leq F. \quad (3.10)$$

Розрахункове значення:  $F_p = 2,677$ ;

Табличне значення:  $F_{\text{кр}} = 3,01$ .

( $2,677 < 3,01$ ).

Таким чином, регресійне рівняння є адекватним.

Регресійний аналіз в повному обсязі наведено в додатку Б.

Як видно з рівняння регресії, найбільша ефективність придушення утворення сірководню в стічній воді з урахуванням варіювання трьох основних еко-

логічних факторів ( $T$ ,  $E_h$ ,  $t$ ) спостерігається при взаємодії таких двох параметрів: температура та  $E_h$ , тобто при їх зменшенні.

З експериментально досліджених факторів, найбільш значущим параметром в керуючому впливі на сульфатредукцію й накопичення сірководню в водному середовищі є температура [108].

### 3.3 Визначення кількісних показників впливу температури на активність накопичення сірководню в рідких та газоподібних середовищах каналізаційних мереж

Наразі відомо декілька математичних моделей [2, 112], що кількісно описують процеси, які відбуваються в водному середовищі (стічні води, що транспортуються) та газоподібному середовищі каналізаційних мереж. Ці моделі спираються в першу чергу на кінетичні показники мікробіологічної сульфатредукції (розвиток сульфатредукуючих бактерій та їх метаболічну активність), хімічний склад стічних вод та атмосфери, фізичні властивості рідин та газів, гідравлічні й геометричні властивості конструкції та ін. Вплив температури на процеси утворення сірководню в стічних водах, переходу в газоподібне середовище та накопичення в ньому враховуються за допомогою мультиплікативного коефіцієнта, що описує вплив температури на розвиток та метаболізм сульфатредукуючих бактерій. Усі розглянуті математичні моделі не враховують вплив температури стічних вод на розчинність в них сірководню. А при зниженні температури стічних вод розчинність сірководню збільшується, а отже, зменшується його надходження зі стічної рідини в газо-повітряне середовище і накопичення в ньому.

#### 3.3.1 Вплив температури на активність розвитку та метаболізму сульфатредукуючих бактерій в стічних водах

У математичній моделі розвитку сульфатредукуючих мікробних популяцій в стічних водах, вплив температури відображає мультиплікативний коефіцієнт  $k_t$  [2].

$$\left( \frac{C_{SO_4^{2-}}}{C_{SO_4^{2-}}^0} - 1 \right) \cdot C_{SO_4^{2-}}^0 + K_{SO_4^{2-}} \cdot \ln \left( \frac{C_{SO_4^{2-}}}{C_{SO_4^{2-}}^0} - 1 \right) = - \frac{\mu_{\max cp}}{Y_{SO_4^{2-}}} \cdot k_t a_{Eh} a_{pH} a_1 a_2 \times$$

$$\times \int_0^t \frac{X_0 \cdot \exp(\mu_{\max} t) \cdot (-K_{XCK cp} - C_{XCK}^0 + k \cdot t)^{\frac{\mu_{\max cp} K_{XCK cp}}{k}}}{(-K_{XCK cp} - C_{XCK}^0)^{\frac{\mu_{\max cp} K_{XCK cp}}{k}}} dt \quad (3.11)$$

де  $X_{cp}$  – концентрація біомаси сульфатредукуючих бактерій, г/м<sup>3</sup> ХСК;

$C_{XCK}$  – концентрація органічного субстрату, г/м<sup>3</sup> ХСК;

$K_{XCK cp}$  – константа напівнасичення по органічних сполук, г/м<sup>3</sup>;

$\mu_{\max cp}$  – максимальна питома швидкість росту біомаси сульфатредукуючих бактерій, доба<sup>-1</sup>;

$t$  – час, доба;

$C_{SO_4^{2-}}$  – концентрація неорганічного субстрату, г/дм<sup>3</sup>;

$K_{SO_4^{2-}}$  – константа напівнасичення органічним субстратом;

$Y_{SO_4^{2-}}$  – коефіцієнт перетворення  $SO_4^{2-}$  на біомасу, г/г;

$a_{Eh}$  – коефіцієнт, що відображає вплив Eh на ферментативний процес;

$a_{pH}$  – коефіцієнт, що відображає вплив рН на ферментативний процес;

$a_1$  – коефіцієнт (1,22), що враховує приріст біомаси сульфатредукуючих бактерій автотрофним шляхом за рахунок CO<sub>2</sub>;

$a_2$  – коефіцієнт (1,1), що враховує відновлення  $SO_4^{2-}$  протонами, які знімаються з H<sub>2</sub>.

$k_t$  – температурний коефіцієнт.

Чисельне значення температурного коефіцієнта в рівнянні визначається наступною залежністю:

$$K_t = 10^{k_T (T - T_{opt.})} \quad (3.12)$$

де  $k_T$  – температурний коефіцієнт - 0,03 (для іммобілізованих мікробіоценозів, що визначають сульфатредукцію в КМ [2, 108 - 114],  $T$  – температура середовища,  $^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{opt}$  – оптимальна температура середовища,  $^{\circ}\text{C}$ .

Як видно, цей коефіцієнт враховує тільки кінетичні характеристики впливу температури на ріст популяції та її біохімічну активність. За математичною моделлю [2] було розраховано концентрації сірководню в стічних водах в залежності від температури стічних вод та часу перебування стічних вод в колекторі. Розрахунки проводили для температури стічних вод  $20^{\circ}\text{C}$  та  $13^{\circ}\text{C}$ . Отримані графічні залежності впливу зниження температури на накопичення сірководню в стічних водах, які побудували за моделлю [2] рівняння (3.11), показано на рис. 3.3 [110, 111].

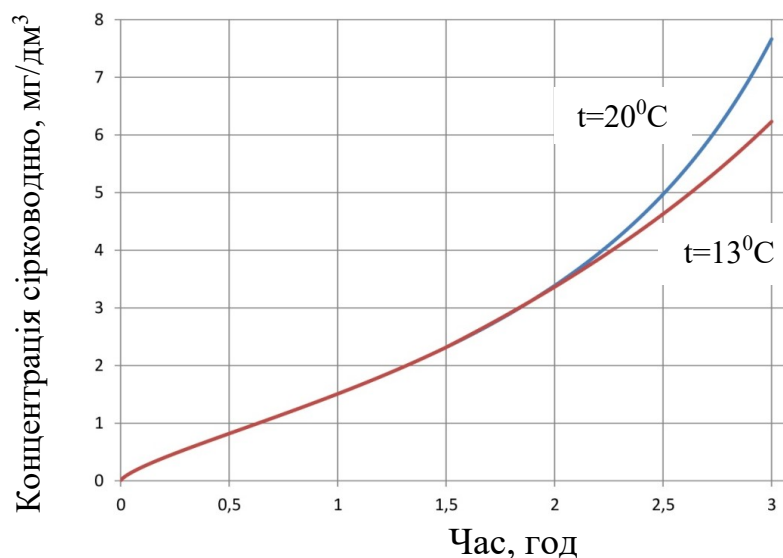


Рисунок 3.3 - Вплив температури на накопичення сірководню в стічних водах, що транспортуються КМ, відповідно до моделі [2]

Виходячи з розглянутої математичної моделі та одержаних розрахункових даних (рис. 3.3), протягом 1,5 годин інкубації зниження температури на  $7^{\circ}\text{C}$ , не вплинуло на активність накопичення сірководню в водному середовищі. При подальшій інкубації зниження температури істотно знизило накопичення сірководню, і до третьої години інкубації ефект придушення утворення  $\text{H}_2\text{S}$  досяг 33%. З огляду на тривалість перебування стічних вод в КМ до 4 годин, в се-

редньому 3 години, температурний фактор є реальним керуючим впливом на накопичення сірководню в стічних водах, що транспортуються мережами [108, 111, 113, 115 - 117].

### 3.3.2 Вплив температури на накопичення сірководню в підсклепіневому просторі каналізаційних трубопроводів

Математична модель [112] дозволяє розрахувати концентрацію всіх основних змінних по довжині ділянки колектора з урахуванням процесів, що відбуваються в соматичних каналізаційних колекторах, а також концентрацію  $H_2S$  в атмосфері підсклепіневого простору на підставі відповідної питомої швидкості зміни концентрації сірководню:

$$r_{S_{A.H_2S}} = 0,86 \cdot \left( 0,86 \cdot \left( 1 + 0,2 \frac{V^2}{gh_{mean}} \right) \cdot (iV)^{3/8} \right) \cdot (h_{mean})^{-1} \cdot b \cdot k_{pH} \times \\ \times \left( S_{S(-II)} - \frac{S_{A.H_2S} \beta}{k_{pH} C_{H.W / A.H_2S}} \right) \cdot 1,034^{T-20} - k_{AD.OX} \alpha_A \cdot \left( \frac{S_{A.H_2S}}{K_{S_{A.H_2S}} + S_{A.H_2S}} \right) \cdot 1,03^{T-20} \quad (3.13)$$

де  $r_{S_{A.H_2S}}$  - питома швидкість зміни концентрації сірководню в підсклепіневому просторі каналізаційного колектора;

$V$  - середня швидкість руху стічної рідини, м/с;

$g$  - прискорення сили тяжіння, м/с<sup>2</sup>;

$h_{mean}$  - середня гідравлічна глибина;

$i$  - ухил колектора;

$b$  - коефіцієнт, що враховує вплив фізико-хімічного складу стічної рідини на масоперенос сірководню в порівнянні з чистою водою;

$k_{pH}$  - коефіцієнт, що враховує частину сірководню із загальної кількості розчинених сульфідів в залежності від рН;

$S_{S(-II)}$  - сумарна концентрація розчинених  $S_{S(-II)}$  сульфідів, г S/м<sup>3</sup>;

$S_{A.H_2S}$  - концентрація сірководню в атмосфері колектора, г S/м<sup>3</sup>;

$\beta$  - концентрація сірководню в атмосфері колектора;

$C_{H.W/H_2S}$  - безрозмірне значення константи закону Генрі (м<sup>3</sup> водної фази/м<sup>3</sup> газової фази) для сірководню;

$T$  – температура стічної рідини,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$K_{\text{AD.OX}}$  - максимальна поверхнева швидкість адсорбції сірководню з атмосфери колектора в плівці конденсатної вологи та окислення в біоплівці тіоновими мікроорганізмами на склепінні колектора,  $\text{г S}(\text{м}^2 \cdot \text{с})^{-1}$ ;

$\alpha_A$  - питома площа поверхні плівки конденсатної вологи та біоплівки на зводі колектора,  $\text{м}^{-1}$ ;

$K_{\text{S.A.H}_2\text{S}}$  - константа напівнасичення по газоподібному сірководню,  $\text{г S}/\text{м}^3$ .

У цій моделі вплив температури на процес накопичення сірководню в підсклепіневому просторі каналізаційних трубопроводів враховується за допомогою мультиплікативного коефіцієнта –  $1,03^{T-20}$ , аналогічного використаному в попередній моделі (3.11), а отже не враховує вплив температури на розчинність сірководню в стічних водах та зменшення його елюювання в підсклепіневий простір. За математичною моделлю [112] були розраховані концентрації сірководню у підсклепіневому просторі каналізаційного колектора при температурі стічної води  $20^{\circ}\text{C}$  та  $13^{\circ}\text{C}$  та отримані графіки концентрації сірководню в залежності від температури стічної води та часу перебування стічних вод у колекторі.

Графічне представлення зниження концентрації  $\text{H}_2\text{S}$  в атмосфері колектора при зниженні температури стічних вод з математичної моделі (3.13) показано на рис. 3.4 [108, 111, 113, 115 - 119].

Виходячи з математичної моделі [112] та одержаних розрахункових даних (рис. 3.4), при зниженні температури на  $7^{\circ}\text{C}$  концентрація  $\text{H}_2\text{S}$  в атмосфері підсклепінєвого простору, знижується через 2 год інкубації на 17 %, а через 3 год – на 51 % [108].

Для удосконалення цієї моделі та коригування рівняння 3.13 необхідно ввести коефіцієнт, що кількісно враховує вплив зниження температури стічних вод на розчинність в них сірководню та зменшення його елюювання в газоповітряне середовище.

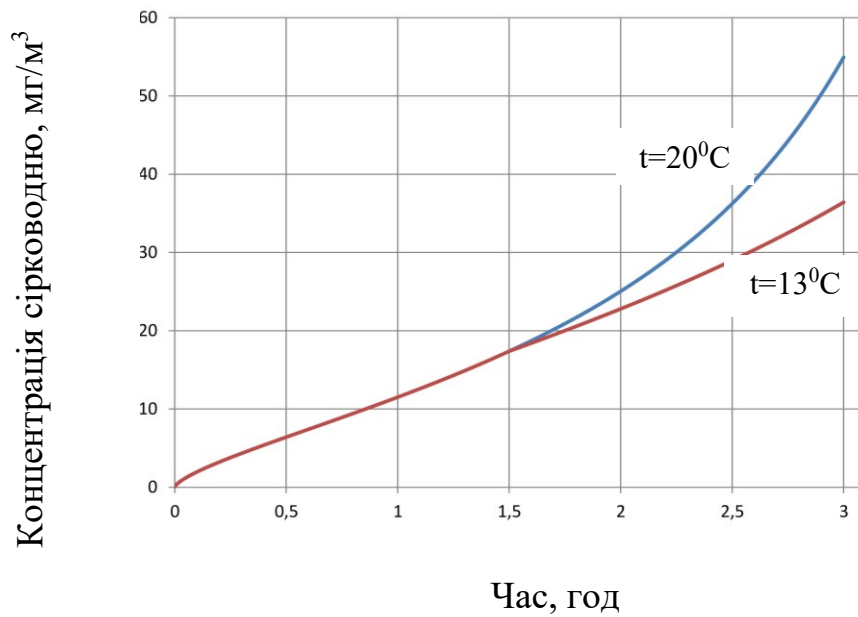


Рисунок 3.4 - Вплив температури стічної води на накопичення сірководню в атмосфері підсклепіневого простору каналізаційних трубопроводів

Для цього розглянули температурні характеристики розчинності сірководню (рис. 3.5).

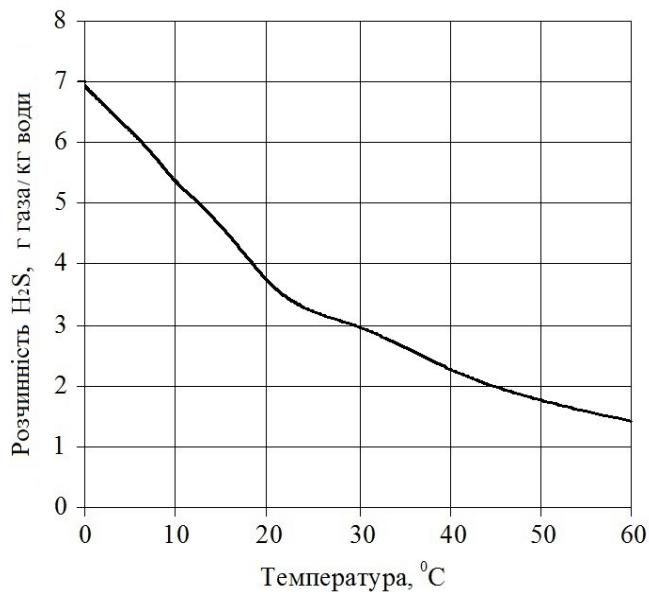


Рисунок 3.5 - Розчинність H<sub>2</sub>S в воді в залежності від температури

Як видно з даних, представлених на рис. 3.5, крива залежності розчинності сірководню від температури водного середовища має перелом при температурі 23 °C. В діапазоні температур від 0 до 23 °C вплив температури більш значимий ніж в діапазоні температур від 23 °C та вище:  $\cos$  кута нахилу кривої в першому діапазоні становить , а в другому діапазоні - . Тому в діапазоні темпе-

ратур  $\leq 23$  °С зниження температури води на 7 °С, призводить до підвищення розчинності сірководню приблизно на 27%, а в діапазоні  $\leq 30$  °С – лише на 14 % [109 - 111]. Отже, коригуючий коефіцієнт, що враховує вплив температури на розчинність сірководню в стічній воді та затримання його елюювання в газоподібне середовище, в рівнянні 3.13 для діапазона температур від 0 до 23 °С становить 0,73, а для діапазона температур 23-30 °С – 0,86.

Таким чином, після зниження температури стічної води доля залишкового вмісту сірководню в атмосфері підсклепіневого простору – ДЗВ<sub>п.п.</sub> (% від концентрації, що була зафіксована до зниження температури) можна розрахувати за формулою 3.14:

$$ДЗВ_{п.п.} = \frac{100 - a}{100} \cdot \frac{100 - \epsilon}{100} \cdot 100 \quad (3.14)$$

де  $a$  – ефект зниження концентрації  $H_2S$  в стічній воді внаслідок пригнічуючої дії зниження температури на метаболізм сульфатредуючих бактерій, 33 %;  $\epsilon$  – ефект затримання  $H_2S$  в стічній воді внаслідок зниження її температури, 27 %.

Після підстановки значень  $a$  та  $\epsilon$  розраховали долю залишкового вмісту сірководню в атмосфері підсклепіневого простору після зниження температури стічної води від вихідної за формулою 3.14:

$$ДЗВ_{п.п.} = \frac{100 - 33}{100} \cdot \frac{100 - 27}{100} \cdot 100 = 49 \%$$

Залишкова концентрація  $H_2S$  в підсклепіневому просторі колекторів після зниження температури від вихідної розраховується за формулою 3.15:

$$ЗК_{п.п.} = \frac{C_{вих.} \cdot ДЗВ_{п.п.}}{100} \quad (3.15)$$

де  $ЗК_{п.п.}$  – залишкова концентрація  $H_2S$  в підсклепіневому просторі колекторів після зниження температури від вихідної, мг/м<sup>3</sup>;  $C_{вих.}$  – вихідна концентрація  $H_2S$ , мг/м<sup>3</sup>; ДЗВ<sub>п.п.</sub> – доля залишкового вмісту сірководню в атмосфері підсклепіневого простору, %.

Отже, якщо підсумувати максимальні ефекти придушуючого впливу зниження температури на утворення сірководню в стічній воді та зниження його



го викиду в атмосферу за рахунок підвищення розчинності, то в цілому, концентрація  $\text{H}_2\text{S}$  в підсклепіневому просторі колекторів після зниження температури стічних вод, що транспортуються на  $7\text{ }^\circ\text{C}$  (з  $20$  до  $13\text{ }^\circ\text{C}$ , що практично найбільш ймовірно) знизиться  $\sim$  на  $51\%$ .

Таким чином, методику розрахунку залишкової концентрації  $\text{H}_2\text{S}$  в підсклепіневому просторі каналізаційних колекторів після зниження температури стічної води удосконалено шляхом впровадження формули розрахунку мультиплікативного впливу на залишкові концентрації  $\text{H}_2\text{S}$  двох факторів: зниження концентрації  $\text{H}_2\text{S}$  в стічній воді після зниження її температури (внаслідок пригнічуючої дії на метаболізм сульфатредуючих бактерій), а також затримання  $\text{H}_2\text{S}$  у стічній воді за рахунок підвищення розчинності сірководню.

Виходячи з проведених розрахунків, що виконувалися за допомогою математичних моделей та на підставі кількісних характеристик фізичних властивостей сірководню, при зниженні температури стічної води, що транспортується, на  $7\text{ }^\circ\text{C}$ , концентрація  $\text{H}_2\text{S}$  в підсклепіневому просторі колекторів знизиться приблизно на  $51\%$ , що істотно знизить екологічну небезпеку газоподібних викидів з КМ для міських регіонів [92, 108, 111, 113 - 123]. На підставі виконаних розрахунків можна зробити висновок про можливість значного зниження концентрацій  $\text{H}_2\text{S}$  в викидах з КМ в атмосферу міста при використанні температурного фактора.

### 3.3.3 Вплив температури газоподібних викидів на самотягу в шахтах

Температурний фактор описує вплив не тільки на концентрацію забруднень у викидах з КМ, але й на обсяг самого викиду. Для кількісної оцінки цього впливу, виконали розрахунки самотяги в каналізаційних шахтах при різних температурах газової суміші. За результатами розрахунків отримують величину самотяги димової труби. Самотяга - це надлишок роботи газового потоку, що виникає при його підйомі вгору на висоту труби, якщо у нього щільність менше, ніж щільність атмосферного повітря, за рахунок того, що робота, яка витрачається на підйом газоповітряної суміші, менше роботи, яку здійснюють при

опусканні того ж обсягу повітря на ту ж висоту. При розрахунку опорів, що виникають під час руху потоку, вони умовно поділяються на: опір тертя при перебігу потоку в прямому каналі постійного перетину, в тому числі при поздовжньому омиванні пучка труб; місцеві опори, пов'язані зі зміною форми або напрямком потоку, які умовно вважають зосередженими в одному перерізі та не включають опір тертя; опір поперечно омиваємих пучків труб, в яких не можна визначити окремо опір тертя та місцеві опори [124, 125]. Величина самотяги показує чи є тяга в димарі при тих чи інших умовах, тобто чи буде газоповітряна суміш підніматися нагору по трубі. При розрахунку величини самотяги в каналізаційній шахті - чи будуть забруднюючі речовини підніматися по шахті вгору та викидатися в атмосферу міста.

Шахту каналізаційного колектора можна представити як димову трубу. Розрахунок виконувався за формулами, наведеними в додатку В, за допомогою програми Excel. Для розрахунку використовували такі вихідні дані (табл. 3.6).

Таблиця 3.6 - Вихідні дані для аеродинамічного розрахунку димової труби

№	Найменування показника	Позначення	Од. вим.	Значення
1	Сумарна потужність котельні	Q	КВт	100
2	Розрахункова температура зовнішнього повітря	Tв	°С	5
3	Температура газів, що відводяться	Tг	°С	15-35
4	Температура повітря, що оточує димохід	Tов	°С	5-35
5	Коефіцієнт теплопередачі стінок димоходу	Kст	кВт/м <sup>2.0</sup> С	2,9
6	Висота труби	H	м	5-15
7	Довжина горизонтальної ділянки	L	м	500
8	Швидкість вітру в теплий період	Wв	м/с	10
9	Коефіцієнт тертя для газоходу	$\lambda$		0,02
10	Аеродинамічний коефіцієнт приміщення	a		0,025
11	ККД котельної установки	$\eta$		0,84
12	Діаметр горизонтальної ділянки	Dг	м	1,28
13	Діаметр вертикальної труби	Dт	м	0,7
14	Коефіцієнт надлишку повітря пальника	$\alpha$		1,2
15	Об'ємна теплоємність димових газів	Cг	кВт/м <sup>2.0</sup> С	5,018
16	Нижча теплота згоряння палива	QH	ккал/нм <sup>3</sup>	6450

При розрахунку в каналізаційній шахті оцінили залежність самотяги від наступних факторів:

- температура газоподібних викидів.  $T_{г.} = 15 - 35 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- висота каналізаційної шахти (глибина шахти приймається як висота).

$H=5, 10, 15 \text{ м}$ ;

- температура повітря, що оточує каналізаційну шахту.

$T_{оп.} = 35, 25, 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Інші чинники залишалися незмінними та не брали участі в розрахунках.

Графічне представлення розрахунків показано на рис. 3.6.

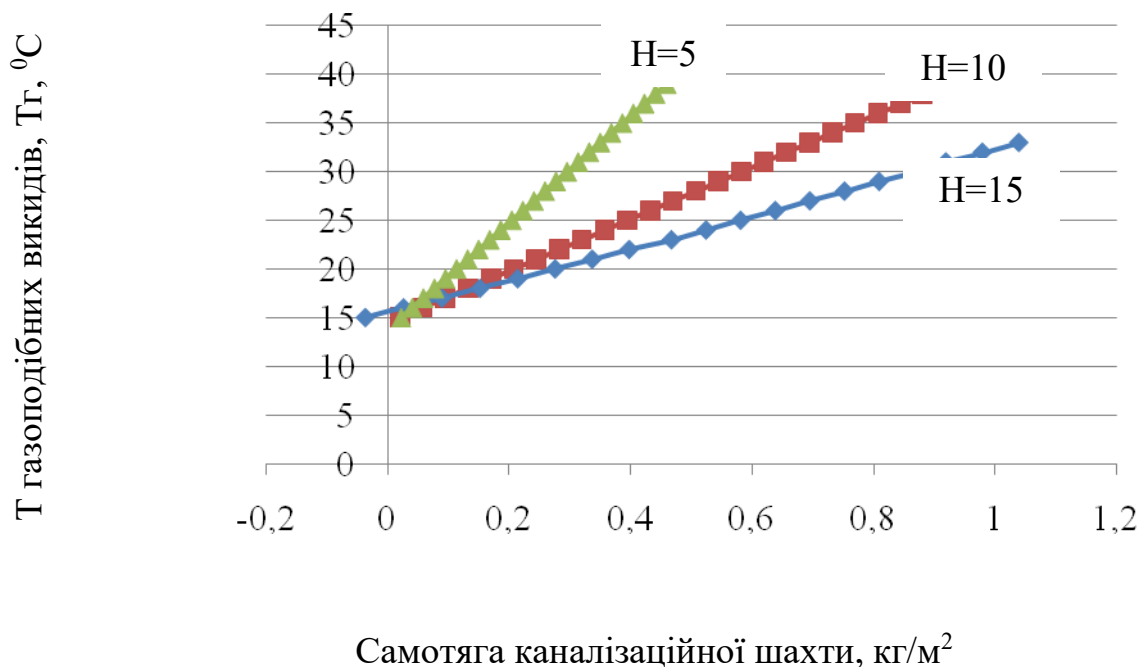


Рисунок 3.6 – Вплив зміни висоти шахти, температури газів, що відводяться, на самотягу шахти ( $T_{оп.} = 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ )

Як видно з даних рис. 3.6, при зниженні  $T_{г.}$  з 22 до  $15 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , самотяга в трубі знижується на 9,5 - 18% в залежності від висоти шахти.

Розрахунки показали, що температура повітря, яка оточує шахту, не впливає на величину самотяги в каналізаційній шахті.

### 3.4 Практичний досвід зниження температури стічних вод в каналізаційних мережах м. Харкова та його екологічні наслідки

Використанням заходів по зниженню температури стічних вод, що транспортуються КМ, детально займався Дрозд В.Я. [3]. Запропоновано декілька технічних рішень:

- охолодження води на окремій ділянці за допомогою футляра із замороженого ґрунту одним з способів по методам, що застосовуються в підземному будівництві;
- створення крижаного футляра навколо каналізаційного трубопроводу;
- теплові насоси.

З наведених вище способів для охолодження стічних вод в мережах, найбільш технічно можливим та економічно ефективним представляється використання теплового насоса. Тим більше, що в даний час є широка практика застосування теплонасосного обладнання на КМ, як в світі, так і в Україні.

#### 3.4.1 Досвід застосування теплонасосного обладнання на КНС в м. Харкові

Харківська компанія, що управляє КМ має досвід експлуатації теплонасосного обладнання на КНС. У 2008 р. в рамках реалізації Програми енергозбереження КП КГ «Харківкомуночиствод» на КНС № 2а «Баварія» було встановлено тепловий насос виробництва Франції потужністю 12 кВт. Вартість обладнання та всіх робіт, пов'язаних з установкою склала 48 тис. грн. в цінах 2008 р.

До 2008 р. приміщення КНС № 2а «Баварія» загальною площею 200м<sup>2</sup> опалювалися за допомогою електрокотла розрахунковою потужністю 10 кВт. Витрати електроенергії при цьому в опалювальний період становили 21120 кВт·год.

Як джерело низькопотенційного тепла на даному об'єкті використовуються стоки, що проходять через напірну частину трубопроводу діаметром 1000 мм. Відбір тепла від напірного каналізаційного трубопроводу здійснюється за

допомогою теплообмінника типу «сорочка», змонтованого на ділянці довжиною близько 3 м. Нижче приведена принципова схема теплового насоса, встановленого на КНС № 2а «Баварія» (рис. 3.7).

Теплонасосна станція працює в повністю автоматичному режимі і успішно забезпечує теплом даний об'єкт. Тривала робота теплонасосної установки показала її високу надійність, економічність та екологічність. В результаті установки теплового насоса витрати електроенергії за опалювальний період знизилися в 3,28 рази до 6429 кВт/год. Економія електроенергії за опалювальний сезон 2008-2009 рр. склала 10430,6 грн. Термін окупності витрат, пов'язаних з його придбанням та встановленням становить 4,6 року, з урахуванням цін на електроенергію 2008-2009 рр.

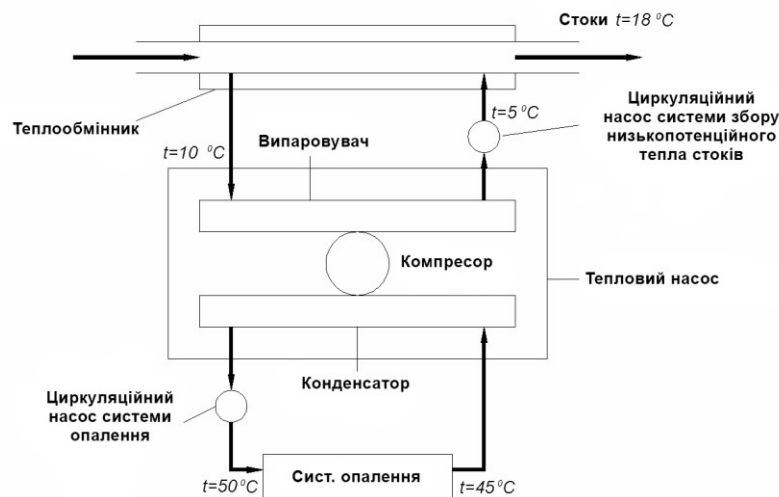


Рисунок 3.7 – Принципова схема теплового насоса, встановленого на КНС №2а «Баварія»

3.4.2 Вплив зниження температури стічних вод на вміст сірководню в підсклепіневому просторі колектора на КНС № 2а «Баварія»

Вплив зниження температури стічної води на вміст сірководню в атмосфері підсклепінєвого простору каналізаційного колектора представлено на рис. 3.8.

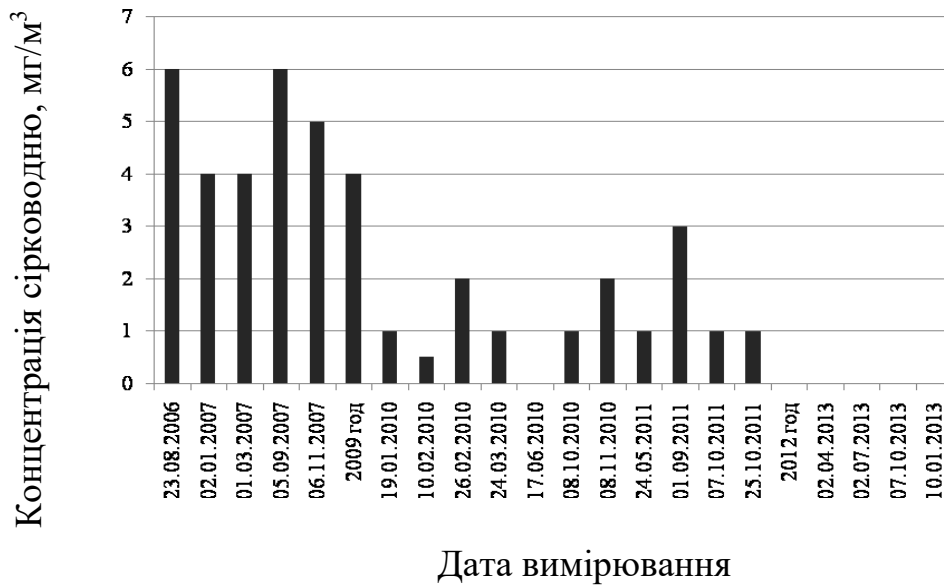


Рисунок 3.8 – Діаграма динаміки концентрації сірководню в підсклепінєвому просторі колектора на КНС №2 м. Харкова [108]

Як видно з діаграми, концентрація сірководню в підсклепінєвому просторі колектора в 2006-2007 рр. досягала 6 мг/м³. У 2008 р. на КНС №2а було встановлено теплонасосне обладнання. Починаючи з цього періоду, спостерігалось зниження концентрації сірководню більш ніж на 50% [108].

### Висновки до розділу 3

1. У лабораторних умовах встановлено кількісні характеристики впливу різних фізико-хімічних факторів (рН, Eh, T) на активність накопичення сірководню в моделях каналізаційних трубопроводів.

2. Проведено трьохфакторний лабораторний експеримент для оцінки впливу на активність накопичення сірководню, тривалості експозиції, температури стічної води та її ОВП. Встановлено що найбільш значущим чинником накопичення сірководню в стічних водах є температура. Побудовано регресійне рівняння, що описує вплив на накопичення сірководню цих трьох незалежних факторів, та доведена його адекватність.

3. На підставі аналізу математичних моделей та довідкових даних проведено теоретичний розрахунок впливу температури на накопичення сірководню в стічних водах, в газоподібному середовищі над ними з урахуванням біохімічних, хімічних та фізичних показників. Показано що при зниженні T сті-

чних вод на  $7\text{ }^{\circ}\text{C}$  максимальний ефект придушення утворення  $\text{H}_2\text{S}$  в стічних водах сягає 33%, в атмосфері підсклепіневого простору – 51 % (з урахуванням підвищення розчинності).

4. Проаналізовано досвід застосування теплонасосного обладнання на Краснобаварській КНС КМ м. Харкова, а також вплив охолодження їм стічних вод на накопичення сірководню в підсклепіневому просторі каналізаційного трубопроводу після КНС.

5. Установлено, що ефект придушення накопичення сірководню у підсклепіневому просторі після застосування теплового насоса на Краснобаварській КНС склав  $\sim 50\%$ , що кореспондується з даними теоретичних розрахунків з застосуванням запропонованої формули мультиплікативного впливу температури стічних вод на концентрацію  $\text{H}_2\text{S}$  в підсклепіневому просторі.

## РОЗДІЛ 4

ВИКИДИ СІРКОВОДНЮ З КАНАЛІЗАЦІЙНИХ МЕРЕЖ В МІСЬКЕ  
АТМОСФЕРНЕ ПОВІТРЯ, ТЕХНІЧНІ ЗАХОДИ ЩОДО ЇХ ЗНИЖЕННЯ ТА  
ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ВПРОВАДЖЕННЯ4.1 Розробка методу розрахункового визначення концентрації  $H_2S$  на виході з каналізаційної шахти

Глибина закладення каналізаційних трубопроводів в м. Харкові на деяких ділянках досягає 40 м. Газоподібний сірководень важчий за повітря і тому його концентрація на виході з шахти менше концентрації, яка встановлюється при обстеженні трубопроводів. Зниження концентрації залежить від аеродинамічних умов, що визначають тягу на даній ділянці, температури всередині шахти, зовнішньої температури, глибини шахти, що приймається за висоту і т.д. З урахуванням значних коливань концентрації сірководню в атмосфері підсклепінного простору, великого діапазону змін аеродинамічних умов та температур необхідно було усереднити ці фактори за великий період часу. Для такого усереднення використовували вимірювання швидкості корозії бетону в результаті біогенної сірчаноокислотної агресії по висоті деяких шахт на різних ділянках каналізаційного середовища. Ця швидкість пропорційна концентрації  $H_2SO_4$ , що утворюється з  $H_2S$ , а отже, і концентрації  $H_2S$  в газоповітряному середовищі. За допомогою отриманих даних була побудована залежність (рис. 4.1), що кількісно відображує зниження концентрації сірководню в газоповітряному середовищі по висоті шахти (від склепіння каналізаційного колектора до кришки люка) [108, 126 - 130].



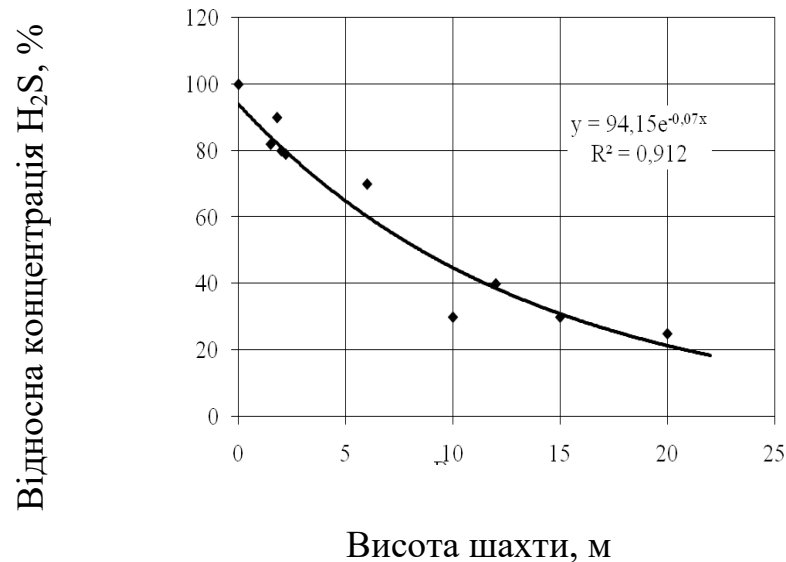


Рисунок 4.1 - Залежність зниження відносної концентрації сірководню в газоповітряному середовищі від висоти шахти [108, 131]

Як видно з наведених даних зниження концентрації сірководню становить приблизно 8,0% на кожен метр висоти шахти і описується рівнянням [108]:

$$L_H = 94,15 \cdot e^{-0,07H} \quad (4.1)$$

де  $L_H$  – відносна концентрація сірководню на виході з шахти, %;

$H$  – висота шахти (глибина шахти приймається за висоту), м.

$$C_{H_2S_{\text{вих.}}} = C_{H_2S_{\text{підсклепін.}}} \cdot \frac{94,15e^{-0,07H}}{100} \quad (4.2)$$

де,  $C_{H_2S_{\text{вих.}}}$  – очікувана концентрація H<sub>2</sub>S на виході з шахт каналізаційних трубопроводів, мг/м<sup>3</sup>;

$C_{H_2S_{\text{підсклепін.}}}$  – концентрація H<sub>2</sub>S в підсклепінєвому просторі каналізаційних трубопроводів, мг/м<sup>3</sup>,

$H$  – висота шахти (глибина шахти приймається за висоту), м.

#### 4.2 Розрахунок очікуваної концентрації сірководню в газоповітряному середовищі на виході з шахт каналізаційних трубопроводів м. Харкова

Розрахункові значення концентрації сірководню в газоподібних викидах з каналізаційних шахт, розраховані відповідно до формули (4.2) на підставі усереднених даних вимірювань концентрацій цього з'єднання в підсклепіневому просторі трубопроводів за 3 роки на різних ділянках КМ м. Харкова (всього 62 контрольні шахти), наведені в додатку Г.

За результатами розрахунків, представлених в додатку Г, 13 шахт становлять найбільшу екологічну небезпеку для міської атмосфери за кратністю перевищення ГДК<sub>р.з.</sub> по сірководню. Це шахти №3, 4, 11, 12 колектора ХТЗ, №27 колектора 3 розвантажувального ХТЗ, №5 колектора Промпобутового, №5, 6 колектора Харківського, №2, 4а колектора Північної групи заводів, №3 колектора Головного, №1, 3 колектора «Автозапчастина», на виході з яких концентрації сірководню перевищують ГДК<sub>р.з.</sub> в десятки разів. ГДК<sub>м.р.</sub> перевищуються в тисячі разів.

#### 4.3 Розрахунок розсіювання сірководню, що викидається з каналізаційних шахт, в атмосфері м. Харкова

Розрахунок розсіювання  $H_2S$ , що викидається з каналізаційних шахт, в міській атмосфері, проводили на підставі ОНД-86 "Методика розрахунку концентрацій в атмосферному повітрі шкідливих речовин, що містяться у викидах підприємств» при обробці даних на ЕОМ у програмі для розрахунку розсіювання "ЕОЛ +".

У табл. 4.1 наведені метеорологічні характеристики та коефіцієнти, що визначають умови розсіювання забруднюючих речовин в атмосфері м. Харкова, необхідні для розрахунку розсіювання.

Вихідні дані, що використовувались для розрахунку розсіювання сірководню, що викидається з 62 контрольних каналізаційних шахт м. Харкова,

представлені в додатку Д. Вони включають: координати джерела викиду (каналізаційної шахти) на розрахунковій майданчику (м. Харків), висоту, діаметр шахти, витрати парогазоповітряні суміші (ПГПС), температуру викиду, максимальний викид сірководню.

Таблиця 4.1 - Метеорологічні характеристики та коефіцієнти, що визначають умови розсіювання забруднюючих речовин в атмосфері м. Харкова

Найменування характеристик	Величина
Коефіцієнт, що залежить від стратифікації атмосфери, А	200
Коефіцієнт рельєфу в місті	1
Середня максимальна температура зовнішнього повітря найбільш жаркого місяця, ТЛ, °С	26,1
Середня температура зовнішнього повітря найбільш холодного місяця, ТЗ, °С	-7,3
Середньорічна роза вітрів, %	
Пн	10
ПнСх	11
Сх	20
ПдСх	12
Пд	10
ПдЗах	12
Зах	15
ПнЗах	11
Швидкість вітру U* (за середніми даними), повторюваність перевищень якої становить 5%, м/с	8,0-9,0

На рис. 4.2 представлено розрахунковий майданчик м. Харкова з нанесеними на ньому розрахунковими точками (каналізаційними шахтами). Колектори позначені на карті різними кольорами, каналізаційні шахти на них представлені у вигляді кіл. Для зручності нанесення на карту близько розташовані шахти (3-5 м) представлені у вигляді кіл меншого діаметру. Кола, позначені літерою «Д», показують шахти, на яких встановлені дегазатори.

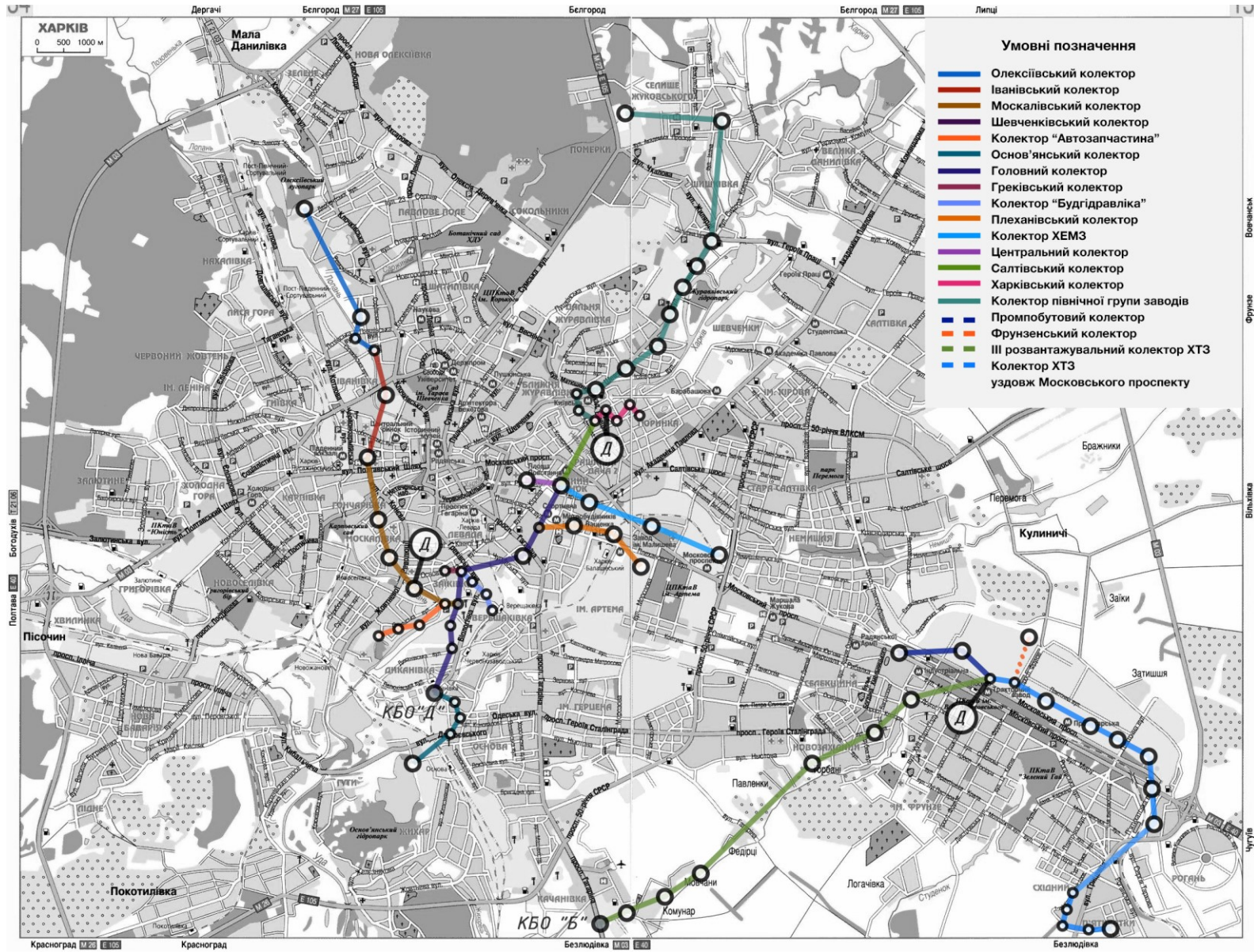


Рисунок 4.2 - Розрахунковий майданчик м. Харкова з нанесеними на ньому каналізаційними шахтами

Як видно з даних рис. 4.2, найбільша кількість каналізаційних шахт (13) розташовані на колекторі Північної групи заводів та колекторі ХТЗ. Найбільша щільність шахт, розрахована на 100 м колектора, відзначена для колекторів Харківський, «Будгідравліка», Основ'янський.

Розрахункові ізолінії розсіювання сірководню, що викидається до міської атмосфери з каналізаційних шахт, отримані на підставі обробки даних, наведених в додатках Д та Ж, представлені на рис. 4.3.

Як видно з рис. 4.3, найбільш екологічно небезпечними районами по концентрації в атмосфері сірководню, що викидається з каналізаційних шахт, є ділянки каналізаційних колекторів: Харківський, Північної групи заводів (Київський район м. Харкова), а також ділянка каналізаційного колектора ХТЗ (Індустріальний район). Безпечна зона (0,99 часток ГДК) в Київському районі становить приблизно 800 м від екологічно небезпечних каналізаційних шахт. Безпечна зона (0,99 часток ГДК) в Індустріальному районі становить приблизно 200 м від екологічно небезпечних каналізаційних шахт.

В повному обсязі розрахунки розсіювання сірководню в атмосфері м. Харкова наведено в Додатку З.

Як об'єкт натурних обстежень була обрана ділянка колектора ХТЗ.

#### 4.4 Екологічна небезпека газоподібних викидів з шахт на ділянці каналізаційного колектора ХТЗ

##### 4.4.1 Натурне обстеження складу газоподібного середовища підсклепінного простору трубопроводів на ділянці каналізаційного колектора ХТЗ

Експериментальне визначення концентрацій екологічно небезпечних газоподібних сполук в підсклепінному просторі каналізаційного трубопроводу на ділянці колектора ХТЗ проводили у липні 2013 г. На ділянці знаходяться 6 каналізаційних шахт (шахти №№ 4, 6, 8, 10, 11, 12). Результати виконаних вимірювань наведені в додатку К [91, 108, 131].



Рисунок 4.3 - Карта розсіювання сірководню в атмосферному повітрі м. Харкова

Як видно з даних додатку К, саме значне перевищення ГДК<sub>р.з./м.р.</sub> в газоподібному середовищі підсклепіневого простору каналізаційних трубопроводів (в десятки/тисячі разів) має сірководень. Шахти № 11 та 12 знаходяться надзвичайно близько до житлової забудови (від 35 до 50 м). Ці шахти представляються найбільш екологічно небезпечними для міської атмосфери та безпечної життєдіяльності населення, що проживає в районі їх розташування. На шахтах №4 та №12 в 2014 р. КП «Харківводоканал» для захисту міської атмосфери від екологічно небезпечних викидів з КМ встановило дегазатори (установки сухої хімічної фільтрації). Для розрахунку розсіювання сірководню в атмосфері житлової забудови було обрано шахту №11.

#### 4.4.2 Розрахунок розсіювання сірководню, що викидається з каналізаційної шахти №11 колектора ХТЗ, в міському атмосферному повітрі

Для того, щоб оцінити вплив газоподібних викидів з каналізаційної шахти №11 колектора ХТЗ на екологічну безпеку міської атмосфери, а також розрахувати концентрацію сірководню в найближчій точці житлової забудови, був проведений розрахунок розсіювання цієї сполуки (табл. 4.2, рис. 4.4) [91, 108, 131]. Розрахункову ділянку представлено у вигляді квадрата з розмірами 500х500 м. Крок розрахункової сітки – 25 м.

Таблиця 4.2 - Вихідні дані для розрахунку розсіювання сірководню, що викидається з каналізаційної шахти №11 колектора ХТЗ, в міській атмосфері

Джерело викиду	Параметри джерела викиду		Характеристика газоповітряної суміші			Концентрація H <sub>2</sub> S, мг/м <sup>3</sup>		Потужність викиду, г/с	Координати точки, найближчої до житлової зони	
	висота, м	діаметр, м	Об'єм ППС, м <sup>3</sup> /сек	швидкість, м/с	температура, °С	в трубопроводі	на виході з шахти		X, м	Y, м
Шахта №11	0,05	0,7	0,23	0,6	18	21	11	0,0027	83	-42



Рисунок 4.4 - Карта розсіювання сірководню, що викидається з каналізаційної шахти №11 (Колектор ХТЗ), в міську атмосферу [91, 108, 131]

Розрахунок розсіювання сірководню в досліджуваному районі показав що в найближчій точці житлової забудови, концентрація сірководню дорівнює  $0,013 \text{ мг/м}^3$ , що в 1,59 раз перевищує  $\text{ГДК}_{\text{м.р}}$ .

Якщо на даному об'єкті впровадити теплонасосне обладнання та знизити температуру стічної води на  $5-7 \text{ }^\circ\text{C}$ , то накопичення сірководню в підсклепіневому просторі знизиться відповідно до наших розрахунків (розділ 3) приблизно на 51%, тобто до  $10 \text{ мг/м}^3$ . Розрахунок розсіювання сірководню, що викидається з цієї шахти після застосування теплового насоса на ділянці, наведено в табл. 4.3 та на рис. 4.5.



Таблиця 4.3 - Вихідні дані для розрахунку розсіювання сірководню в міську атмосферу від каналізаційної шахти №11 (Колектор ХТЗ) після застосування теплового насоса для зниження температури стічних вод

Джерело викиду	Параметри джерела викиду		Характеристика газо-повітряної суміші			Концентрація $H_2S$ , $mg/m^3$		Потужність, $g/s$	Координати точки, найближчої до житлової зони	
	висота, м	діаметр, м	Об'єм ППС, $m^3/sec$	швидкість, $m/s$	температура, $^{\circ}C$	в трубопроводі	на виході з шахти		X, м	Y, м
Шахта №11	0,05	0,7	0,23	0,6	18	10,5	5,5	0,00135	83	-42

Як видно, розрахунок розсіювання сірководню в досліджуваному районі свідчить, що в найближчій точці, яка знаходиться в житловій забудові, концентрація сірководню дорівнює  $0,0063 mg/m^3$ , що не перевищує  $ГДК_{м.р.}$  (0,79 часток  $ГДК$ ). Таким чином, впровадження теплонасосного обладнання дозволить знизити рівень екологічної небезпеки газоподібних викидів з КМ на даній ділянці та довести концентрацію сірководню в цих викидах до нормативно допустимих значень.



Рисунок 4.5 - Карта розсіювання сірководню, що викидається з каналізаційної шахти №11 (Колектор ХТЗ), в міську атмосферу після застосування теплового насоса для зниження температури стічних вод [91, 108, 131]

## 4.5 Експлуатаційні характеристики дегазаційних установок на каналізаційних мережах м. Харкова

### 4.5.1 Досвід застосування дегазаційних установок на каналізаційних мережах м. Харкова

Дегазатори використовуються для очищення екологічно небезпечних газоподібних викидів, що утворюються на різних технічних об'єктах. Принцип роботи дегазаційних установок заснований на адсорбції газоподібних сполук різними адсорбентами. Як адсорбент в промислових дегазаторах найбільш широко використовується активоване вугілля або туф. У 2012-2014 рр КП «Харківводоканал» було встановлено декілька дегазаторів на каналізаційних шахтах. Два дегазатори встановлені на шахтах №4 та 12 на досліджуваній ділянці колектора ХТЗ (рис. 4.6) [132 - 136].



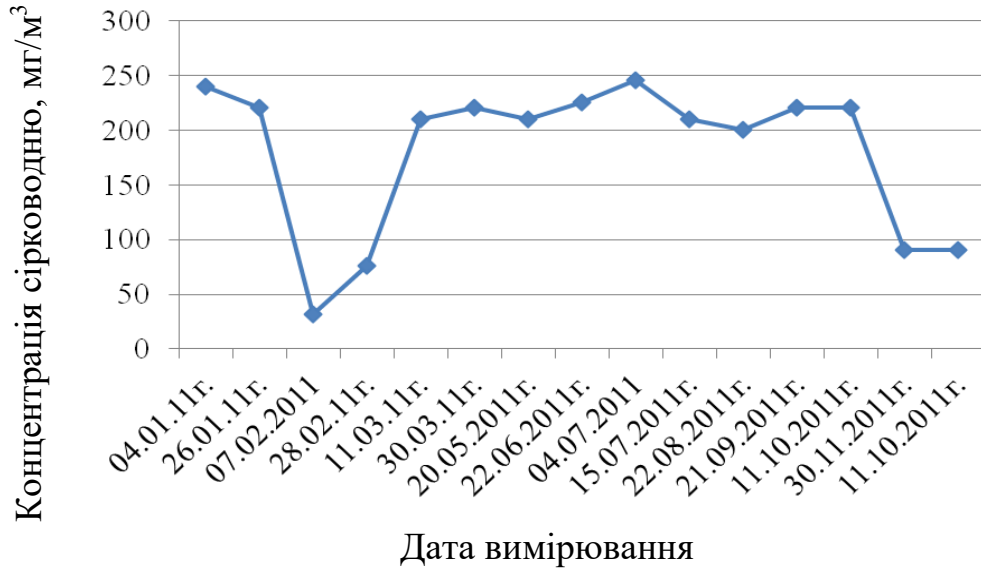
Шахта №4



Шахта №12

Рисунок 4.6 – Дегазаційні установки на шахтах колектора ХТЗ [132 - 136]

Динаміка концентрації сірководню в газоповітряному середовищі підземного простору каналізаційного трубопроводу за період 2011-2013 рр. на каналізаційній шахті №12 колектора ХТЗ приведена на рис. 4.7.



а)



б)



в)

Рисунок 4.7 - Динаміка викидів сірководню в підсклепіневий простір каналізаційного трубопроводу за період 2011-2013 рр. каналізаційної шахти №12 колектора ХТЗ: а – 2011 р., б – 2012 р., в – 2013 р.

Як видно з рис. 4.7, концентрації сірководню в газоповітряному середовищі підсклепіневого простору колектора перевищують ГДК<sub>р.з.</sub> в 25-30 разів. Житлова забудова знаходиться на відстані приблизно 50 м від шахти. Для забезпечення ЕБ атмосфери необхідно було вживати термінові заходи з очищення викидів з каналізаційної шахти. Екологічно безпечна зона по концентрації сірководню в атмосфері - на відстані приблизно 200 м. Застосування дегазатора дозволило на 98-100% знизити концентрацію сірководню в викиді з каналізаційної шахти в міську атмосферу та довести її до рівня нормативних вимог.

Недоліком даного методу очищення газоподібних викидів є необхідність періодичної регенерації адсорбенту, а також його висока вартість [132 - 136].

#### 4.6 Еколого-економічна оцінка використання теплонасосного обладнання для зменшення газоподібних викидів з каналізаційних мереж

Для еколого-економічної оцінки застосування теплонасосного обладнання на КМ для зниження викидів екологічно небезпечних газів, розрахували наступні показники:

- зменшення збитків, викликаних викидами сірководню з КМ;
- зменшення викидів парникових газів за рахунок економії природного газу в результаті переведення технічного об'єкта КМ на альтернативне джерело опалення.

Розрахунок проводився питома на одну шахту.

##### 4.6.1 Еколого-економічна оцінка збитку, заподіяного викидами сірководню з каналізаційних мереж

Розрахунок розміру компенсації збитків за наднормативні викиди сірководню з КМ м. Харкова

Розрахунок проводили на основі розміру мінімальної заробітної плати з урахуванням обсягу наднормативної величини викиду сірководню та регулюючих коефіцієнтів [137]. Розмір компенсації збитків в одиницях національної валюти (грн) визначається за формулою (4.3):

$$Z_c = M_c \cdot 1,1\P \cdot A_c \cdot K_T \cdot K_{Z_c} \quad (4.3)$$

де  $Z_c$  – розмір компенсації збитку, нанесеного газоподібними викидами, грн;

$M_c$  – маса сірководню, що викидається в атмосферу з каналізаційних систем наднормативно, т;

$1,1\P$  – розмір мінімальної заробітної плати ( $\Pi$ ) на момент виявлення порушення за одну тону умовної забруднюючої речовини, помноженої на

коефіцієнт (1,1), грн/т, (З 01.12.16 р. розмір мінімальної заробітної плати становить 1600 грн [138]);

$A_c$  – безрозмірний показник відносної небезпеки сірководню;

$K_T$  – коефіцієнт, що враховує територіальні соціально-екологічні особливості;

$K_{3c}$  – коефіцієнт, що залежить від рівня забруднення атмосферного повітря населеного пункту сірководнем.

4.6.2 Розрахунок маси сірководню, що викидається в атмосферне повітря з каналізаційних мереж наднормативно

При перевищенні тимчасово узгоджених викидів, виявлених шляхом інструментальних вимірювань і даних первинної облікової документації шахт систем водовідведення м. Харкова зафіксовано середню концентрацію сірководню в атмосфері підсклепіневого простору на одну шахти  $36,86 \text{ мг/м}^3$ . Для розрахунку потужності викиду сірководню з каналізаційної шахти використовували такі параметри: об'ємна витрата –  $0,23 \text{ м}^3/\text{с}$ , діаметр шахти –  $0,7 \text{ м}$ , швидкість течії стічних вод у колекторі –  $0,6 \text{ м/с}$ , середня глибина (яка в розрахунках приймається за висоту шахти) –  $10 \text{ м}$ . Згідно наведених параметрів та залежності (рис. 4.1) [108] зниження відносної концентрації сірководню в газоповітряному середовищі від глибини шахти, концентрація сірководню на виході з шахти становить  $45\%$ . Потужність викиду сірководню з каналізаційної шахти становить  $0,0047 \text{ г/с}$ .

Тимчасово погоджений викид сірководню з шахт каналізаційних колекторів становить:  $M_{\text{H}_2\text{S}} = 0,0184 \cdot 10^{-3} \text{ г/с}$ .

Система водовідведення працює 24 години на добу та 365 днів на рік. За даними зафіксованих вимірювань неодноразово виявлялося перевищення тимчасово погодженого нормативу по даному джерелу викиду сірководню. У такому випадку термін роботи джерела в режимі наднормативного викиду береться не більше ніж за один астрономічний рік. Таким чином, час роботи джерела в режимі наднормативного викиду становить  $T = 24 \times 365 = 8760 \text{ год}$ .

Потужність викиду сірководню, який здійснюється з перевищенням тимчасово погоджених нормативів, розраховували за формулою (4.4):

$$M_c = 0,0036 \cdot (V_{г.с.} \cdot C_{срH_2S} - M_{норм.}) \cdot T \quad (4.4)$$

де 0,0036 – коригуючий коефіцієнт;

$V_{г.с.}$  – об'ємна витрата газової суміші, 0,23 м<sup>3</sup>/с;

$C_{срH_2S}$  – середня концентрація сірководню в газовій суміші з серії відібраних проб, 0,03686 г/м<sup>3</sup>;

$M_{норм.}$  – тимчасово узгоджений викид сірководню,  $0,000224 \cdot 10^{-3}$  г/с;

$T$  – час роботи джерела з перевищенням тимчасово погодженого викиду, 8760 ч.

Таким чином, за формулою 4.4:

$$M_c = 0,0036 \cdot (0,23 \cdot 0,03686 - 0,000224 \cdot 10^{-3}) \cdot 8760 = 0,0053 \text{ т/рік,}$$

Безрозмірний показник відносної небезпеки сірководню ( $A_c$ ) визначається за такою формулою 4.5:

$$A_c = \frac{1}{ГДК_{м.р.H_2S}} \quad (4.5)$$

де  $ГДК_{м.р.}$  – середньодобова гранично допустима концентрація сірководню, мг/м<sup>3</sup>;  $ГДК_{м.р.} = 0,008$  мг/м<sup>3</sup> [139].

$$A_c = \frac{1}{0,008} = 125$$

Коефіцієнт, що враховує територіальні соціально-екологічні особливості ( $K_T$ ), в залежності від чисельності жителів населеного пункту, його народногосподарського значення та розраховується за такою формулою 4.6:

$$K_T = K_{нас.} \cdot K_{ф} \quad (4.6)$$

де  $K_{\text{нас.}}$  – коефіцієнт, що залежить від чисельності жителів населеного пункту [146];

$K_{\text{ф}}$  – коефіцієнт, що враховує народногосподарське значення населеного пункту [137];

Приймаємо  $K_{\text{нас.}}=1,80$ , а  $K_{\text{ф}}=1,25$ .

Таким чином, за формулою (4.6):

$$K_{\text{т}}=1,80 \cdot 1,25=2,25$$

Коефіцієнт, що залежить від рівня забруднення атмосферного повітря населеного пункту сірководнем ( $K_{\text{зс}}$ ), при відсутності в м. Харкові інструментальних вимірювань концентрації сірководню в атмосфері приймаємо рівним одиниці.

Розрахунок розміру компенсації збитків за перевищення тимчасово погоджених викидів сірководню з однієї шахти:

$$Z_c = 0,0053 \cdot 1,1 \cdot 1600 \cdot 125 \cdot 2,25 \cdot 1 = 2623,5 \text{ грн}$$

Оскільки з 62 каналізаційних шахт м. Харкова, які контролюються хімічною лабораторією КП «Харківводоканал», на 13 шахтах є істотне перевищення тимчасово погодженого нормативу викиду сірководню, з огляду на потужність загального перевищення тимчасово погодженого викиду сірководню в м. Харкові, сумарний компенсаційний збиток складе:

$$Z_{\text{сз}}=13 \cdot 2623,5 = 34105,5 \text{ грн.}$$

4.6.3 Визначення суми податку за викиди сірководню в атмосферне повітря з шахт каналізаційних мереж м. Харкова

Формула для розрахунку суми податку, який справляється за викиди в атмосферне повітря має вигляд [140]:

$$P_{\text{сз}} = \sum_{i=1}^n (M_i \cdot H_{ni}) + Z_c \quad (4.7)$$



де  $M_i$  – фактичний обсяг викиду  $i$ -тої забруднюючої речовини в тоннах (т) (за попередніми даними  $M_{H_2S} = 0,0053$  т/рік;

$H_{pi}$  – ставки податку в поточному році за тону  $i$ -тої забруднюючої речовини у гривнях з копійками [140];

Розмір податку за викиди сірководню в атмосферне повітря з шахт КМ м. Харкова (розрахунок збору з однієї шахти) за формулою 4.7 дорівнює:

$$P_{BC} = (0,0053 \cdot 7086,02) + 2623,5 = 2999,5 \text{ грн.}$$

Відповідно для 13 шахт каналізаційних колекторів у м Харкова  $P_{BC}$  становитиме:

$$P_{BC\Sigma} = 13 \cdot 3000 = 38993,5 \text{ грн.}$$

Для зменшення економічних витрат, а також для зменшення шкоди, що завдається навколишньому середовищу особливу увагу необхідно приділити наднормативним викидам сірководню в атмосферне повітря з КМ м. Харкова та здійснювати необхідні заходи щодо зменшення викидів сірководню з КМ.

#### 4.6.4 Еколого-економічна оцінка використання теплових насосів на каналізаційних мережах

Теплові насоси є екологічно чистим методом теплопостачання, оскільки, при їх експлуатації в атмосферу не викидаються екологічно небезпечні газоподібні речовини. Теплонасосне обладнання є альтернативою котельним, при роботі яких в атмосферу надходять екологічно небезпечні речовини у вигляді твердих частинок (зола і сажа), а також газоподібні токсичні речовини: оксиди сірки, азоту, вуглецю ( $SO_2$ ,  $SO_3$ ,  $NO_x$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ ), фтористі з'єднання, вуглеводні ( $CH_4$ ,  $C_2H_4$ ), а також канцерогенні вуглеводні, наприклад бенз-а-пірен та ін.  $CO_2$ ,  $NO_x$  є газами парникової дії.

В даний час теплопостачання технічних об'єктів КМ м. Харкова здійснюється в основному від газових котельень, або за договором з КП «Харківські теплові мережі». Впровадження теплонасосного обладнання технічно можливо

здійснювати як на напірних, так і на самопливних ділянках КМ. Доцільно застосовувати такі технічні рішення на ділянках, де відбувається найбільш потужний викид екологічно небезпечних газоподібних сполук. Як приклад розрахунку еколого-економічного ефекту від застосування теплового насоса був обраний комплекс споруд служби мереж КП «Харківводоканал» по вул. Моїсеївська, 32 (район розміщення шахти №4, колектор Північної групи заводів). Теплопостачання даного об'єкта здійснюється від газових котелень, які мають потужність - 540кВт (з урахуванням нових корпусів, що вводяться в експлуатацію навантаження об'єкта в перспективі зростає до 650кВт). Для переведення джерел тепла на теплонасосні системи, об'єкт у своєму розпорядженні біля джерела низькопотенційного тепла (стічні води) більш ніж достатньої потужності.

При проведенні попередньої оцінки економічної ефективності передбачуваної реконструкції порівнювалися витрати на енергоносії для розрахункового опалювального періоду та розрахункові теплові навантаження об'єктів.

У табл. 4.4 наведені річні витрати на енергоресурси зазначеного об'єкта для розрахункового опалювального періоду при розрахункових навантаженнях об'єкта відповідно 650кВт.

Таблиця 4.4 - Розрахунок від впровадження тепло насосного обладнання комплексу споруд служби мереж по вул. Моїсеївська, 32

Газова котельня						
Витрата тепла, кВт·ч, ( $Q_{теп}$ )	Вартість тепла, грн, ( $C_{теп.г.к.}$ )	Витрата газу, м <sup>3</sup> расч/средн., ( $Q_{газ}$ )	Викиди парникових газів (ПГ), т/рік (середні), (W)	Вартість викидів ПГ, грн, ( $C_W$ )	Викиди сірководню з шахти в районі розміщення об'єкту, т/рік	Вартість викидів сірководню, грн/рік
1452100	1928389	177 518	84,93	22931	0,0053	38993,5
		134 807				
Тепловий насос						
Витрата ел. ен., кВт·ч, ( $Q_{ел.}$ )	Вартість ел. ен., грн, ( $C_{ел.}$ )	Викиди ПГ, т/рік (W)	Викиди сірководню, т/рік	Вартість викидів ПГ, грн, ( $C_W$ )	Вартість викидів сірководню, грн/рік	Загальна економія, грн, (E)
363 025	576847	0,0	0,0026	0,0	19496,75	1393969

Оцінку проводили за таких умов:

– тариф на теплову енергію на листопад 2015 р. становив 1 Гкал = 1544,48 грн/Гкал (1,328 грн/кВт·год).

– тариф на електроенергію - 1,589 грн/кВт·год. Згідно "Умов та Правил здійснення підприємницької діяльності з постачання електричної енергії за регульованим тарифом АК«Харківобленерго» для споживачів з 1 листопада 2016 р. роздрібних тарифів (крім населення) відповідно до постанови Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сфері електроенергетики від 22 січня 2001 р. № 47 , від 28 серпня 2015 р. № 2214 складе 158,94 коп /кВт·год [141].

– вартість викидів ПГ становить 270 грн/т (10 Євро) [142];

– розрахунок очікуваних скорочень викидів (ОСВ) ПГ здійснювався за формулою, рекомендованою Центром економічних досліджень [115, 121, 143, 144]:

$$\text{ОСВ (т CO}_2\text{ - екв)} = 0,63 \cdot V, \quad (4.8)$$

де  $V$  – середньорічний обсяг спожитого газу за період 2013-2015 рр, тис. м<sup>3</sup>.

Розрахункова витрата тепла та газу для об'єкта по вул. Моїсеївська, 32 прийнята з урахуванням підвищення навантаження з 540 до 650кВт.

Вартість тепла та електроенергії розраховували за формулою відповідно до тарифів:

$$P = V \cdot N \quad (4.9)$$

де  $V$  – витрата тепла, кВт·год/рік;

$T$  – тарифи на теплову енергію та електроенергію відповідно 1,328 грн/кВт·год. та 1,589 грн/кВт·год.

$$P_{\text{газ.кот}} = 1452100 \cdot 1,328 = 1928389 \text{ грн}$$

$$P_{\text{т.насос}} = 363025 \cdot 1,589 = 576847 \text{ грн}$$

Вартість викидів ПГ розраховуємо за формулою:

$$P = W \cdot K, \quad (4.10)$$

де  $W$  – середній обсяг викидів ПГ, т/рік;

$K$  – вартість викидів ПГ становить 270 грн/т.

$$P = 84,93 \cdot 270 = 22931 \text{ грн}$$

Як видно з даних табл. 4.8, використання теплонасосного обладнання на даному об'єкті дозволить запобігти викиду ПГ в  $\text{CO}_2$  – екв на 84 т/рік, в вартісному вираженні економія складе 22931 грн/рік. Викиди сірководню з каналізаційної шахти об'єкта згідно попереднім розрахункам, знизиться на 50 %. Оскільки в межах дії ефекту охолодження стічних вод (500 м) на колекторі знаходиться 13 шахт, розмір компенсації збитків за понаднормові викиди сірководню на даній ділянці каналізаційної мережі становить 19496,75 грн.

Загальна економія (чистий дохід підприємства) розрахований як сума економії на паливі при роботі котельні, вартості викидів ПГ, величини податку за викид сірководню з каналізаційних шахт в атмосферне повітря та складе 1393969 грн.

Витрати на перехід об'єкта по вул. Мойсеївська, 32 наведені на підставі виконаної проектно-кошторисної документації.

4.6.5 Основні показники економічної ефективності природоохоронних заходів з використанням теплових насосів

При вирішенні природоохоронних проблем важливо визначити економічну ефективність, яка вимірюється співвідношенням результатів від реалізації проекту або заходу та витратами на його здійснення [145 - 154]. Основним ре-

зультатом реалізації природоохоронного заходу є запобігання забруднення навколишнього середовища, додатково може бути одержано приріст прибутку за рахунок реалізації отриманої продукції з відходів основного виробництва або безпосередньо реалізації відходів іншому підприємству для подальшої обробки.

Ефект від проведення природоохоронних заходів складається з ефекту, який проявляється в галузі та ефекту від зменшення шкоди, яка завдається навколишньому середовищу. Розрізняють первинний ефект та кінцевий комплексний соціально-економічний ефект від природоохоронних заходів. Первинний ефект полягає в зниженні забруднення навколишнього середовища та поліпшення його стану. Він проявляється в зниженні обсягів забруднень та концентрацій шкідливих домішок. З огляду на необхідність поєднання економічних та екологічних інтересів підприємств, первинний ефект слід виражати безпосередньо у вигляді збільшення продукції, випущеної без порушення екологічних норм. Кінцевий ефект виражається в підвищенні рівня життя населення, ефективності виробництва. При цьому економічні результати виявляються як приріст чистої продукції, зниження втрат сировини та матеріальних ресурсів, економія витрат у невиробничій сфері, зниження витрат з особистих коштів [145 - 154].

Як показник економічної ефективності підприємства можна використовувати рентабельність природоохоронного заходу. Результати реалізації природоохоронних заходів можна виражати в показниках зниження собівартості продукції або зниження виплат з прибутку. Поряд з рентабельністю для оцінки економічної ефективності природоохоронних заходів використовують показник терміну окупності, який розраховується як зворотне відношення до рентабельності.

Якщо використовувати фактор часу при розрахунку економічної ефективності, то тоді можна отримати показник чистого дисконтованого доходу (ЧДД або NPV). Якщо значення ЧДД позитивний, то інвестиції ефективні при даній нормі дисконту. При порівнянні проектів, чим більше значення ЧДД, тим привабливіший інвестиційний проект. Якщо  $\text{ЧДД} = 0$ , то це говорить про те, що

витрати дорівнюють доходам. Якщо ЧДД менше 0, то це говорить про те, що капіталовкладення не принесли належного ефекту, тобто не окупляться. Таким чином, чим більше ЧДД, тим ефективніше проект. Якщо інвестиційний проект буде здійснений при негативному ЧДД, то проект буде неефективний.

У загальному вигляді ЧДД відображає абсолютну величину економічного ефекту від реалізації інвестицій [150 - 154]:

$$NPV = \sum_{t=0}^N \frac{CF_t}{(i+1)^t} = -IC + \sum_{t=1}^N \frac{CF_t}{(i+1)^t}. \quad (4.11)$$

де  $CF$  – грошовий потік, грн.;

$i$  – ставка дисконту, %;

$t$  – відповідний рік проекту;

$N$  – термін служби проекту;

$-IC$  – початкові інвестиції, грн.

Величина грошового потоку складається з чистого доходу підприємства та амортизаційних відрахувань. Амортизаційні відрахування визначаємо прямолінійним методом при нормативному терміні експлуатації 30 років та розраховуємо за формулою 4.12:

$$A = \frac{Ba}{T}, \quad (4.12)$$

де  $Ba$  – вартість, яка амортизується, грн.;

$T$  – нормативний термін експлуатації, років.

Кошторисна вартість теплонасосного устаткування становить 2900000 грн. Тоді річна сума амортизаційних відрахувань становить:

$$A = \frac{2900000}{30} = 96672 \text{ грн}$$

Розрахунок грошового потоку:

$$ГП = 1393969 + 96670 = 1490639 \text{ грн.}$$

Розрахувавши чистий грошовий потік, включаючи загальну величину економії та амортизаційні відрахування, необхідно провести його дисконтування за допомогою коефіцієнта дисконтування. Коефіцієнт дисконтування прийmemo на рівні 20%, як середньоарифметична ставка по депозитах в банках Харківського регіону (станом на 31.03.2016 р.) (табл. 4.5).

Таблиця 4.5 - Процентні ставки за депозитами в м. Харкові [155]

№	Банк	Ставка за депозитом
1	Банк Форвард	24,00
2	Вернум Банк	23,00
3	Альфа-Банк	21,00
4	ВТБ Банк	20,50
5	Приват Банк	20,00
6	Пиреус Банк	20,00
7	Укргазбанк	19,00
8	ПУМБ	18,50
9	ОТП Банк	17,50
10	Ощадбанк	17,50
11	УкрСиббанк	16,50

Ставка дисконтування становить:

$$i = \frac{24 + 23 + 21 + 20,5 + 20 + 20 + 19 + 18,5 + 17,5 + 17,5 + 16,5}{11} = 20(\%). \quad (4.13)$$

Розрахуємо дисконтований грошовий потік (ДГП) ( $\Sigma FV$ ) за 5 років при ставці 20%:

$$FV = 1490639 / (1 + 0,20)^1 + 1490639 / (1 + 0,20)^2 + 1490639 / (1 + 0,20)^3 + 1490639 / (1 + 0,20)^4 + 1490639 / (1 + 0,20)^5 = 4457932 \text{ грн}$$

Чиста поточна вартість:

$$NPV = 4457932 - 2900000 = 1557923 \text{ грн.}$$

Виходячи з цього критерію, проект вигідний для його здійснення, так як величина чистого грошового доходу позитивна.

Наступним показником оцінки ефективності інвестицій є індекс прибутковості (ІД). Він розраховується за формулою 4.14:

$$ІД = ДГП / ІС \quad (4.14)$$

$$ІД = 4457932 / 2900000 = 1,54 > 1$$

Згідно даного критерію, інвестиційний проект вигідний при значенні  $ІД > 1$ , тому запропонований проект необхідно прийняти до реалізації [156, 157].

При оцінці ефективності інвестиційних проектів розраховується термін окупності проекту по формулі 4.15:

$$T_{ок} = ІС / ДГП_{ср}, \quad (4.15)$$

де  $ДГП_{ср}$  – середньорічна величина грошового потоку, грн.

Середньорічна величина грошового потоку розраховується за такою формулою (4.16):

$$ДГП_{ср} = \sum ДДП / t \quad (4.16)$$

$$ДДП_{ср} = 4457932 / 5 = 891586 \text{ грн}$$

$$T_{ок} = 2900000 / 891586 = 3,25 \text{ роки.}$$

Основні показники, що характеризують ефективність впровадження заходу представлені в табл. 4.6.



Таблиця 4.6 - Фінансові результати проекту, тис. грн.

Показатели	Значения
Дисконтований грошовий потік $\sum ДДП_t$ , тис.грн.	4458
Сума капіталовкладень на реалізацію проекту $\sum IC$ , тис.грн.	2900
Чиста поточна вартість ЧДД, тис.грн.	1558
Індекс рентабельності (прибутковості) інвестицій, ІД	1,54
Середньорічний дисконтований потік $\overline{ДДП_t}$ , тис.грн.	892
Термін окупності інвестицій, років	3,25

Як видно з даних табл. 4.6, термін окупності інвестицій становить 3,25 роки, що набагато нижче ефективного терміну експлуатації пропонованого обладнання - 30-50 років. Виходячи з проведених розрахунків, впровадження нового проекту ефективно, проект окупиться за 3,25 року, ЧДД є позитивним, що підтверджується графічно (рис. 4.8).

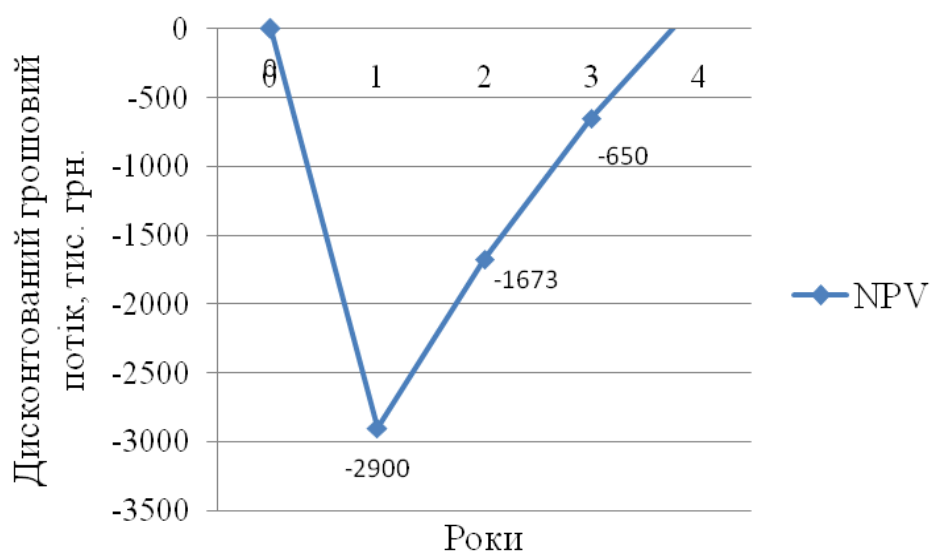


Рисунок 4.8 - Графічне відображення дисконтування грошових потоків, тис. грн.

## Висновки до розділу 4

1. Розроблено метод розрахункового визначення концентрації  $H_2S$  в газоподібному викиді на виході з каналізаційної шахти на підставі даних вимірювання концентрації  $H_2S$  в підсклепіневому просторі каналізаційного колектора.
2. Виконано розрахунок концентрацій  $H_2S$  в газоподібних викидах на виході з усіх 62 контрольних каналізаційних шахт м. Харкова за даними багаторічного контролю вмісту  $H_2S$  в підсклепіневому просторі відповідних каналізаційних колекторів.
3. Розраховано розсіювання та побудовані ізолінії концентрацій сірководню в міській атмосфері від всіх 62 контрольних каналізаційних шахт м. Харкова.
4. На підставі проведених розрахунків встановлено три найбільш екологічно небезпечних каналізаційних колектора м. Харкова за викидами  $H_2S$ . Як об'єкт подальших натурних досліджень обрана ділянка колектора ХТЗ з 6 шахтами. Як показали дослідження, викиди  $H_2S$  з шахт №№ 4, 11, 12 цього колектора створюють екологічно небезпечне газоподібне середовище в житловій забудові. Проведено розрахунок розсіювання для шахти №11, житлова забудова знаходиться на відстані менш ніж 50 м від шахти. Розрахунок показав, що на кордоні житлової забудови концентрація  $H_2S$  в атмосфері перевищує в 1,59 рази  $ГДК_{м.р.}$ .
5. Розглянуто ефективність різних заходів по зменшенню викиду  $H_2S$  з КМ на ділянці колектора ХТЗ: зниження температури стічних вод при установці теплонасосного обладнання та установка на шахті дегазатора.
6. Проведено еколого-економічний аналіз впровадження теплонасосного обладнання для зниження викиду газоподібних речовин з каналізаційних мереж з урахуванням плати за нормативний та наднормативний викид сірководню, а також за непрямим показником - зниження викиду ПГ в результаті переходу технічного об'єкта на альтернативне джерело теплопостачання. Проведено розрахунок економічної ефективності проекту. Термін окупності – 3,25 роки.

## РОЗДІЛ 5

РОЗРОБКА МЕТОДОЛОГІЧНОГО ТА ІНФОРМАЦІЙНОГО  
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ І  
ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ ШАХТ КАНАЛІЗАЦІЙНИХ МЕРЕЖ

Рішення проблем, пов'язаних з екологічно безпечною експлуатацією мереж водовідведення, обумовлено збільшенням протяжності КМ, інтенсивним зростанням міст і населених пунктів, підвищенням вимог до показників їх благоустрою і комфорту, а також розвитком промисловості та збільшенням обсягу промислових стічних вод. Газоподібні сполуки, що виділяються в процесі водовідведення в різні середовища КМ та споруд на них, створюють загрозу ЕБ та експлуатаційній надійності для жителів населених місць. Служби експлуатації КМ потребують ефективної системи моніторингу газоподібних сполук для отримання оперативної інформації як про стан КМ в цілому по місту, так і про конкретні їх ділянки, а також і прогнозування. До того ж, одержуваному великому обсягу важливої інформації необхідна швидка обробка. Тому створення і впровадження нових комп'ютерних технологій та інформаційних систем в області ЕБ та експлуатаційної надійності КМ великих міст України є актуальним завданням. Створення та удосконалення існуючих систем моніторингу КМ шляхом розширення контролю показників ЕБ є одним з пріоритетних напрямків в області життєзабезпечення населення та ЕБ країни.

Інформаційні технології дозволяють систематизувати накопичені дані, які довгі роки зберігалися на паперових носіях, автоматично створювати звіти про динаміку показників, картувати, здійснювати облік об'єктів каналізаційного господарства, встановлювати пріоритетність об'єктів водовідвідної мережі, де необхідне впровадження природоохоронних заходів, прогнозувати їх аварійність і експлуатаційну надійність та ін. [158 - 165].

## 5.1 Методологічні основи встановлення класів екологічної небезпеки ділянок каналізаційних мереж та визначення пріоритетності впровадження природоохоронних заходів

В даний час єдиний підхід до класифікації ділянок КМ за вмістом в стічній воді, атмосфері підсклепіневого простору на ділянці та викиду через шахти і колодязі екологічно небезпечного сірководню до атмосфери міських регіонів відсутній. Виходячи з цього, актуальним завданням є розробка методики визначення класу екологічної небезпеки окремих ділянок КМ за критерієм викиду  $H_2S$  з шахт/колодязів КМ, на прикладі м. Харкова.

Передбачається встановлювати клас екологічної небезпеки шахт/колодязів на підставі кількісного визначення екологічних та експлуатаційних характеристик кожної шахти/колодязя: відстані від шахти до житлової забудови, концентрації  $H_2S$  в стічній воді, концентрації  $H_2S$  в атмосфері підсклепіневого простору колектора, концентрації  $H_2S$  на виході з шахти, глибина дифузії біогенної сірчаної кислоти в бетон, швидкості корозії бетону склепіневої частини. На підставі аналізу цих даних виділено чотири класи небезпеки каналізаційних шахт для міської атмосфери, представлені на рис. 5.1.

Клас небезпеки	Ступінь небезпеки
I	надзвичайно небезпечна шахта
II	високонебезпечна шахта
III	помірно небезпечна шахта
IV	малонебезпечна шахта

Рисунок 5.1 - Класи екологічної небезпеки шахти/колодязя КМ

Ключовим фактором у класифікації є ЕБ населення та рівень забруднення саме на території житлової забудови. Як показав розрахунок розсіювання в міській атмосфері сірководню на окремих розглянутих ділянках КМ [108], концентрації  $H_2S$  на території житлової забудови перевищує ГДК<sub>м.р.</sub> ( $0,008 \text{ мг/м}^3$ ), що створює загрозу для нормальної життєдіяльності та здоров'я населення, яке проживає в житловій зоні.

Концентрація  $H_2S$  в зоні житлової забудови залежить від різних факторів (концентрації  $H_2S$  в викиді з шахти, швидкості і напрямку вітру, висоти шахти та ін.), з яких найбільш пріоритетним показником представляється відстань до житлової забудови, що дозволяє кількісно узагальнити небезпеку експлуатації КМ для атмосфери житлової забудови [108].

Наступними показниками в запропонованій системі класифікації є концентрація  $H_2S$  в стічній воді та залежні від неї концентрація  $H_2S$  в атмосфері підсклепіневого простору колектора, а також концентрація  $H_2S$  на виході з шахти, тобто в викиді. Активність накопичення  $H_2S$  в стічній воді та в атмосфері каналізаційного колектора впливає на корозійні процеси, що розвиваються на склепіневій частині бетонних колекторів.

Швидкість біогенної сірчаноокислової корозії бетону склепіневої частини каналізаційних колекторів та глибина дифузії біогенної сірчаної кислоти в бетон дуже впливають на ЕБ міського середовища, оскільки є причиною до 75% аварійних ситуацій руйнувань цих конструкцій, що призводять до надзвичайно небезпечних екологічних наслідків, таким як забруднення всіх середовищ: ґрунту, водного середовища, атмосфери та ін. Ці показники кількісно характеризують потенційну екологічну небезпеку процесів в КМ (аварійні обвалення з забрудненням ґрунту та надходження стічних вод в підземний простір населених пунктів) та їх вплив на експлуатаційну довговічність цих об'єктів.

Для розробки нової та удосконалення існуючої системи моніторингу ЕБ та експлуатаційної надійності шахт мереж водовідведення та встановлення класу екологічної небезпеки окремої шахти колодязя використовується усереднене

значення всіх 4 класів з урахуванням значущості окремих показників (табл. 5.1).

Як об'єкт апробації розробленої класифікації були обрані 6 шахт на ділянці колектора ХТЗ, що проходить по Московському проспекту м. Харкова (рік введення в експлуатацію - 1971), на яких проводили необхідні натурні дослідження.

Вимірювання концентрацій  $H_2S$  в атмосфері підсклепіневого простору колектора та в стічній воді на даній ділянці виконувалися самостійно, вимірювання на всіх 62 контрольних шахтах м. Харкова - хімічною лабораторією КП "Харківводоканал". Дані про глибину дифузії біогенної сірчаної кислоти бетону визначали за допомогою корозиметру бетону - приладу, атестованого для використання в Україні. Отримані дані використовували для розрахунку концентрації сірководню в газоподібному викиді та для розрахунку його розсіювання в атмосфері конкретних районів м. Харкова. Всі представлені відомості зберігаються в базі даних інформаційної системи.

Таблиця 5.1 - Ранжування показників для визначення класу екологічної безпеки шахт/колодязів КМ [108]

Показник	Клас			
	I	II	III	IV
Відстань до житлової забудови, м	$\leq 50$	100	150	$\geq 150$
Концентрація $H_2S$ в стічній воді, (мг / дм <sup>3</sup> )	$\geq 30$	10–30	1–10	<1
Концентрація $H_2S$ в атмосфері підсклепіневого простору колектора, (мг/м <sup>3</sup> )	>100	50–100	10–50	1–10
Концентрація $H_2S$ на виході з шахти, (мг/м <sup>3</sup> )	$\geq 10$	5–10	1–5	0,1–1
Глибина дифузії біогенної сірчаної кислоти в залізобетон, (мм)	$\geq 50$	20–50	10–20	1–10
Швидкість корозії в залізобетон, мм/рік	>10	5–10	1–5	<1

У табл. 5.2. представлений перелік екологічних та експлуатаційних показників, параметрів і характеристик даних шахт колектора ХТЗ, на підставі аналізу яких присвоюється клас екологічної небезпеки шахти/колодязя КМ.

У табл. 5.3. представлені результати визначення класу екологічної небезпеки каналізаційних шахт ділянки колектора ХТЗ м. Харкова, розраховані на основі даних табл. 5.2.

Таблиця 5.2 - Перелік параметрів та характеристик каналізаційних шахт колектора ХТЗ

Характеристики	Шахта №4	Шахта №6	Шахта №8	Шахта №10	Шахта №11	Шахта №12
1	2	3	4	5	6	7
<b>Конструктивні характеристики</b>						
Діаметр, м	3,75х 3,5	0,7	0,7	5	0,7	5
Глибина до лотка, м	15	13	12	11,7	8	6,08
Діаметр колектора, мм	1840	1840	1840	1840	1500	1500
<b>Координати розташування</b>						
Адреса	пр. Московський, полклініка ХТЗ	пр. Московський, біля знака «В'їзд заборонено»	-	круг трамвая 23, 26	-	пр. Московський, 256 б
Геокоординати	Ширина 49,953971 Довгота 36.379240	Ширина 49,953047 Довгота 36.386793	Ширина 49,945859 Довгота 36.402514	Ширина 49,939974 Довгота 36.416072	Ширина 49,936629 Довгота 36.423529	Ширина 49,931970 Довгота 36.423186
<b>Характеристики екологічної небезпеки</b>						
Концентрація H <sub>2</sub> S в стічній воді, мг/дм <sup>3</sup>	18,6	12,0	13,0	6,6	8,46	31,0
Концентрація H <sub>2</sub> S в атмосфері підсклепіневого простору колектора, мг/м <sup>3</sup>	103,8	11,82	8	12,3	21	98,3
Концентрація H <sub>2</sub> S в викиді з шахти, мг/м <sup>3</sup>	5,01	1,3	1,8	2,56	8,25	60
Відстань до житлової забудови, м	530	637	222	142	37,1	48,2

1	2	3	4	5	6	7
Концентрація H <sub>2</sub> S в атмосфері на межі житлової забудови, мг/м <sup>3</sup>	0	0	0	0	0,0091	0
Наявність запаху біля шахти	Так	Так	Так	Так	Так	Так
Наявність дегазатора	Так	Ні	Ні	Ні	Ні	Так
Перевищення ГДК <sub>м.р.</sub> H <sub>2</sub> S в атмосфері житлової забудови (0,008 мг/м <sup>3</sup> )	-	-	-	-	1,5 рази	-
Перевищення ГДК <sub>с.д.</sub> H <sub>2</sub> S в атмосфері житлової забудови (0,008 мг/м <sup>3</sup> )	-	-	-	-	1,5 рази	-
Перевищення ГДК <sub>р.з.</sub> H <sub>2</sub> S в колекторі (10 мг/м <sup>3</sup> )	10 разів	1,1 рази	0,2 рази	1,2 рази	2,1 рази	10 разів
Характеристики експлуатаційної надійності						
Глибина дифузії біогенної сірчаної кислоти (мм) в залізобетон	76,07	12,11	14,54	9,13	19,72	84,45
pH плівкової вологи залізобетону	1,98	3,70	3,50	4,10	3,20	1,93
Швидкість корозії, мм/год	2,24	0,36	0,43	0,27	0,58	2,48
Залишковий ресурс, роки	Аварійний стан	9,25	експлуатаційна довговічність згідно ГОСТу на	Аварійний стан	Аварійний стан	Аварійний стан



Таблиця 5.3 - Класи екологічної небезпеки каналізаційних шахт ділянки колектора ХТЗ м. Харкова за всіма показниками

Показник	Назва шахти					
	Шахта №4	Шахта №6	Шахта №8	Шахта №10	Шахта №11	Шахта №12
Відстань до житлової забудови, м	IV	IV	IV	III	I	I
Концентрація H <sub>2</sub> S в стічній воді, (мг / дм <sup>3</sup> )	II	II	II	III	II	I
Концентрація H <sub>2</sub> S в атмосфері підсклепіневого простору колектора, (мг/м <sup>3</sup> )	II	IV	III	III	III	I
Концентрація H <sub>2</sub> S на виході з шахти, (мг/м <sup>3</sup> )	II	IV	IV	IV	II	I
Глибина дифузії біогенної сірчаної кислоти в залізобетон, (мм)	I	III	III	IV	IV	I
Швидкість корозії в залізобетон, мм/рік	III	IV	IV	IV	IV	III

Для визначення класу екологічної небезпеки кожної шахти/колодязя використовували результати застосування правил визначення класу для кожного показника (табл. 5.3). Результати визначення класу екологічної небезпеки досліджених шахт, а також пріоритетність впровадження природоохоронних заходів представлені в табл. 5.4.

Таблиця 5.4 - Класи екологічної небезпеки досліджуваних шахт

Об'єкт	Клас екологічної небезпеки	Пріоритетність
Шахта №4	III	3
Шахта №6	III	3
Шахта №8	III	3
Шахта №10	III	3
Шахта №11	II	2
Шахта №12	I	1

Як видно, найвищий клас екологічної небезпеки має шахта №12. Таким чином, впровадження природоохоронних заходів, спрямованих на зменшення викиду екологічно небезпечного сірководню в атмосферу міста на даних шахтах, повинно проводитися в такій послідовності: шахта № 12, потім шахта №11, після них слід впроваджувати заходи на шахтах № 4-10.

## 5.2 Структура інформаційної системи моніторингу екологічного стану шахт каналізаційних мереж

Інформаційна система дозволяє автоматизувати процес побудови списку пріоритетних за ступенем екологічної небезпеки шахт водовідвідної мережі, що вимагають проведення природоохоронних заходів. Ця система дозволяє на основі об'єктивних показників стану окремої шахти КМ, проводити її візуалізацію з усіма параметрами, що її характеризують для служби експлуатації мереж.

Концептуальна модель інформаційної системи включає в себе функціональні блоки та зв'язки між ними. Основними структурними елементами є (рис. 5.2):

1. База даних - містить параметри та характеристики каналізаційних шахт і мереж;

2. База знань - набір правил визначення класу екологічної небезпеки контрольної шахти/колодязя КМ та пріоритетності впровадження природоохоронних заходів, формалізованих у вигляді процедур та функцій;

3. Клієнтський додаток - комп'ютерна програма, що виконує три основні функції:

- а. управління даними (створення та модифікація об'єктів КМ, збереження властивостей, характеристик, показників, в т.ч. змінюваних в часі);
- б. візуалізація на базі геоінформаційної системи об'єктів КМ, а також їх властивостей;
- с. система підтримки прийняття рішень по класифікації об'єктів КМ за екологічною небезпекою, а також встановлення пріоритетності впровадження природоохоронних заходів.

4. Геоінформаційний модуль у вигляді пошуково-інформаційного онлайн картографічного сервісу «Яндекс. Карти», що надає високу деталізацію географічних об'єктів та безліч різних додаткових сервісів, реалізованих в інформаційній системі [163].

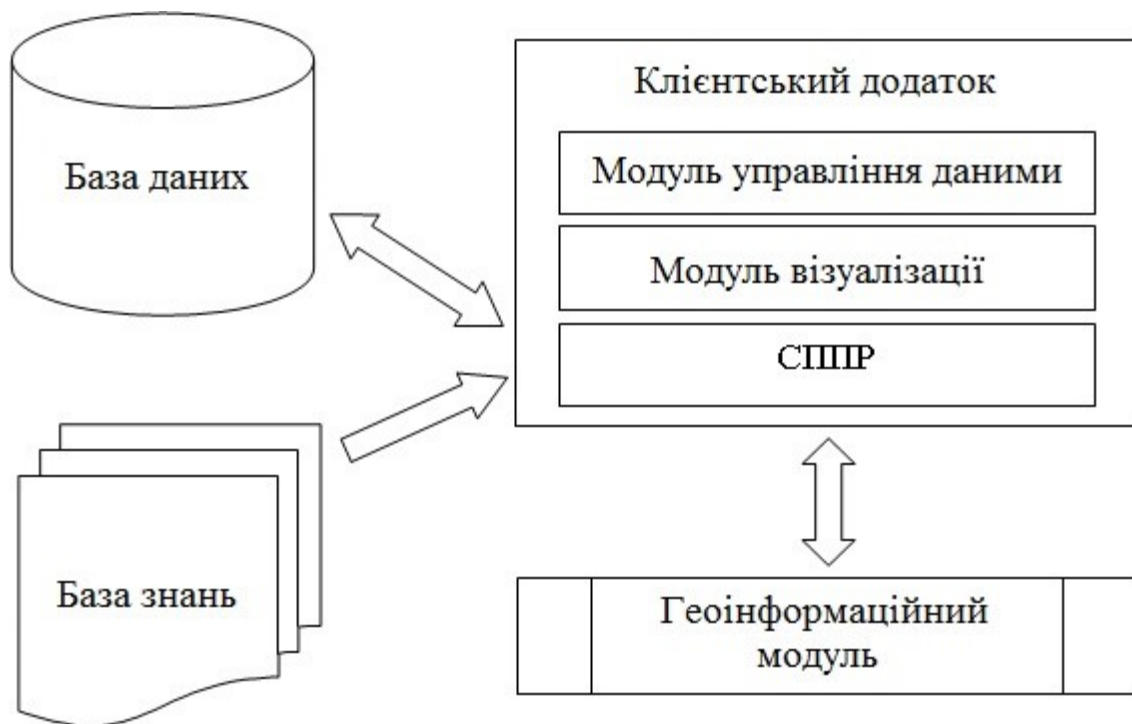


Рисунок 5.2 - Концептуальна модель інформаційної системи [163]

### 5.2.1 База даних інформаційної системи моніторингу екологічного стану шахт каналізаційних мереж

Моніторинг екологічного стану шахт КМ проводиться на основі сукупності даних, що описують різні характеристики аналізованих об'єктів. Обсяг інформації навіть при розгляді невеликого числа ділянок та шахт каналізаційних систем дуже великий, що викликає необхідність систематизувати дані і представити всі характеристики у вигляді єдиної бази даних (банку даних). Для вирішення завдання автоматизації процесу класифікації та оцінки стану об'єктів каналізаційних систем база даних повинна задовольняти вимогам цілісності та несуперечності, дозволяти швидко та ефективно отримувати доступ до даних, а також здійснювати пошук й аналізувати необхідну інформацію по різноманітним характеристикам об'єктів каналізаційних систем.

Основною одиницею для проведення класифікації та аналізу стану ділянки каналізаційного колектора є контрольна шахта цього колектора. Таким чином, основою бази даних є характеристики, що відносяться до контрольної шахти та колектора. Декомпонуємо їх на кілька груп, що продиктовано, в першу чергу, складністю та великою кількістю різноманітних параметрів, а також прагненням спростити пошук й аналіз:

1. Основні дані ділянки - дані про вимірювання концентрації сірководню в різних середовищах (дані про дату вимірювання, значення концентрацій сірководню в атмосфері підсклепіневого простору колектора, концентрація сірководню в стічній воді на ділянці та ін.).

2. Конструктивні дані ділянки - описують конструкцію ділянки (матеріали, дату й тип будівництва і т.д.).

3. Гідравлічні параметри (режими експлуатації, ухил і т.д.).

4. Інші параметри ділянки - додаткові характеристики, що відносяться до контрольної шахти або до каналізаційного колектора.

5. Характеристики шахти - дозволяють зв'язати певну шахту з її географічним положенням за допомогою адреси розташування шахти та її географічних координат.

6. Характеристики ушкоджень - швидкість корозії, глибина дифузії біогенної сірчаної кислоти в бетон конструкцій та ін.

7. Довідкові дані - відомості для опису тих чи інших характеристик, наприклад, кількість витяжних труб, діаметр шахти, глибина шахти, графіки динаміки концентрації сірководню з моменту початку контролю, наявність дегазатора, фотознімки шахти та ін.

Грунтуючись на вищепереліченому, була розроблена структура бази даних, що складається з 4 таблиць (рис.5.3.).

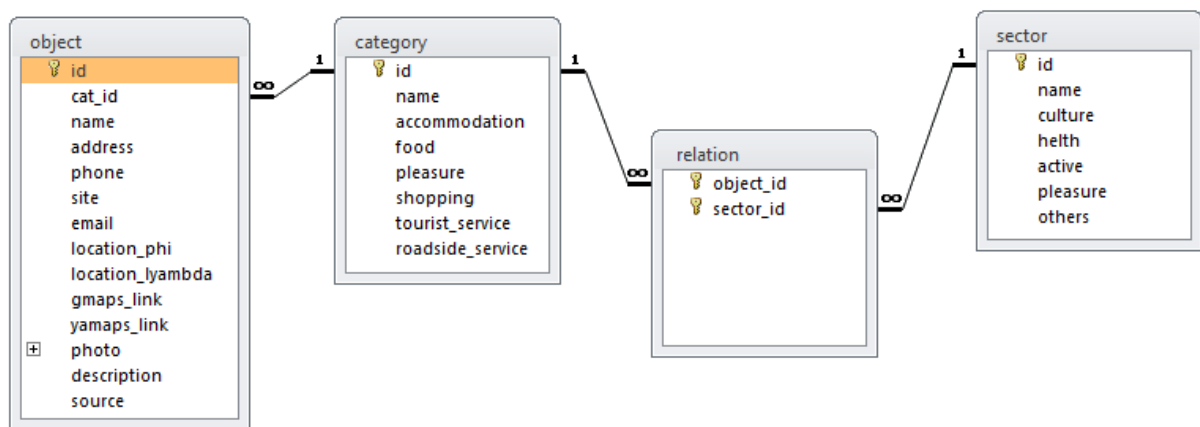


Рисунок 5.3 - Інфологічна модель бази даних

5.2.2 База знань інформаційної системи моніторингу екологічного стану шахт каналізаційних мереж

При визначенні класу стану використовували базу знань, що представляє собою окрему таблицю, яка містить правила класифікації потенційної екологічної небезпеки окремої шахти/колодязя КМ м. Харкова (табл. 5.1, 5.2).

5.2.3 Клієнтський додаток

Клієнтську програму реалізували у вигляді Web-сайту, з використанням різних технологій та рішень. Можливе використання програми без інтернету:

- MySQL - система управління базами даних;
- PHP - скриптова мова, на якій реалізована логіка роботи інформаційної системи;

- HTML + CSS - мова розмітки гіпертексту та каскадних таблиць стилів для візуалізації всіх компонентів програмного забезпечення і формування структури інтерфейсу користувача;
- JQuery - бібліотека JavaScript, що фокусується на взаємодії JavaScript та HTML;
- Bootstrap - фреймворк для розробки адаптивних web-інтерфейсів;
- Ymaps API - програмний інтерфейс для розміщення Яндекс.Карт на сайті, що включає необхідні інструменти геоінформаційного моделювання та візуалізації.

Інтерфейс складається з головного меню, навігаційного блоку з переліком колекторів та шахт, і карти м. Харкова, з нанесеними на неї об'єктами КМ (рис. 5.4.) [108, 158, 159].

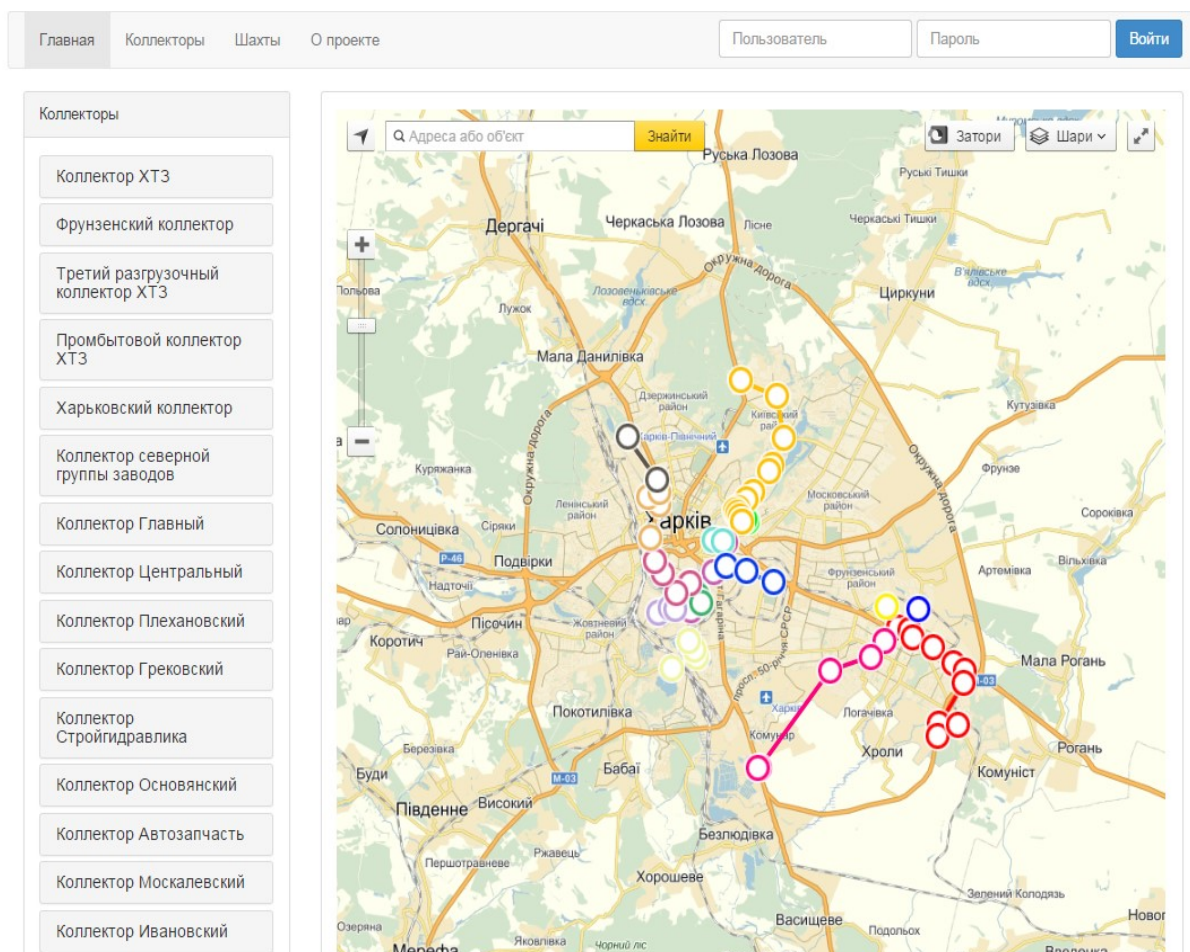


Рисунок 5.4 - Інтерфейс користувача [108]

Модуль управління даними надає доступ до функцій перегляду, створення, модифікації та видалення об'єктів КМ з бази даних (рис. 5.5 - 5.7). Для здійснення цих функцій користувач повинен бути авторизований на сайті й володіти достатніми правами, тобто входити в групу користувачів «інженер».

ID	Название коллектора	Длина, м	Цвет на карте	Последняя модификация	
1	Коллектор ХТЗ	5000	#0000	2015-02-14 19:17:11	<a href="#">Редактировать</a> <a href="#">Удалить</a>
2	Фрунзенский коллектор	5000	0000ff	2015-02-24 11:10:32	<a href="#">Редактировать</a> <a href="#">Удалить</a>
3	Третий разгрузочный коллектор ХТЗ	5000	#0080	2015-02-27 13:41:35	<a href="#">Редактировать</a> <a href="#">Удалить</a>
4	Промышловой коллектор ХТЗ	5000	ffff00	2015-02-27 13:42:56	<a href="#">Редактировать</a> <a href="#">Удалить</a>
5	Харьковский коллектор	5000	00ff00	2015-02-14 19:23:14	<a href="#">Редактировать</a> <a href="#">Удалить</a>
6	Коллектор северной группы заводов	5000	ffc100	2015-02-27 13:43:57	<a href="#">Редактировать</a> <a href="#">Удалить</a>
7	Коллектор Главный	5000	c95caf	2015-02-27 13:44:26	<a href="#">Редактировать</a> <a href="#">Удалить</a>
8	Коллектор Центральный	5000	6de1d2	2015-02-27 13:45:47	<a href="#">Редактировать</a> <a href="#">Удалить</a>
9	Коллектор Плехановский	5000	0037aa	2015-02-27 13:46:25	<a href="#">Редактировать</a> <a href="#">Удалить</a>
10	Коллектор Грековский	5000	9a3226	2015-02-27 13:47:46	<a href="#">Редактировать</a> <a href="#">Удалить</a>
11	Коллектор Стройгидравлика	5000	3ab06c	2015-02-27 13:48:33	<a href="#">Редактировать</a> <a href="#">Удалить</a>
12	Коллектор Основнянский	5000	f1f69c	2015-02-27 13:49:10	<a href="#">Редактировать</a> <a href="#">Удалить</a>
13	Коллектор Автозапчасть	5000	bfa6df	2015-02-27 13:50:06	<a href="#">Редактировать</a> <a href="#">Удалить</a>
14	Коллектор Москалевский	5000	d45387	2015-02-27 13:50:54	<a href="#">Редактировать</a> <a href="#">Удалить</a>
15	Коллектор Ивановский	5000	ecb562	2015-02-27 13:51:42	<a href="#">Редактировать</a> <a href="#">Удалить</a>

Рисунок 5.5 - Таблица коллекторов та їх властивостей

ID	Название шахты	Адрес	Долгота, °	Широта, °	Диаметр коллектора, мм	Диаметр шахты, м	Глубина шахты, м	Наличие дегазатора	Последняя модификация	
66	Шахта №4	пр. Московский, поликлиника ХТЗ	36.379238	49.953972	1840	0	15	Да	2015-03-01 21:14:41	<a href="#">Редактировать</a> <a href="#">Удалить</a>
67	Шахта №6	Около знака Кирпич	36.386791	49.953049	0	0	0	Нет	2015-02-15 11:29:06	<a href="#">Редактировать</a> <a href="#">Удалить</a>
68	Шахта №7	нет	36.388931	49.949749	0	0	0	Нет	2015-02-15 11:29:06	<a href="#">Редактировать</a> <a href="#">Удалить</a>
69	Шахта №8	нет	36.402515	49.945858	0	0	0	Нет	2015-02-15 11:29:06	<a href="#">Редактировать</a> <a href="#">Удалить</a>
70	Шахта №10	круг трамвая 23,26	36.416073	49.939976	1840	0	11	Да	2015-02-15 11:29:06	<a href="#">Редактировать</a> <a href="#">Удалить</a>
71	Шахта №11	нет	36.423531	49.936630	0	0	0	Нет	2015-02-15 11:29:06	<a href="#">Редактировать</a> <a href="#">Удалить</a>
72	Шахта №12	пр. Московский, 256 Б	36.423187	49.931969	1500	0	0	Да	2015-02-15 11:29:06	<a href="#">Редактировать</a> <a href="#">Удалить</a>
73	КНС 2	нет	36.406742	49.915188	0	0	0	Нет	2015-02-15 11:29:06	<a href="#">Редактировать</a> <a href="#">Удалить</a>
74	Шахта №4	перекр. ул. Зубарева и окр. логии	36.405300	49.910561	0	0	0	Нет	2015-02-15 11:29:06	<a href="#">Редактировать</a>

Рисунок 5.6 - Таблица шахт та їх властивостей

а)

б)

Рисунок 5.7 - Форми додавання (а) та редагування (б) властивостей шахт

Програмна система візуалізації ділянки колектора призначена для наочного, графічного представлення аналізованої ділянки колектора (рис. 5.4).

Система візуалізації виконує наступні функції:

- картографування КМ м. Харкова та контрольних точок. Контрольні точки мають форму кола та функцію колірної індикації для оперативної візуальної оцінки стану КМ за критерієм викиду екологічно небезпечного сірководню з шахт та колодязів КМ в міську атмосферу, вміст в різних середовищах  $H_2S$  на контрольних ділянках та глибини біогенної сірчаноокислотної корозії як в цілому по м. Харкову, так і по конкретно взятій ділянці (рис. 5.8). Розміри кольорових кол навколо контрольних точок показують якої відстані досягає розсіювання сірководню. За допомогою цієї функції можна оперативно оцінити чи потрапляє екологічно небезпечний викид сірководню до зони житлової забудови;

- візуалізація інформаційної частини інтерфейсу з основними характеристиками і параметрами шахт, перехід до відображення графіка або фотоматеріалів (рис. 5.9);



– візуалізація графіка викиду  $H_2S$  в атмосферу підсклепіневого простору колектора від дати початку контролю і на поточний момент - динаміка викиду по роках (рис. 5.10). Для виклику вікна необхідно натиснути на відповідне зображення в інформаційній частині вікна з основними характеристиками і параметрами шахт;

– візуалізація фотоматеріалу - показ в модальному вікні фотографії контрольної шахти/колодязя, наявність галереї фотографій, функції додавання матеріалів, дати фотозйомки та короткого опису фотографії (рис. 5. 11).

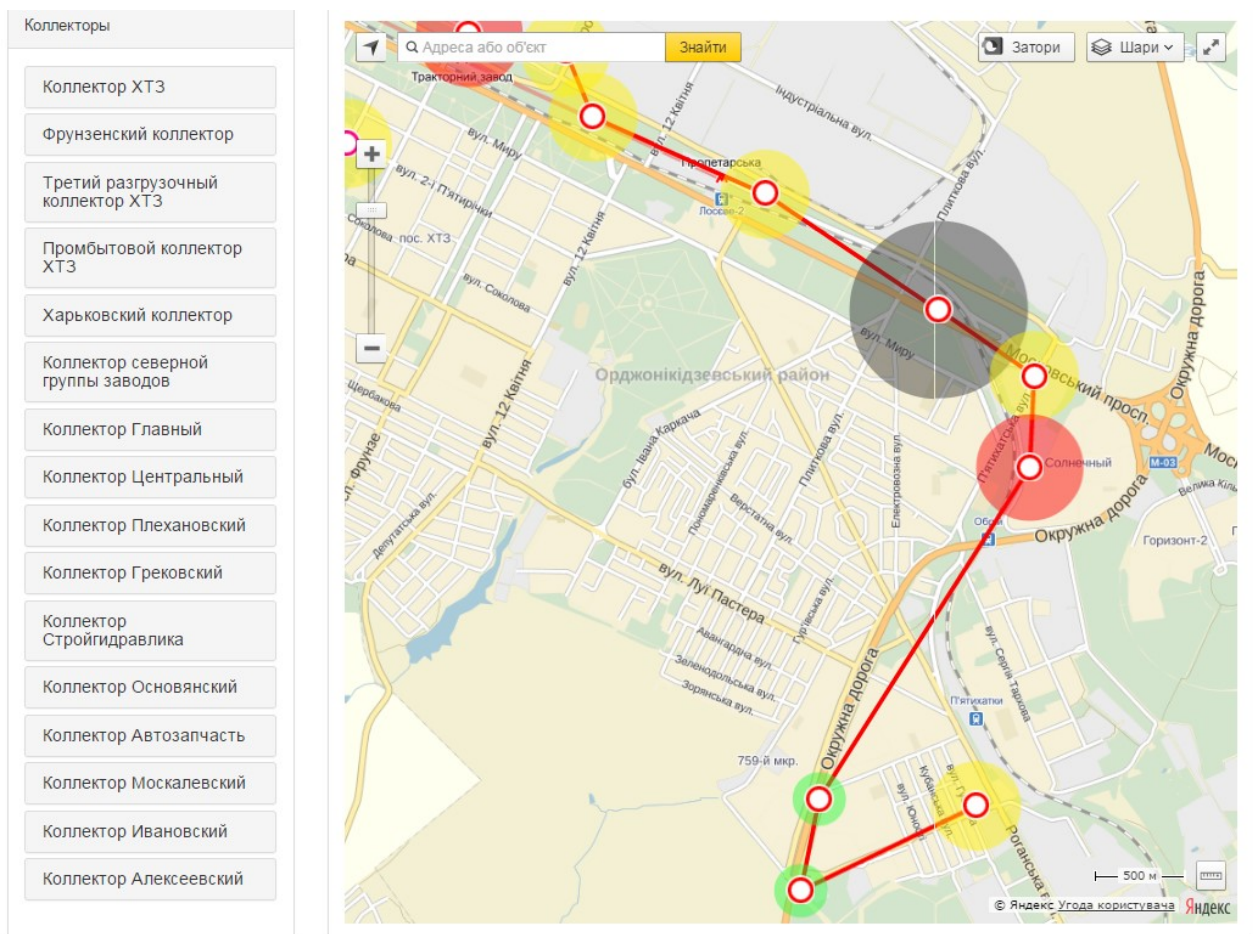


Рисунок 5.8 - Картографування контрольних шахт КМ м. Харкова [108, 164]

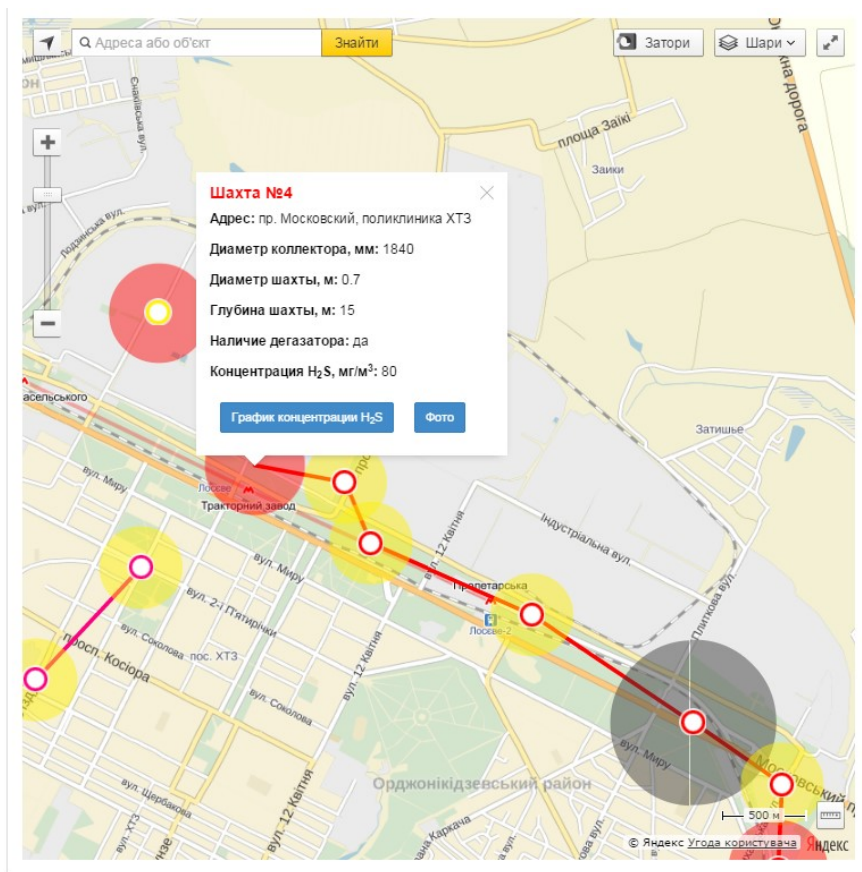


Рисунок 5.9 - Інформаційне вікно з основними характеристиками та параметрами шахт [108, 164]



Рисунок 5.10 - Графік викиду  $H_2S$  в атмосферу підсклепіневого простору каналізаційного колектора [164]

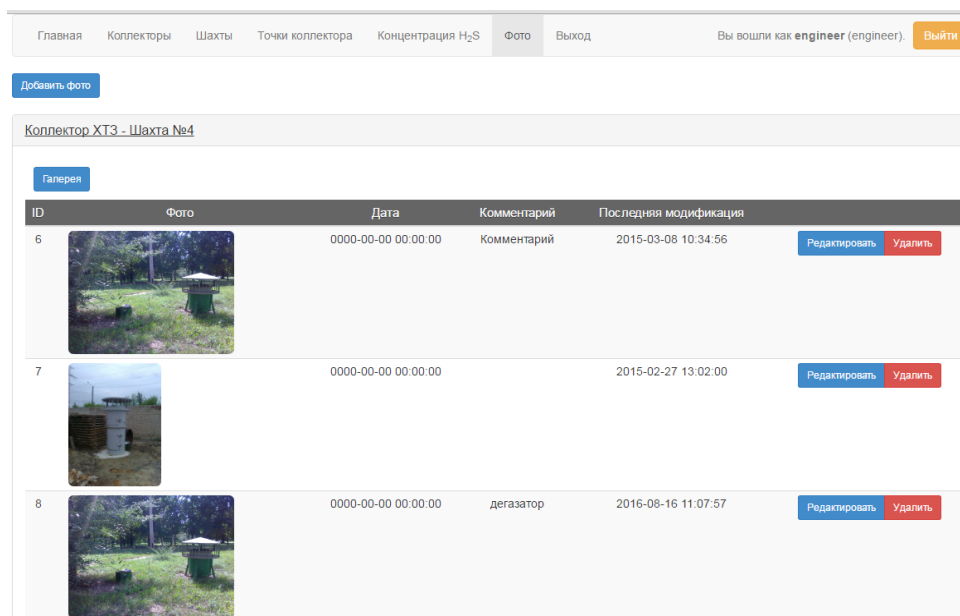


Рисунок 5. 11 – Візуалізація фотоматеріалів

Модуль візуалізації безпосередньо пов'язаний з додатком та базою даних і дозволяє переглядати й модифікувати всі доступні параметри ділянки колектора й шахт/колодязів, а також класифікувати та аналізувати стан цієї ділянки.

Завдяки використанню описаних вище методик та технологій інформаційних система автоматично виконує класифікацію екологічної небезпеки контрольної шахти/колодязя КМ м. Харкова, а також формує звіт. При цьому враховуються: зміст сірководню в різних середовищах, наявність житлової забудови на поверхні, конструктивні параметри (глибина шахти, діаметр і т.д.).

В результаті визначають клас екологічної небезпеки окремої шахти/колодязя, а також списки окремих ділянок, що потребують першочергового впровадження природоохоронних заходів.

Інформаційна система моніторингу стану колекторів включає також засіб перегляду фотознімків та відеоматеріалів аналізованих ділянок.

Банк даних каналу видає інформацію за різними критеріями: дані про колодязі; дані про ділянки колектора; порівняння довжини ділянок при огляді; ре-

зультати оцінки стану; види пошкоджень; кількість шахт, колодязів та ділянок; матеріали колектора та з'єднань, діаметр, довжина мережі.

Таким чином, отримані дані можуть аналізуватися статистично завдяки програмному забезпеченню [165].

### 5.3 Практичне застосування інформаційної системи моніторингу вмісту сірководню в різних середовищах каналізаційних мереж

Описана вище система дозволяє зберігати та проводити облік великого масиву екологічних та експлуатаційних даних про КМ, про окремі каналізаційні шахти і колодязі, аналізувати і прогнозувати стан шахт та довговічність, простежувати динаміку утворення екологічно небезпечного газоподібного сірководню, його накопичення в різних середовищах та викиду в атмосферу. На підставі аналізу введених оперативних даних створювати список пріоритетних об'єктів КМ, на яких необхідне впровадження природоохоронних заходів [159 - 165]. На дану розробка було отримано авторське свідоцтво України (додаток Л).

На підставі описаної методики визначення класу екологічної небезпеки каналізаційних шахт/колодязів для міської атмосфери та запропонованої комп'ютерної програми були розроблені практичні рекомендації з автоматизації системи моніторингу газоподібних викидів з КМ та визначення класу екологічної небезпеки для міської атмосфери шахт/колодязів на КМ, які можуть використовуватись підприємствами водовідведення. Рекомендації передано КП «Харківводоканал» (додаток М, додаток Н). Результати роботи також впроваджено в навчальний процес ХНУБА (додаток П, додаток Р).

## Висновки по розділу 5

1. В умовах утворення та накопичення  $H_2S$  в різних середовищах КМ служби експлуатації гостро потребують оперативного отримання кількісної ін-

формації як про стан мережі в цілому, так і про стан її окремих ділянок, що пов'язано з необхідністю швидкого прийняття рішень. Тому створення і впровадження сучасних комп'ютерних технологій та інформаційних систем моніторингу КМ є актуальним завданням для забезпечення ЕБ та експлуатаційної надійності цих технічних об'єктів.

2. Розроблено методику визначення класу екологічної небезпеки та експлуатаційної надійності окремої шахти/колодязя КМ, яка ґрунтується на 4-ступеневому ранжируванні кількісних характеристик 6 контрольованих показників.

3. Представлений та програмно реалізований алгоритм, що дозволяє виконати класифікацію на основі опису стану мережі, отриманого за допомогою натурних досліджень й розрахунків. На підставі виконаної класифікаційної оцінки стану мережі складаються пріоритетні списки екологічно небезпечних об'єктів, на яких в першу чергу необхідно впровадження природоохоронних заходів.

4. Створена інформаційна система – комп'ютерна програма «Моніторинг газоподібних викидів з каналізаційних мереж», дозволяє на підставі даних про стан КМ виробляти візуалізацію ділянки мережі, що цікавить користувача, з усіма характеризуючими її екологічними та експлуатаційними параметрами.

5. З використанням розробленої методики визначення класу екологічної небезпеки каналізаційних шахт і алгоритму встановлені класи екологічної небезпеки шахт/колодязів на дослідженій ділянці колектора ХТЗ, створено список пріоритетності об'єктів на цій ділянці, на яких необхідно першочергове впровадження природоохоронних заходів, спрямованих на зниження викидів сірководню в міську атмосферу, представлені варіанти розрахунків, що дозволяють здійснювати підтримку прийняття рішень у сфері ЕБ.

6. Створений автором проект дозволяє:
- забезпечувати ЕБ роботи та безаварійну експлуатацію ділянок КМ;
  - уникати аварійних ситуацій, пов'язаних з накопиченням сірководню та біогенної сірчаноокислової корозії бетонних конструкцій в КМ.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі поставлено та вирішено актуальне науково-практичне завдання – поліпшення показників екологічної безпеки транспортування стічних вод каналізаційними мережами за рахунок зменшення викидів сірководню в міське атмосферне повітря. Це завдання вирішується шляхом придушення процесів утворення сірководню в стічних водах і його викидів у підсклепіневий простір каналізаційних трубопроводів та створення комп'ютерної програми для автоматизації постійного моніторингу газоподібних викидів з каналізаційних мереж.

1. Виконаний науковий аналіз проблеми газоподібних викидів з каналізаційних мереж показав, що найбільшу екологічну небезпеку в них для міського атмосферного повітря створює вміст сірководню. В Україні відомі методи мінімізації викидів  $H_2S$  з каналізаційних мереж практично не впроваджуються й комп'ютерні програми моніторингу газоподібних викидів з цих технічних об'єктів також відсутні.

2. За даними лабораторних досліджень побудовано регресійне рівняння, що описує вплив на накопичення сірководню в підсклепіневому просторі каналізаційних колекторів трьох незалежних факторів (температури стічної води, її ОВП та тривалості інкубації), з яких найбільш значущим виявлено температуру. Розрахунки з використанням математичних моделей біохімічних процесів в КМ, їх хімічних та фізичних характеристик показав, що при зниженні температури стічної води на  $7\text{ }^{\circ}\text{C}$  ефект придушення накопичення  $H_2S$  в атмосфері підсклепіневого простору колекторів сягає 51%.

3. Для охолодження стічних вод на ділянках каналізаційних мереж, як найбільш ефективний та технічно доступний засіб рекомендовано використовувати теплонасосне обладнання. Аналіз практичного досвіду його експлуатації на каналізаційній мережі м. Харкова показав, що в результаті зниження температури стічної вод в середньому на  $7^{\circ}\text{C}$ , концентрації  $H_2S$  в підсклепіневому просторі колектора зменшилися більш ніж на 50%.

4. На підставі даних експериментальних досліджень розроблено метод розрахункового визначення концентрації  $H_2S$  в газоподібному викиді на виході з каналізаційної шахти на підставі даних вимірювання концентрації  $H_2S$  в підсклепіневому просторі каналізаційного колектора. За даними багаторічного контролю вмісту  $H_2S$  в підсклепіневому просторі каналізаційних колекторів виконано розрахунок концентрацій  $H_2S$  в газоподібних викидах на виході з усіх 62 контрольних каналізаційних шахт м. Харкова. Розраховано розсіювання та побудовані ізолінії концентрацій сірководню в атмосфері м. Харкова й встановлено три найбільш екологічно небезпечних каналізаційних колектора м. Харкова, викиди з яких на кордоні з житловою забудовою створюють концентрацію  $H_2S$  в атмосфері, яка перевищує  $ГДК_{м.р.}$

5. Проведено еколого-економічний аналіз впровадження теплонасосного обладнання для зниження викиду газоподібних речовин з каналізаційних мереж з урахуванням плати за нормативний та наднормативний викид сірководню, а також за непрямим показником - зниження викиду ПГ в результаті переходу технічного об'єкта на альтернативне джерело теплопостачання. Проведено розрахунок економічної ефективності проекту. Термін окупності – 3,25 роки.

6. Запропонована методологія визначення класу екологічної небезпеки та експлуатаційної надійності окремої шахти/колодязя каналізаційних мереж, що базується на 4-ступеневому ранжуванні кількісних характеристик 6 показників.

7. Створено та захищено авторським свідоцтвом комп'ютерну програму «Моніторинг газоподібних викидів з каналізаційних мереж», яка дозволяє систематизувати накопичені дані, автоматично створювати звіти, картувати та здійснювати облік об'єктів каналізаційного господарства, візуалізувати ділянки мережі, встановлювати пріоритетність об'єктів за необхідністю впровадження природоохоронних заходів. Розроблені рекомендації по автоматизації системи моніторингу газоподібних викидів з КМ та визначення класу небезпеки для міської атмосфери шахт/колодязів на КМ передані КП «Харківводоканал».

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Доповідь про стан навколишнього природного середовища в Харківській області у 2015 році. – Харків: Департамент екології та охорони навколишнього природного середовища ХОДА, 2016. – 216 с.
2. Юрченко В.А. Развитие научно-технологических основ эксплуатации сооружений канализации в условиях биохимического окисления неорганических соединений: дисс. докт. техн. наук: 05.23.04 / Юрченко Валентина Александровна. - ХГТУСА. – Харьков, 2007. – 426 с.
3. Дрозд Г.Я. Повышение эксплуатационной долговечности и экологической безопасности канализационных сетей: дисс. докт. техн. наук: 21.00.08 / Дрозд Геннадий Яковлевич. - Донб. гос. акад. строит. и архит. – Макеевка, 1998. – 320 с.
4. Дрозд Г.Я. Канализационные трубопроводы: надежность, диагностика, санация / Г.Я. Дрозд, Н.И. Зотов, В.Н. Маслак. – Донецк: ИЭП НАН Украины, 2008. – 260 с.
5. Greenhouse Gas (GHG) Emissions from Urban Wastewater System: Future Assessment Framework and Methodology / [A. A. Listowski, H. H. Ngo, W. S. Guo та ін.]. // Journal of Water Sustainability. – 2011. – №1. – С. 113–125.
6. Методы предотвращения распространения неприятных запахов от сооружений канализации / [А. Н. Пахомов, А. Р. Агевнин, Д. А. Данилович та ін.]. // Водоснабжение и санитарная техника. – 2006. – №11. – С. 40–47.
7. Гусев Б.В. Развитие фронта коррозии бетона в агрессивных средах / Б.В. Гусев, А.С. Файвусович, В.А. Рязанова. // Бетон и железобетон, 2005. - № 5. – С. 23 – 27.
8. Екологія міста. Колективна монографія / Ф.В. Стольберг, В.М. Ладиженський, Ю.І. Вергелес та інші. – Харків: ХНАМГ, 2013. – 208 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://eprints.kname.edu.ua/27870/> (дата звернення 30.03.2014) – Назва з екрана.



9. Gostelow P. Sewage treatment works odour measurement / P. Gostelow, S. A. Parsons // *Water Science and Technology*. – 2000. - Vol. 41. - № 6. – P. 33 – 40.
10. Stuetz R. *Odours in Wastewater Treatment* / R. Stuetz, F-B. Frechen.: Published by IWA Publishing, London SW1H 0QS. – 2001. – 437 p.
11. Гончаренко Д.Ф. Ремонт и восстановление канализационных сетей и сооружений / Д.Ф. Гончаренко, И.В. Коринько. – Харьков: Рубикон, 1999. – 368 с.
12. Гончаренко Д.Ф. Эксплуатация, ремонт и восстановление сетей водоотведения: Монография / Д.Ф. Гончаренко. – Харьков: Консум, 2008. – 400 с.
13. Toxicity reduction evaluation guidance for municipal wastewater treatment plants. Office of wastewater management U.S. Environmental Protection Agency Washington, D.C. 20460, EPA/833B-99/002, 1999. – 83 p.
14. Когановский А.М. Очистка и использование сточных вод в промышленном водоснабжении / А.М. Когановский, Н.А. Клименко, Т.М. Левченко и др. – М.: Химия, 1983. – 288 с.
15. Яковлев С.В., Карюхина Т.А. Биохимические процессы в очистке сточных вод / С.В. Яковлев, Т.А. Карюхина. – М.: Стройиздат, 1980. – 200 с.
16. State of the art in Urban Drainage Modeling / REPORT of Project Number EVK1-CT-2001-00167, Computer Aided Rehabilitation of Sewer networks (CARE-S), Palermo-Bologna, 2003. – 415 p.
17. Скрыбин Г.К. Глобальный биогеохимический цикл серы и влияние на него деятельности человека / Г.К. Скрыбин. – М.: Наука, 1983. – 420 с.
18. Robert W. Howarth. Sulphur cycling on the continents: wetlands, terrestrial ecosystems, and associated water bodies / Robert W. Howarth, J. W. B. Stewart, M. V. Ivanov. – U.K.: John Wiley and Sons, Chichester, 1992 – 350 p.
19. Каравайко Г.И. Микроорганизмы и их роль в биогеотехнологии металлов / Г.И. Каравайко. - М.: Центр международных проектов ГКНТ. - 1989. – С. 11 - 49.
20. Вредные химические вещества. Неорганические соединения V-VIII групп: Справ. изд. / [Под ред. Филова В.А.]. – Л.: Химия, 1989. – 592 с.

21. Andrea Lenart Hicks. Modeling greenhouse gas emissions from conventional wastewater treatment plants in South Carolina: dis. Master of Science: Environmental Engineering and Earth Science: 01.12.2010. – South Carolina, 2010. – 146 p.
22. George Simon, Charles Alix, Vincente Arrebola. Odor Control – Solutions for Managing Emissions from Wastewater Treatment Facilities / G. Simon, C. Alix, V. Arrebola // Florida Water Resources Journal. – 2010. – Vol. 7, №2. – P. 32 – 34.
23. T. Zarra. Odour monitoring of small wastewater treatment plant located in sensitive environment / T. Zarra, V. Naddeo, V. Belgiorno and others // Water Science & Technology. – 2008. – Vol.58, №1. – P. 89-94.
24. Данилович Д.А. Определение выброса загрязняющих веществ в атмосферу с поверхности очистных сооружений / Д.А., Данилович, В.И. Складар, В.А. Грачев // МГУП "Мосводоканал", Москва. – 2010. – 34 с.
25. Hvitved-Jacobsen T., Vollertsen J., Yongsiri C. Sewer microbial processes, emissions and impacts / T. Hvitved-Jacobsen, J. Vollertsen, C. Yongsiri // Proceedings from the 3rd International Conference on Sewer Processes and Networks. – Paris, France, 2002. – 13 p.
26. В.М. Васильев. Разрушение канализационных тоннелей и сооружений на них вследствие микробиологической коррозии / В.М. Васильев, Г.А. Панкова, Ю.В. Столбихин // Водоснабжение и санитарная техника. – 2013. – № 9. – С. 68–6.
27. Микробная коррозия и ее возбудители / Андреюк Е.И., Билай В.И., Коваль Э.З., Козлова И.А. – Киев: Наукова думка, 1980. – 287с.
28. Bock E. Biologische Korrosion / E. Bock // Tiefbau-Ingenieurbaue-Strassenburg. – 1984. – Vol. 5, №11(1). – P. 240–250.
29. Tiobacilli of the Corroded Concrete Walls of the Hamburg Sewer System / Milde K., Sand W., Wolff W., Bock E. // J.Gen. Microbiol. – 1983. – Vol. 129, №5. – P. 1327–1333.

30. Sadurska I., Kowalik R. Experiments on Control of Sulphur Bacteria Active in Biological Corrosion of Stone // *Acta Microbiol. Polonica.* – 1966. – Vol. 15, №2. – P. 199–201.
31. Абрамович И.А. Канализация города Харькова (1912-1980 гг.): опыт проектирования и строительства / И.А. Абрамович. – Харьков: Основа, 1997. – 239 с.
32. Бабушкин В.И. Защита строительных конструкций от коррозии, старения и износа / В.И. Бабушкин. – Харьков: Вища школа, 1989. – 168 с.
33. Абрамович И.А. Новая стратегия проектирования и реконструкции систем транспортирования сточных вод / И.А. Абрамович. – Харьков, Основа: 1996. – 316 с.
34. Матвиенко В.А. Оценка роли биологического фактора в коррозии бетона/ В.А. Матвиенко, Г.Я. Дрозд, В.Н. Губарь // *Бетон и железобетон.* – 1986. - № 7. – С. 19–20.
35. Иванов Ф.М., Дрозд Г.Я. Долговечность бетонных и железобетонных коллекторов / Ф.М. Иванов, Г.Я. Дрозд // *Бетон и железобетон.* – 1989. – № 12. – С. 32–33.
36. Эксплуатация, ремонт и восстановление трубопроводов водоснабжения: Монография / Д. Ф. Гончаренко, Хайнрих Вевелер, А. И. Алейникова. – Харьков: Раритеты Украины, 2015. – 280 с.
37. Дрозд Г.Я. Роль микроорганизмов в разрушении бетонных канализационных коллекторов / Г.Я. Дрозд, А.М. Рожанская // *Микробиологический журнал.* – 1989. – Т. 51, № 6. – С. 86-92.
38. Читошвили Т.Г., Гуджеджиани Э.Н. Тионовые бактерии как фактор коррозии бетонных сооружений, омываемых сероводородными минерализованными водами / Биоповреждения в строительстве / Под ред. Ф.Ш.Иванова, С.Н. Горшина. – М.: Стройиздат. - 1984. – С. 193–203.
39. Дрозд Г.Я. Жизнедеятельность микроорганизмов в порах бетона / Г.Я. Дрозд // *Прикладная биохимия и микробиология.* – 1986. – Т. XXII, вып. 6. – С. 844–846.

40. Инфицирование капиллярно-пористых материалов микроорганизмами / Рожанская А.М., Гончаров В.В., Теплицкая Т.В. и др. // Докл. АН УССР. – 1988. – № 12. – С. 60–62.
41. Каравайко Г.И. Бактериальная коррозия бетонов / Г.И. Каравайко, Т.В. Жеребятьева // Докл. АН СССР. – 1989. – Т. 306, № 2. – С. 477–481.
42. Kaltwasser H. Desrtuction of concrete by nitrification / H. Kaltwasser // Env. Appl. Microbiol. – 1976. – № 3. – P. 185–192.
43. Gregor A. Fieled investigation of sewer corrosion / A. Gregor // Corrosion of Concrete Sewers. – 1958. – №12. – P. 666.
44. Андреюк Е.И. Трансформация техногенных силикатов и алюминатов / Е.И. Андреюк, А.И. Рожанская, Г.Я. Дрозд // Тез. докл. 9 международн. симпоз. по биогеохимии окружающей среды. – М. – 1989. – С. 130.
45. Stein D. Rehabilitation and Maintenance of Drains and Sewers/ D. Stein. – Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Ruhr-University Bochum (RUB), Faculty of Civil Engineering. – Germany. – 2001. – 804 p.
46. Дрозд Г.Я., Соболев М.А., Варенко Ю.С. Коррозия бетона под влиянием *Cariophanon* sp. / Г.Я. Дрозд, М.А. Соболев, Ю.С. Варенко // Микробиологический журнал. – 1987. – Т. 49, № 1. – С. 61–64.
47. Васильев В.М. К расчету естественной вентиляции канализационных коллекторов // Подземное пространство мира. Проблемы устойчивости и резервы безопасности. – М. – 1994. – Вып. 1. – С. 15–18.
48. Абрамович И.А., Ситницкая Э.А. Повышение надежности эксплуатации коллекторов городской канализации / И.А. Абрамович, Э.А. Ситницкая // Водоснабжение и санитарная техника. – 1990. – № 12. – С. 7–8.
49. Елшин Н.М. Полимербетоны в гидротехническом строительстве / Н.М. Елшин. – М.: Стройиздат, 1980. – 172 с.
50. Detection, control, and correction of hydrogen, sulfide corrosion in existing wastewater systems. U.S. Environmental protection agency. Office of wastewater enforcement and compliance, Washington, D.C. 20460. 1992. – 162 p.

51. Vollertsen J., Hvitved-Jacobsen T. Effect of temperature on air-water transfer of hydrogen sulfide / J. Vollertsen, T. Hvitved-Jacobsen // J. Environ. Eng. 2004. – 130. – V. 15, №1. – P. 104–109.
52. Л. Фесенко. Методы удаления сероводорода из производственных сточных вод и пути их развития / Л. Фесенко, А. Черкесов, С. Игнатенко // Вода. Водоснабжение. Водоотведение. Теплоснабжение, 2015. – №2 (102). – С.22-28.
53. Process design manual for sulfide control in sanitary sewerage systems / U.S. Environmental protection agency, Center for Environmental research information, Cincinnati. – 1974. – 136 p.
54. Jensen H.S. Hydrogen sulfide induced concrete corrosion of sewer networks / H.S. Jensen / Section of Environmental Engineering, Ph.D. Dissertation. - Aalborg University, 2009. – 67 p.
55. Yongsiri C. Air-water transfer of hydrogen sulfide—an approach for application in sewer networks / C. Yongsiri, J. Vollertsen, M. Rasmussen and others // Water Environ. Res., 2004. – V. 12, n. 2, P. 81–88.
56. Basista M. Micromechanical modelling of sulphate corrosion in concrete: influence of ettringite forming reaction / M. Basista, W. Weglewski // Belgrade, Theoret. Appl. Mech., 2008. - Vol. 35. - №. 1 – 3. - P. 29 –52.
57. Lahav O. A different approach for predicting H<sub>2</sub>S(g) emission rates in gravity sewers / O. Lahav, A. Sagiv, E. Friedler // Water Research, 2006. - № 40. - P. 259-266.
58. Hvitved-Jacobsen T. An integrated aerobic/anaerobic approach for prediction of sulfide formation in sewers / T. Hvitved-Jacobsen, J. Vollertsen, N. Tanaka // Water Science and Technology, IWA Publishing, 2000. – Vol. 41. - № 6. – P. 107 – 115.
59. Hvitved-Jacobsen T. Sewer Processes – microbial and chemical process engineering of sewer networks / T. Hvitved-Jacobsen: CRC Press, 2002. – 237 p.

60. Yongsiri C. Hydrogen sulfide emission in sewer networks: a two-phase modeling approach to the sulfur cycle / C. Yongsiri, T. Hvitved-Jacobsen, J. Vollertsen // *Water Science and Technology*, 2004. - Vol. 50. - № 4. – P. 161–168.
61. Yongsiri C. Influence of wastewater constituents on hydrogen sulfide emission in sewer networks / C. Yongsiri, J. Vollertsen, T. Hvitved-Jacobsen / *ASCE (American Society of Civil Engineers), Journal of Environmental Engineering*, 2005. - Vol. 131. - №. 12. - P. 1676 – 1683.
62. Гусенцова Я.А., Дрозд Г.Я. Вентиляция систем водоотведения / Я.А. Гусенцова, Г.Я. Дрозд. – Луганськ: Видавництво Луганського національного аграрного університету, 2004. – 136 с.
63. Васильев В.М. Почему необходимо вентилировать канализационные коллекторы / В.М. Васильев // *Подземное пространство мира*. – М.:1993, №5, С.33 – 35.
64. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. ДБН В.2.5 - 75:2013. – [Чинний від 01.01.2014]. – К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2013. – 207 с. – (Державні будівельні норми України).
65. Куликов Н.И. Установка для исследования процессов биохимической очистки промышленных газовых выбросов / Н.И. Куликов, А.А. Эннан, В.В. Костик и др. // *Химия и технология воды*. – 1995. – т. 17, № 6. – С. 621 – 624.
66. Безрук А.Ю., Козаков В.А. Методы обезвреживания газовых выбросов от шахт канализационных коллекторов / А.Ю. Безрук, В.А. Козаков // *ЭТЭВК-1999. Экология, технология, экономика водоснабжения и канализации. Сб. докладов международного конгресса. Украина, Крым, Ялта (18-22 мая 1999 г.)*. – С. 109 –111.
67. Василенко Е.А., Юрченко В.А. Сероводород в промышленных газообразных выбросах: экологические проблемы и пути их решения / Е.А. Васи-

- ленко, В.А. Юрченко // Екологічні проблеми регіонів України. – Одеса: ОДЕКУ, 2007. – 359 с.
68. Трупак Н.Г. Замораживание грунтов при строительстве подземных сооружений / Н.Г. Трупак. – М.: «Недра», 1979. – 334 с.
69. Электроэнергетика за рубежом, тома XIX-XX. — М.: «ПОЛПРЕД Справочники», 2008. – 240 с.
70. Фокин В.М. Теплогенерирующие установки систем теплоснабжения. – М.: Машиностроение-1, 2006. – 240 с.
71. Проектування систем опалення з тепловими насосами (EN 15450:2007, MOD): ДСТУ Б В.2.5-44:2010. – [Чинний з 2010-02-02]. – Київ : Держстат України, 2010. – 71 с. – (Державний стандарт України).
72. Посібник з проектування інженерних систем житлових і громадських будинків з тепловими насосами / Корпорація «Європейська енергетична компанія». – Київ: Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2010. – 82 с.
73. Richmond H<sub>2</sub>S Monitoring. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.mysmartcover.com/h2s/map.php> (дата звернення 30.03.2014) – Назва з екрана.
74. Richmond H<sub>2</sub>S Monitoring. Alarms, chats. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://www.mysmartcover.com/h2s/home.php?location=8426&view=navbar\\_system\\_management&subview=tab\\_data](https://www.mysmartcover.com/h2s/home.php?location=8426&view=navbar_system_management&subview=tab_data) (дата звернення 30.03.2014) – Назва з екрана.
75. City of Richmond California. Veolina Services. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ci.richmond.ca.us/2326/Veolia-Services> (дата звернення 30.03.2014) – Назва з екрана.
76. Kemira H<sub>2</sub>S-Guard. The odor and corrosion challenge. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.kemira.com/en/industries-applications/pages/kemira-h2sguard.aspx> (дата звернення 30.03.2014) – Назва з екрана.

77. Нейтралізація сірководню в напірних колекторах. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://lvivvodokanal.com.ua/aboutus/environment/smell/> (дата звернення 08.05.2015) – Назва з екрана.
78. Jiang J. Sampling techniques for odour measurement / J. Jiang, R. Kaye / Odour in Wastewater Treatment. Measurement, Modeling and Control. – London: IWA Publishing, 2001. – 150 p.
79. Справочник по свойствам, методам анализа и очистке воды. В 2-х частях. — К.: Наукова думка, 1980. — 1206 с.
80. Унифицированные методы исследования качества вод. Методы химического анализа вод. — М.: СЭВ, 1987. — 662 с.
81. Лурье Ю.Ю. Унифицированные методы анализа сточных вод / Ю.Ю. Лурье. — М.: Химия, 1971. — 376 с.
82. Муравьева С. И. Справочник по контролю вредных веществ в воздухе: Справ. изд. / С. И. Муравьева, Н. И. Казинина, Е. К. Прохорова. — М.: Химия, 1988. — 320 с.
83. Комплексная диагностика состояния сетей водоснабжения и водоотведения / [И. В. Коринько, С. С. Пилиграмм, С. М. Эпоян та ін.]. // Комунальне господарство міст. – 2013. – №110. – С. 70–76.
84. ОНД-86. Методика расчета в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. — Л.: Гидрометеиздат, 1987. — 64 с.
85. Зотов В.А. Реализация языка JavaScript Ajax и Node / Вестник Московского государственного университета печати. – М., 2013– № 9 – С. 46–47.
86. Программирование и разработка приложений в Maple: монография / Аладьев В.З. и др. ГрГУ. Гродно: Межд. Акад. Ноосферы, Балт. отд. Таллинн, 2007. – 458 с.
87. Bootstrap by Jake Spurlock. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL: <http://shop.oreilly.com/product/0636920027867.doc> (дата звернення 06.06.2015). – Назва з екрана.
88. API Яндекс.Карты. Руководство разработчика. — Москва, 2014. — 76 с.



89. Инструментарий геоинформационных систем: Справочное пособие / [Бусыгин Б.С, Гаркуша И.Н., Серединин Е.С., Гаевенко А.Ю.] – К.: ИРГ «ВБ», 2000. – 172 с.
90. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика / В.Е. Гмурман. — М.: Высшая школа, 2003. — 480 с.
91. Юрченко В.О. Захист міського середовища від екологічно небезпечної емісії сірководню з споруд водовідведення / Юрченко В.О., Лебедева О.С., Бойко С.В. та ін. // Технології та дизайн. Електрон. наук. фах. вид. / Київ. нац. ун-т технологій та дизайну. – Київ, 2015. – №2 (15). – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/td\\_2015\\_2\\_16](http://nbuv.gov.ua/UJRN/td_2015_2_16).
92. Бойко С.В. Кінетика утворення екологічно небезпечного сірководню в різних середовищах / С.В. Бойко, А.О.Ярошенко, В.О. Юрченко та ін.// Матеріали І міжнародної науково-практичної конференції студентів, магістрантів та аспірантів «Галузеві проблеми екологічної безпеки», присвяченої 85-річчю ХНАДУ, 2015, Харків. – С.154– 156.
93. Бойко С.В. Влияние окислительно – восстановительных условий на образование сероводорода в сточных водах / С.В. Бойко, А.О. Ярошенко, Е.С. Лебедева и др. // Экология и рациональное природопользование агропромышленных регионов: сб.докл. II Международной молодежной научной конференции, БГТУ. – Белгород: изд-во БГТУ, 2014. – Ч.2. – С.16 – 18.
94. Хенце М. Очистка сточных вод. : пер. с англ. : Хенце М., Армоэс П., Ля Кур-Янсен Й., Арван Э. – М.: Мир, 2006. – 480 с.
95. А.И. Самохвалова. Построение математической модели природоохранных технологий на основании экспериментального исследования действия и взаимодействия основных факторов / А.И. Самохвалова, Е.С. Лебедева, В.А. Юрченко // Науковий вісник будівництва. – Х.: ХНУБА, ХОТВ, АБУ, 2016. – Вип.1(83). – С.207 – 210.
96. Моисеев Н. Н. Человек и биосфера. Опыт системного анализа и эксперимента с моделями / Н. Н. Моисеев, В. В. Александров, А. М. Гарко. – М. : Наука, 1985. – 282 с.

97. Антоновский М. Я. Математические методы экологического прогнозирования / М. Я. Антоновский, С. М. Семенов. – М.: Знание, 1978. – 64 с.
98. Лаврик В. І. Методи математичного моделювання в екології / В. І. Лаврик. – Київ: Фітосоціоцентр, 1998. – 132 с.
99. Комп'ютеризовані регіональні системи державного моніторингу поверхневих вод: моделі, алгоритми, програми. Монографія / В.Б. Мокін, М.П. Бочула, Г.В. Горячев, О.В. Давиденко, А.І. Катасонов, А.Р. Ящолт / Під ред. В.Б. Мокіна. - Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. - 310 с.
100. Папенко В. В. Модели и методы для задач охраны окружающей среды / В. В. Папенко, А. Е. Алоян. – Новосибирск : Наука, 1985 – 285 с.
101. Горстко А. Б. Модели управления эколого-экономическими системами / А. Б. Горстко, Ю. А. Домбровский, Ф. А. Сурков. – М. : Наука, 1984. – 120 с.
102. Моделювання і прогнозування стану довкілля : підручник / В. І. Ларик, В. М. Боголюбов, Л. М. Полетаєва та ін. – К.: ВЦ „Академія”, 2010. – 400 с.
103. Бронштейн И. Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов / И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев. – 13-е изд., исправленное. – М.: Наука, 1986. – 544 с.
104. Кафаров В. В. Методы кибернетики в химии и химической технологии / В. В. Кафаров. – М.: Химия, 1971. – 496 с.
105. Саутин С. Н. Планирование эксперимента в химии и химической технологии / С. Н. Саутин. – Л. : Химия, 1975. – 48 с.
106. Фадлер Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Фадлер, Е. В. Марков, Ю. В. Грановский. – М. : Наука, 1971. – 280 с.
107. Хартман К. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов / К. Хартман и др. – М. : Мир, 1977. – 532 с.
108. Лебедева О.С. Сучасні технології мінімізації газоподібних викидів з каналізаційних мереж / О.С. Лебедева // Инновационные пути модернизации базовых отраслей промышленности, энерго- и ресурсосбережение, охрана окружающей природной среды: сборник научных трудов V Международ-

- ной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов.– Харьков : ГП «УкрНТЦ «Энергосталь», 2016. – С. 92 – 101.
109. Справочник химика. Л.: "Химия", 1967. - 1070 с.
110. Козинцева Т.Н. Исследование растворимости сероводорода при повышенных температурах / Т.Н. Козинцева. М.: Геохимия, 1964. – № 8, с. 758 – 765.
111. Коваленко А.В. Влияние температурного фактора на процесс накопления сероводорода в атмосфере канализационных сетей / А.В. Коваленко, Е.С. Лебедева, Е.В. Бригада и др. // Науковий вісник будівництва. – Х.: ХНУБА, ХОТВ, АБУ, 2013. – Вип.74. – С. 328 – 332.
112. Бригада Е.В. Мониторинг показателей эксплуатации водоотводящих сооружений из железобетона: дисс. кандидата техн. наук: 05.23.04 / Бригада Елена Владимировна. - ХНУСА. – Харьков, 2013. – 168 с.
113. А.Н. Коваленко. Использование методов математического моделирования для прогноза накопления сероводорода в подсводовом пространстве канализационных сетей / А.Н. Коваленко, С.С. Пилиграмм, В.А. Юрченко и др. // Виробничо-практичний журнал „Водопостачання та каналізація”. – К.: ТОВ “ПРАЙМ-ПРІНТ”, 2015. – №1. – С. 21 – 25.
114. Вавилин В.А. Моделирование деструкции органического вещества сообществом микроорганизмов / В.А. Вавилин, В.Б. Васильев, С.В. Рытов. – М.: Наука, 1993. – 202 с.
115. А.Н. Коваленко. Влияние охлаждения сточных вод на экологические и эксплуатационные характеристики водоотведения / А.Н. Коваленко, А.В. Коваленко, Е.С. Лебедева и др. // Комунальне господарство міст. Х.: ХНАМГ, 2014. – № 114. – С.127-130.
116. Коваленко А.Н. Образование сероводорода – проблема эксплуатационной надежности и экологической безопасности водоотведения / А.Н. Коваленко, Е.С. Лебедева, В.А. Юрченко и др. // Науковий вісник будівництва. – Х.: ХНУБА, ХОТВ, АБУ, 2014. – Вип.77. – С.218 – 223.

117. В.А. Юрченко. Повышение безопасности водоотведения бетонными канализационными коллекторами / В.А. Юрченко, Е.В. Бригада, А.В. Коваленко и др. // Матеріали XII міжнародної науково-технічної конференції «Безпека життя і діяльності людини – освіта, наука, практика», 15-17 травня 2013 р., Одеса, Одеський національний університет, 2013. – С. 291 – 294.
118. Юрченко В.А. Экологические и эксплуатационные проблемы, создаваемые образованием сероводорода в трубопроводах водоотведения / В.А. Юрченко, А.В. Коваленко, Е.В. Бригада и др. / Материалы Международной научно-практической конференции «Современные проблемы водного хозяйства, инженерно-коммуникационных систем и экология», Баку, Азербайджан, 14-15 апреля 2014. – С. 215 – 218.
119. Бойко С.В. Экологически опасные газообразные соединений в канализационных сетях г. Харькова / С.В. Бойко, А.А. Ярошенко, Е.С. Лебедева и др. // Матеріали VI Міжнародної науково-методичної конференції «Безпека людини в сучасних умовах» / упоряд.: В.В. Березуцький, Є.О. Лаптева. – Х.: Вид-во ТОВ „Щедра садиба плюс”, 2014. – С. 157 – 159.
120. Юрченко В.А. Экологические и эксплуатационные проблемы транспортирования сточных вод бетонными трубопроводами водоотведения / В.А. Юрченко, А.В. Коваленко, Бригада Е.В. и др. // Сборник статей 17-ой конференция молодых ученых «Наука – будущее Литвы» Инженерия транспорта и организация перевозок, Вильнюс, Литва, 2014. – С. 134 – 137.
121. А.Н. Коваленко. Влияние охлаждения сточных вод на экологические и эксплуатационные характеристики водоотведения / А.Н. Коваленко, В.А. Юрченко, А.В. Коваленко и др. // «Вода. Экология. Общество»: Материалы IV Международной научно-технической конференции. – Харьков: ХНУГХ имени А.Н. Бекетова, 2014. – С. 73 – 76.
122. Лебедева Е.С. Количественная оценка влияния температурного фактора на накопление сероводорода в подсводовом пространстве канализационного коллектора / Е.С. Лебедева, В.А. Юрченко, С.В. Свергузова // Вестник Ка-

- занского технологического университета: М-во образ. и науки России, Казан. нац. исслед. технол. ун-т. – Казань: Изд-во КНИТУ, 2014. – Т.17, №24. – С. 141 – 143.
123. Коваленко А.В. Розсіювання в міському середовищі газоподібного сірководню, що викидається з каналізаційних мереж / А.В. Коваленко, О.С. Лебедева, О.В. Лук'янов // Тези доповідей 70-ї науково-технічної конференції Харківського національного університету будівництва та архітектури. – Харків: ХНУБА. – 2015. – С. 43.
124. Аэродинамический расчет котельных установок / Под ред. С.И. Мочана. – Л.: Энергия, 1977. – 256 с.
125. Анисимов С.Н., Боровский Б.И., Сапронова З.Д. Определение высоты и диаметров конических и цилиндрических дымовых труб с учетом необходимого рассеивания в атмосфере вредных веществ / С.Н. Анисимов, Б.И. Боровский, З.Д. Сапронова // Строительство и техногенная безопасность. – Симф.: НАПКС, 2005. – 10. – С. 176– 178.
126. Коваленко А.В. Улучшение экологического состояния окружающей среды за счет использования альтернативных источников теплоснабжения / А.В. Коваленко, Е.С. Лебедева // Науковий вісник будівництва. – Х.: ХНУБА, ХОТВ, АБУ, 2012. – Вип.68. – С.292 – 297.
127. Юрченко В.А. Газообразные соединения, создающие угрозу для экологической безопасности атмосферы города / В.А. Юрченко, А.В. Коваленко, Е.С. Лебедева и др. // Науковий вісник будівництва. – Х.: ХНУБА, ХОТВ, АБУ, 2012. – Вип.69. – С. 331 – 335.
128. Лебедева Е.С. Повышение экологической безопасности канализационных систем за счет использования альтернативных источников энергии/ Е.С. Лебедева, А.В. Коваленко, В.А. Юрченко // Охорона навколишнього середовища та раціональне використання природних ресурсів. Збірка доповідей XXIII Всеукраїнської наукової конференції аспірантів і студентів. Т.2 – Донецьк: ДонНУ, 2013. – С. 92 – 93.
129. Коваленко А.В., Лебедева Е.С. Повышение экологической безопасности

- канализационных систем за счет использования альтернативных источников энергии / А.В. Коваленко, Е.С. Лебедева // Ресурсосбережение и энергоэффективность инженерной инфраструктуры урбанизированных территорий: Материалы международной научно-технической интернет-конференции. – Харьков: ХНАГХ, 2013. – С. 118 – 121.
130. Юрченко В.А., Лебедева Е.С. Экологически опасные газообразные соединения в системах отведения и очистки городских сточных вод / В.А. Юрченко, Е.С. Лебедева // Экологическая и техногенная безопасность. Охрана водного и воздушного бассейнов. Утилизация отходов / Сб.научн. трудов XX юбилейной междунар.научно-технич. конф.// Под ред. к.т.н. В.Ф. Костенко, к.ю.н. С.В. Разметаева: УкрВОДГЕО – Х. Изд-во «САМ», 2012. – С. 123 – 128.
131. V. Iurchenko. Environmental Safety of the Sewage Disposal by the Sewerage Pipelines / V. Iurchenko, E. Lebedeva, E. Brigada // Procedia Engineering. – 2016. – Volume 134. – P. 181 – 186. – Режим доступа: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705816000618>.
132. Юрченко В.А. Экологизация визуальной среды при сооружении природоохранных установок на системах водоотведения / В.А. Юрченко, О.А. Фоменко, Е.С. Лебедева и др. // Проблеми розвитку міського середовища: Наук.-техн. збірник. – К.: НАУ, 2014. – Вип. 1(11). – С. 112 – 119.
133. Корнейчук В.В. Природоохранные установки в дизайне городской среды / В.В. Корнейчук, Е.С. Лебедева, Д.О. Дунская // Екологія, неоекологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування. Матеріали II Міжнародної наукової конференції студентів, магістрантів та молодих вчених. – ХНУ ім.В.Н. Каразіна, 2013. – С. 97 – 98.
134. Корнейчук В.В. Формирование благоприятной визуальной среды сооружений природоохранных установок на системах водоотведения / В.В. Корнейчук, А.Е. Семененко, Е.С. Лебедева и др. // Еколого-правові та економічні аспекти екологічної безпеки регіонів. Матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції за участю молодих науковців. – Х.:

- ХНАДУ, 2013. – С. 391 – 395.
135. Юрченко В.А. Экологизация визуальной среды при сооружении природоохранных установок на системах водоотведения // В.А. Юрченко, О.А. Фоменко, Е.С. Лебедева и др. // Міське середовище – ХХІ сторіччя. Архітектура. Будівництво. Дизайн: Тези доповідей І Міжнародного науково-практичного конгреса, м. Київ, 10-14 лютого 2014 р. / відп. ред. О.А. Трошкіна. – К.: НАУ, 2014. – С. 43 – 44.
136. Юрченко В.О. Відеоекологічні аспекти установок дегазації на каналізаційних мережах / В.О. Юрченко, О.О. Фоменко, О.С. Лебедева // Екологія візуальності: стратегії, концепти, проекти. Матеріали ІV Всеукраїнської науково-практичної конференції (8-10 жовтня 2015 року). – Черкаси, 2015. – С. 207 – 211.
137. Методика розрахунку розмірів відшкодування збитків, які заподіяні державі в результаті наднормативних викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря. Затверджена Наказом Міністерства охорони навколишнього природного середовища України від 10 грудня 2008 р. № 639. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0048-09>. (дата звернення 30.11.2016) – Назва з екрана.
138. Закон України від 17.05.2016р. № 1360-VIII «Про внесення змін до Закону України «Про Державний бюджет України на 2016 рік». [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1384-19/paran16#n16>. (дата звернення 30.07.2016) – Назва з екрана.
139. Гранично допустимі концентрації \ГДК\та орієнтовні безпечні рівні діяння \ОБРД\забруднюючих речовин. в атмосферному повітрі населених місць, 2000. – 42 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [есо.ck.ua/docs/Perelik%20rechovyn,%20klas%20nebezpeky.doc](http://есо.ck.ua/docs/Perelik%20rechovyn,%20klas%20nebezpeky.doc). (дата звернення 30.11.2016) – Назва з екрана.
140. Податковий кодекс України. від 02.12.2010 , №2755-VI. Остання редакція від 01.01.2017. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://docs.dtkr.ua/doc/1011.47.0>. (дата звернення 03.01.2017) – Назва з

екрана.

141. АК «Харківоблененгро». Про введення роздрібних тарифів на електроенергію на січень 2016 року. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.oblenergo.kharkov.ua/consumers/tarifs/tarify-na-yanvar-2016-goda>. (дата звернення 30.01.2016) – Назва з екрана.
142. Про внесення строків, адміністрування та інші аспекти продажу квот на викиди парникових газів відповідно до Директиви 2003/87/ЄС Європейського Парламенту та Ради, яка впроваджує схему аукціону квот на викиди парникових газів у ЄС: Регламент Комісії (ЄС) №1031/2010 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.minjust.gov.ua/45875> (дата звернення 02.02.2016) – Назва з екрана.
143. Газы парниковые. Определение количества выбросов парниковых газов в организациях и отчетность. Руководство по применению стандарта ИСО 14064-1. ГОСТ Р 56267-2014/ISO/TR 14069:2013. – 2015. – 68 с. – (Национальный стандарт Российской Федерации).
144. А.В.Зинченко. Международная методика инвентаризации выбросов парниковых газов / А.В. Зинченко. Справочно-методическое пособие. – СПб., 2003. – 99 с.
145. Андреева Н.Н., Харичков С.К. Экологоориентированные инвестиции в системе обеспечения ресурсно-экологической безопасности.- Одесса, Институт проблем рынка и экономико-экологических исследований НАН Украины, 2000. – 196 с.
146. Хвесик М.А. Економічна оцінка природних ресурсів: основні методологічні підходи / М.А. Хвесик, Н.В. Збагерська. – Рівне: Видавництво РДТУ, 2000. – 194 с.
147. Хвесик, М. А. Економіко-правове регулювання природокористування: монографія / М. А. Хвесик, Л. М. Горбач, Ю. П. Кулаковський. – К.: Кондор, 2004. – 524 с.



148. Прокопенко О.В. Екологізація інноваційної діяльності: мотиваційний підхід: монографія / О.В. Прокопенко.– Суми: ВТД «Університетська книга», 2008.– 392 с.
149. Волошенко О. О. Екологічний потенціал у системі стратегічного управління еколого-орієнтованим розвитком підприємства // Формування ринкових відносин в Україні. – 2013.– № 6. – С. 183.–186.
150. Tietenberg T. Environmental and natural resource economics / T. Tietenberg. – AWL, 2000. – 630 p.
151. Біляк Т. О. Екологізація економічної діяльності як передумова забезпечення екологічної безпеки // Формування ринкових відносин в Україні. –2012. – № 7–8. – С.41–44 (№8).
152. Андреева Н. Научные подходы к диагностике инвестиций в природообразующие проекты: системология, инструментарий и методы реализации // Економіст. – 2012. – № 3. – С. 65–69.
153. Вишневська О. Еколого-орієнтований підхід у використанні та збереженні природно-ресурсного потенціалу регіону/ О. Вишневська, О. Літвак // Економіст. – 2012 – № 6. – С. 42–43.
154. Економіка. Екологія. Управління : зб. наук. праць, № 1 / Держ. податкова служба України, Нац. ун-т держ. податкової служби України ; гол. ред. П. В. Мельник, заст. гол. ред. Л. Л. Тарангул. – Ірпінь : ВЦ НУДПСУ, 2012. – 464с.
155. Рейтинг депозитов физ. лиц в Харькове [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://minfin.com.ua/deposits/kharkov>. (дата звернення 30.05.2016) – Назва з екрана.
156. Недов П. П. Экономический анализ капитальных инвестиций / П. П. Недов, А. В. Желнин. – Х.: Плеяда, 1998. – 255 с.
157. Нечипорук О. В. Методика рейтингової оцінки інвестиційної привабливості промислових підприємств / О. В. Нечипорук // Коммунальное хозяйство городов : научн.-технич. сб. Серия: Экономические науки. – К. : Техника. – 2007. – Вып. 75. – С. 275 – 284.

158. Юрченко В.А. Интерактивное экологическое картографирование накопления сероводорода в канализационных сетях г. Харькова / В.А. Юрченко, Е.С. Лебедева // Экология и рациональное природопользование агропромышленных регионов: сб.докл. II Международной молодежной научной конференции, 1-3 октября 2014 г. / БГТУ. – Белгород: изд-во БГТУ, 2014. – Ч.2. – С. 139–142.
159. Юрченко В.О., Лебедева О.С. Автоматизоване екологічне картографування накопичування сірководню в каналізаційних мережах м. Харкова / В.О. Юрченко, О.С. Лебедева // Ресурсозбереження і хіміко-екологічні проблеми технологічних процесів. Матеріали I Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції. – Харків: ХНАДУ, 2014. – С. 193–195.
160. Юрченко В.А. Автоматизация мониторинга газообразных выбросов из сетей водоотведения для повышения экологической безопасности городской атмосферы / В.А. Юрченко, Е.С. Лебедева // Прикладні аспекти техногенно-екологічної безпеки: збірник матеріалів I Міжнародної науково-практичної конференції / Національний університет цивільного захисту України. – Х.: НУЦЗУ, 2015. – С. 149–150.
161. Лебедева О.С. Екологічне картографування накопичування сірководню, що знижує експлуатаційний ресурс об'єктів в каналізаційних мережах м. Харкова / О.С. Лебедева, І.А. Міхєєв, Ю.С. Левашова // Методи підвищення ресурсу міських інженерних інфраструктур. Тези за матеріалами VI Всеукраїнського наукового семінару. – Харків: ХНУБА, 2014. – С. 56–58.
162. Коваленко А.В. Розробка автоматизованої інтерактивної карти систем каналізації м. Харкова / А.В. Коваленко, О.С. Лебедева, О.В. Лук'янов // Тези доповідей 69-ї науково-технічної конференції Харківського національного університету будівництва та архітектури. – Харків: ХНУБА. – 2014. – С. 78.
163. Лебедева Е.С. Концептуальная модель информационной системы мониторинга, созданной для повышения эксплуатационной надежности объектов канализационных сетей / Е.С. Лебедева, И.А. Михеев, Ю.С. Левашова //

Тези за матеріалами VII Всеукраїнської наукової конференції Методи підвищення ресурсу міських інженерних інфраструктур. – Харків: ХНУБА, 2015 . – С. 136–138.

164. Лебедева Е.С. Программное обеспечение мониторинга газообразных выбросов из шахт/колодцев систем водоотведения с использованием ГИС-технологий / Е.С. Лебедева, В.А. Юрченко // Экология и рациональное природопользование агропромышленных регионов: сб. докл. III Междунар. молодежной науч. конф., 10–11 нояб. 2015 г. / Белгор. гос. технол. ун-т. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. – Ч.1.– С. 242–244.
165. А.с. 63542 Україна. Комп'ютерна програма «Моніторинг газоподібних викидів з каналізаційних мереж» / В.О. Юрченко, І.А. Міхеєв, О.С. Лебедева. – Опубл. 17.11.2015.

## ДОДАТКИ

Таблиця А. 1 - Матриця планування експерименту та результати досліджень

Фізичне значення факторів		Температура, °С		ОВП, мВ		Тривалість інкубації, t		Т = 6 – 27, °С Eh = +120 – -60, мВ t = 3 – 48 год						
Фактори		Т		Eh		t								
Кодоване позначення факторів	X <sub>0</sub>	X <sub>1</sub>		X <sub>2</sub>		X <sub>3</sub>								
	Код	код	Значення	код	Значення	код	Значення							
Основний рівень		0	0,5	0	3	0	3,25							
Інтервал варіювання			0,25		2		0,75							
Верхній рівень		+1	0,75	+1	5	+1	4	Ефекти взаємодії			Ефективність придушення, Е%		Е <sub>ср</sub> , %	
Нижній рівень		-1	0,25	-1	1	-1	2,5	X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	X <sub>1</sub> X <sub>3</sub>	X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>				
1	+1	-1	0,25	-1	1	-1	2,5	+1	+1	+1	80	82	79	80,33
2	+1	+1	0,75	-1	1	-1	2,5	-1	-1	+1	58	52	51	53,67
3	+1	-1	0,25	+1	5	-1	2,5	-1	+1	-1	99	98	99	98,67
4	+1	+1	0,75	+1	5	-1	2,5	+1	-1	-1	66	68	70	68
5	+1	-1	0,25	-1	1	+1	4	+1	-1	-1	68	66	65	66,3
6	+1	+1	0,75	-1	1	+1	4	-1	+1	-1	35	38	40	37,66
7	+1	-1	0,25	+1	5	+1	4	-1	-1	+1	85	87	90	87,33
8	+1	+1	0,75	+1	5	+1	4	+1	+1	+1	50	55	53	52,66
	68,08	-15,08		8,5		-7,08		-1,25	-0,75	0,41				

## Регресійний аналіз статистичної моделі

$$\begin{array}{l}
 \text{ORIGIN} := 1 \\
 \text{матриця експеримента}
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{l}
 j := 1..3 \quad i := 1..8 \\
 \text{експериментальні дані}
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{l}
 i := 1..8 \\
 \text{середнє значення} \\
 \text{функції відгуку}
 \end{array}$$

$$\text{DATA1} := \begin{pmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 \\ -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 \\ -1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}
 \quad
 \text{Y\_data} := \begin{pmatrix} 80 & 82 & 79 \\ 58 & 52 & 51 \\ 99 & 98 & 99 \\ 66 & 68 & 70 \\ 68 & 66 & 65 \\ 35 & 38 & 40 \\ 85 & 87 & 90 \\ 50 & 55 & 53 \end{pmatrix}$$

$$Y_i := \text{mean} \left[ \left( (Y\_data)^T \right)^{\langle i \rangle} \right] \quad Y = \begin{pmatrix} 80.333 \\ 53.667 \\ 98.667 \\ 68 \\ 66.333 \\ 37.667 \\ 87.333 \\ 52.667 \end{pmatrix}$$

$$\text{DATA}_1 := \begin{pmatrix} 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

$$\begin{array}{l}
 X1 := \text{DATA1}^{\langle 1 \rangle} \\
 X2 := \text{DATA1}^{\langle 2 \rangle} \\
 X3 := \text{DATA1}^{\langle 3 \rangle}
 \end{array}$$

обчислення коефіцієнтів регресійного рівняння

$$b := (\text{DATA}_1^T \text{DATA}_1)^{-1} \cdot \text{DATA}_1^T \cdot Y$$

коефіцієнти регресійного рівняння

$$b = \begin{pmatrix} 68.083 \\ -15.083 \\ 8.583 \\ -7.083 \\ -1.25 \\ -0.75 \\ 0.417 \end{pmatrix}$$

$$N := 8 \quad k := 3$$

оцінка дисперсії для серії паралельних дослідів (вибіркові дисперсії)

$$sd\_2i := \frac{1}{k-1} \cdot \sum_{j=1}^3 \left[ Y\_data_{i,j} - \text{mean} \left[ \left( (Y\_data)^T \right)^{<i>i</i>} \right] \right]^2$$

оцінка дисперсії відтворюваності

$$S2vospr := \frac{1}{N} \sum sd\_2 \quad S2vospr = 5.292$$

критерій Кохрена

$$Gp := \frac{\max(sd\_2)}{\sum sd\_2} \quad Gp = 0.339$$

$$Gmax := 0.516$$

$$vosproizvodimo := \begin{cases} "da" & \text{if } Gp < Gmax \\ "net" & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$sd\_2 = \begin{pmatrix} 2.333 \\ 14.333 \\ 0.333 \\ 4 \\ 2.333 \\ 6.333 \\ 6.333 \\ 6.333 \end{pmatrix}$$

$$\overline{vosproizvodimo = "da"}$$

визначення значущості коефіцієнтів

$$S_{estimate} := \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^3 \left[ Y\_data_{i,j} - \text{mean} \left[ \left( (Y\_data)^T \right)^{<i>i</i>} \right] \right]^2$$

$$\phi := N \cdot (k-1) \cdot t := t_{kr,\phi} \quad s2 := \frac{S_{estimate}}{\phi \cdot k}$$

$$Sb := \sqrt{\frac{s2}{N}}$$

$$\overline{S_{estimate} = 84.667}$$

$$\phi = 16 \quad t = 2 \sqrt{s2} = 1.764$$

$$\overline{Sb \cdot t = 0.995}$$

$$\begin{aligned}
 & \text{ORIGIN} := 0 \\
 & \text{B} := \begin{pmatrix} b_0 \\ b_1 \text{ if } |b_1| > Sb \cdot t \\ 0 \text{ otherwise} \\ b_2 \text{ if } |b_2| > Sb \cdot t \\ 0 \text{ otherwise} \\ b_3 \text{ if } |b_3| > Sb \cdot t \\ 0 \text{ otherwise} \\ b_4 \text{ if } |b_4| > Sb \cdot t \\ 0 \text{ otherwise} \\ b_5 \text{ if } |b_5| > Sb \cdot t \\ 0 \text{ otherwise} \\ b_6 \text{ if } |b_6| > Sb \cdot t \\ 0 \text{ otherwise} \end{pmatrix}
 \end{aligned}$$

$$\text{B} = \begin{pmatrix} 68.083 \\ -15.083 \\ 8.583 \\ -7.083 \\ -1.25 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\text{Yteor} := B_0 + B_1 \cdot X_1 + B_2 \cdot X_2 + B_3 \cdot X_3 + B_4 \cdot X_1 \cdot X_2 + B_5 \cdot X_1 \cdot X_3 + B_6 \cdot X_2 \cdot X_3$$



ORIGIN := 1

$$\phi_1 := N - k - 1 \quad \phi_2 := N \cdot (k - 1) \quad F_{kr} := \text{Fisher}_{\phi_2, \phi_1}$$

$$\phi_1 = 4 \quad \phi_2 = 16$$

$$S_{\text{defekt}} := \sum [3 \cdot (Y_{\text{teor}} - Y)^2]$$

$$F_{kr} = 3.01$$

$$\sqrt{S_{\text{defekt}}} = 56.667$$
$$\sqrt{S_{\text{estimate}}} = 84.667$$

$$F_w := \frac{\frac{S_{\text{defekt}}}{\phi_1}}{\frac{S_{\text{estimate}}}{\phi_2}}$$

$$Y_{\text{teor}} = \begin{pmatrix} 81.667 \\ 51.5 \\ 98.833 \\ 68.667 \\ 67.5 \\ 37.333 \\ 84.667 \\ 54.5 \end{pmatrix} \quad Y = \begin{pmatrix} 80.333 \\ 53.667 \\ 98.667 \\ 68 \\ 66.333 \\ 37.667 \\ 87.333 \\ 52.667 \end{pmatrix}$$

$$\text{adekvatno} := \begin{cases} \text{"da"} & \text{if } F < F_{kr} \\ \text{"net"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sqrt{F} = 2.677 \quad \text{adekvatno} - \text{"da"}$$

## Формули для аеродинамічного розрахунку димової труби

1. Витрата палива котельні :  $G = \frac{Q}{Q_n \cdot \eta} =$  нм<sup>3</sup>/час
2. Питома потреба в повітрі для горіння :  $V_g = \frac{1,12 \cdot Q_n}{1000} =$  м<sup>3</sup>/нм<sup>3</sup>
3. Питомий обсяг продуктів згорання:  $V_{nc} = \alpha \cdot V_g =$  м<sup>3</sup>/нм<sup>3</sup>
4. Нормативний обсяг продуктів згорання:  $V_{н.пс} = G \cdot V_{nc} =$  нм<sup>3</sup>/ч
5. Охолодження димових газів:  $\Delta t = \frac{(T_z - T_{об})}{C_g \cdot V_{н.пс} / (K_{ст} \cdot F) + 0,5} =$  грС/м
6. Середня температура димових газів:  $T_{cp} = T_z - \frac{(L + H) \cdot \Delta t}{2} =$  °С
7. Фактичний секундний обсяг продуктів згорання:  $V = V_{nc} \cdot \frac{G}{3600} \cdot \left( \frac{273 + T_{cp}}{273} \right) =$  м<sup>3</sup>/сек
8. Швидкість газів на горизонтальній ділянці:  $W_{гор} = \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot D_z^2} =$  0,6 м/с
9. Теж, на вертикальній ділянці:  $W_{верт} = \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot D_m^2} =$  0,6 м/с
10. Питома вага газів на горизонтальній ділянці:  $\gamma_{гор} = \frac{\gamma_0 \cdot 273}{T_z + 273} =$  кг/м<sup>3</sup>
11. Теж на вертикальній ділянці:  $\gamma_{верт} = \frac{\gamma_0 \cdot 273}{T_{cp} + 273} =$  кг/м<sup>3</sup>

12.

Коефіцієнти місцевих опорів:

Вид	раптов. звужен.	раптов. розш.	повор. 90 <sup>0</sup>	розшир. з повор. 90 <sup>0</sup>	тяго прерив	тройник		вихід з труби
						прохід	повор.	
КМС	0,3	0,43	0,9	1,2	0,5	0,5	1,5	1,5
кільк. на гор. діл.	0	0	2	1	0	0	1	0
кільк. на верт. діл.	0	0	0	0	0	0	0	1

13.

Втрати тиску на горизонтальній ділянці:

$$\Delta p_{гор} = \left( \lambda \cdot \frac{L}{D_2} + \Sigma \xi \right) \cdot \frac{W_{гор}^2}{2g} \cdot \gamma_{гор} = \text{мм.в.ст.}$$

14.

Втрати тиску на вертикальній ділянці:

$$\Delta p_{верт} = \left( \lambda \cdot \frac{H}{D_m} + \Sigma \xi \right) \cdot \frac{W_{верт}^2}{2g} \cdot \gamma_{сп} = \text{мм.в.ст.}$$

15.

Повний аеродинамічний опір газового тракту: мм.в.ст.

16.

Самотяга димової труби:

$$H_c = H \cdot \left( \gamma_g \cdot \frac{273}{273 + T_g} - \gamma_0 \cdot \frac{273}{273 + T_{cp}} \right) \cdot \frac{g}{9,81} = \text{кг/м}^2$$

17.

Висновок: Самотяга газового тракту перевищує аеродинамічний опір на: мм.в.ст.

Таблиця Д.1 - Розрахунок концентрації сірководню в газо-повітряному викиді на виході з каналізаційних шахт м. Харкова

№	Найменування шахти	Концентрація H <sub>2</sub> S в підсклепіневому просторі каналізаційних трубопроводів, мг/м <sup>3</sup>	Висота шахти, м	Очікувана концентрація H <sub>2</sub> S на виході з шахти, мг/м <sup>3</sup>	Кратність перевищення ГДКр.з., частки ГДК
1	2	3	4	5	6
Колектор ХТЗ					
1.	Шахта №4	99	15	32,61717269	3,2
2.	Шахта №6	10	13	3,789765569	-
3.	Шахта №7	12	12	4,877465494	-
4.	Шахта №8	12	12	4,877465494	-
5.	Шахта №10	16	11,7	6,641300424	-
6.	Шахта №11	25	8	13,44483334	1,3
7.	Шахта №12	120	6,8	70,19034822	7
8.	КНС 2	12	7	6,921453001	-
9.	Шахта №3	28	8	15,05821334	1,5
10.	Ш. №4 (вул. Зубарева)	6	9	3,008611084	-
Колектор Фрунзенський					
11.	Шахта №1	6	10	2,805210381	-
Колектор 3 розвантажувальний ХТЗ					
12.	Шахта №1	10	11	4,359268038	-

13.	Шахта №2	16	11,7	6,641300424	-
14.	Шахта №3	10	7	5,767877501	-
15.	Шахта №26	22	6,3	13,32659313	-
16.	Шахта №27	22	6	13,60941078	1,4
Колектор Промпобутовий					
17.	Шахта №5	58	7	33,45368951	3,3
Колектор Харківський					
18.	Шахта №5	59	7,5	32,86001316	3,3
19.	Шахта №6	58	8	31,19201335	3,1
Колектор Північної групи заводів					
20.	Шахта №19	6	8,3	3,159704588	-
21.	Шахта №15	18	8,5	9,347330804	-
22.	Шахта №13	2	9	1,002870361	-
23.	Шахта №10	5	9,2	2,472320001	-
24.	Шахта №9	6	9,5	2,905131158	-
25.	Шахта №8	6	10	2,805210381	-
26.	Шахта №7	5	11	2,179634019	-
27.	Шахта №6	6	11,7	2,490487659	-
28.	Шахта №5	12	12	4,877465494	-
29.	Шахта №4б	42	16	12,90208192	-
30.	Шахта №4а	75	16	23,039432	2,3
31.	Шахта №4	6	16	1,84315456	-
32.	Шахта №2	120	16	36,8630912	3,6
Колектор Головний					
33.	Шахта №3	22	8	11,83145334	1,1
34.	Шахта №2БІС	1	7,3	0,564801503	-

	Орбіта				
35.	Шахта 2	12	6	7,42331497	-
36.	Шахта Єталон	10	12	4,064554578	-
Колектор Центральний					
37.	Шахта №4БІС	6	11	2,615560823	-
38.	Шахта №4	5	10	2,337675318	-
Колектор Плеханівський					
39.	Шахта №1	3	8,5	1,557888467	-
40.	Шахта №2	5	8,6	2,578368879	-
41.	Шахта №4	4	9	2,005740723	-
Колектор Греківський					
42.	Шахта №8	3	6	1,855828743	-
Колектор Будгідравлика					
43.	Шахта №1	3	7	1,73036325	-
44.	Шахта №2	5	8,8	2,54252322	-
45.	Шахта №3	1	9	0,501435181	-
Колектор Основ'янський					
46.	Шахта №1	3	10	1,402605191	-
47.	Шахта №2	3	11,3	1,28060338	-
48.	Шахта №3	3	12	1,219366373	-
49.	Шахта №4	3	12,2	1,202414186	-
Колектор «Автозапчастина»					
50.	Шахта №1	35	8,5	18,17536545	1,8
51.	Шахта №2	10	8	5,377933336	-
52.	Шахта №3	20	7,3	11,29603007	1,1

Колектор Москальовський					
53.	Шахта №7 Зелений острів	5	10	2,337675318	-
54.	Шахта №6	4	12	1,625821831	-
55.	Шахта №5	4	12,5	1,569902366	-
56.	Шахта №3БІС	4	13	1,515906228	-
Колектор Іванівський					
57.	Шахта №5	22	13,1	8,279325655	-
58.	Шахта №6	10	10	4,675350635	-
59.	Шахта №7	20	9	10,02870361	-
60.	Шахта №7 БІС	10	8	5,377933336	-
Колектор Олексіївський					
61.	Шахта №13	2	6	1,237219162	-
62.	Шахта №33	3	5	1,990391509	-

Таблиця 3.1 - Вихідні дані для розрахунку розсіювання сірководню від каналізаційних шахт в атмосфері м. Харко-

ва

№ дж.випливу	Джерело	X початку, м	Y початку, м	X кінця, м	Y кінця, м	Висота, м	Діаметр, м	Витрата ППС, м <sup>3</sup> /сек	Температура, °С	Максимальний викид, г/сек
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Колектор ХТЗ										
1	Шахта №4	15372,5	6471,5	15376,25	6475	0,05	3,75x3,5	0,23	26,1	0,0075
2	Шахта №6	15996	6342,5			0,05	0,7	0,23	26,1	0,0010
3	Шахта №7	16254	5934			0,05	0,7	0,23	26,1	0,0012
4	Шахта №8	16920,5	5267,5			0,05	0,7	0,23	26,1	0,0012
5	Шахта №10	17931	4837,5			0,05	5	0,23	26,1	0,0016
6	Шахта №11	18533	4343			0,05	0,7	0,23	26,1	0,0031
7	Шахта №12	18468,5	3698			0,05	5	0,23	26,1	0,0161
8	КНС 2	17329	2064			0,05	0,7	0,23	26,1	0,0016
9	Шахта №3	17135,5	1634			0,05	0,7	0,23	26,1	0,0035
10	Шахта №4 (вул. Зубарева)	18146	1956,5			0,05	0,7	0,23	26,1	0,0006
Колектор Фрунзенський										
11	Шахта №1	16275,5	7052			0,05	0,7	0,23	26,1	0,0006
Колектор 3 розвантажувальний ХТЗ										
12	Шахта №1	14813,5	5762			0,05	0,7	0,23	26,1	0,0010
13	Шахта №2	14061	5052,5			0,05	0,7	0,23	26,1	0,0016
14	Шахта №3	12126	4665,5			0,05	0,7	0,23	26,1	0,0013
15	Шахта №26	8449,5	258			0,05	0,7	0,23	26,1	0,0022
16	Шахта №27	8385	215			0,05	0,7	0,23	26,1	0,0031



Продовження табл. Ж. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Колектор Промпобутовий										
17	Шахта №5	14835	7353			0,05	0,7	0,23	26,1	0,0077
Колектор Харківський										
18	Шахта №5	7869	11416,5	7871,5	11418,5	0,05	2,5x2,0	0,23	26,1	0,0076
19	Шахта №6	7976,5	11373,5			0,05	0,7	0,23	26,1	0,0071
Колектор Північної групи заводів										
20	Шахта №19	8492,5	17737,5			0,05	0,7	0,23	26,1	0,0007
21	Шахта №15	9890	16877,5			0,05	0,7	0,23	26,1	0,0021
22	Шахта №13	10105	15050			0,05	0,7	0,23	26,1	0,0002
23	Шахта №10	9761	13867,5			0,05	0,7	0,23	26,1	0,0005
24	Шахта №9	9374	13609,5			0,05	0,7	0,23	26,1	0,0006
25	Шахта №8	8471	12577,5			0,05	0,7	0,23	26,1	0,0006
26	Шахта №7	8299	12147,5			0,05	0,7	0,23	26,1	0,0005
27	Шахта №6	7740	12061,5			0,05	0,7	0,23	26,1	0,0006
28	Шахта №5	7525	11954			0,05	0,7	0,23	26,1	0,0012
29	Шахта №4б	7568	11911			0,05	0,7	0,23	26,1	0,0042
30	Шахта №4а	7740	11868			0,05	0,7	0,23	26,1	0,0075
31	Шахта №4	7761,5	11911			0,05	0,7	0,23	26,1	0,0006
32	Шахта №2	7804,5	11846,5			0,05	0,7	0,23	26,1	0,0084
Колектор Головний										
33	Шахта №3	7138	10470,5	7143	10476,5	0,05	5,0x6,0	0,23	26,1	0,0027
34	Шахта №2БІС Орбіта	5783,5	10019			0,05	0,7	0,23	26,1	0,0001
35	Шахта №2	5504	8492,5			0,05	0,7	0,23	26,1	0,0017
36	Шахта Еталон	5482,5	7847,5			0,05	0,7	0,23	26,1	0,0010

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Колектор Центральний										
37	Шахта №4БІС	6557,5	10685,5			0,05	0,7	0,23	26,1	0,0006
38	Шахта №4	6880	10556,5			0,05	0,7	0,23	26,1	0,0005
Колектор Плеханівський										
39	Шахта №1	7095	9546			0,05	0,7	0,23	26,1	0,0003
40	Шахта №2	8062,5	9159			0,05	0,7	0,23	26,1	0,0005
41	Шахта №4	9395,5	8815			0,05	0,7	0,23	26,1	0,0004
Колектор Греківський										
42	Шахта №8	5246	8664,5			0,05	0,7	0,23	26,1	0,0003
Колектор Будгідраліка										
43	Шахта №1	5633	8277,5			0,05	0,7	0,23	26,1	0,0003
44	Шахта №2	5869,5	8191,5			0,05	0,7	0,23	26,1	0,0005
45	Шахта №3	5934	7783			0,05	0,7	0,23	26,1	0,0010
Колектор Основ'янський										
46	Шахта №1	4536,5	4902			0,05	0,7	0,23	26,1	0,0003
47	Шахта №2	5547	5375			0,05	0,7	0,23	26,1	0,0003
48	Шахта №3	5461	5719			0,05	0,7	0,23	26,1	0,0003
49	Шахта №4	5267,5	6256,5			0,05	0,7	0,23	26,1	0,0003
Колектор «Автозапчастина»										
50	Шахта №1	4063,5	7525			0,05	0,7	0,23	26,1	0,0041
51	Шахта №2	4300	7826			0,05	0,7	0,23	26,1	0,0012
52	Шахта №3	4751,5	7804,5			0,05	0,7	0,23	26,1	0,0025

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Колектор Москальовський										
53	Шахта №7 Зелений острів	5461	8449,5			0,05	0,7	0,23	26,1	0,0005
54	Шахта №6	4730	8191,5			0,05	0,7	0,23	26,1	0,0004
55	Шахта №5	4214	9245			0,05	0,7	0,23	26,1	0,0004
56	Шахта №3БИС	3870	9847			0,05	0,7	0,23	26,1	0,0019
Колектор Іванівський										
57	Шахта №5	3569	10384,5	3575,5	10391	0,05	6,5x6,5	0,23	26,1	0,0022
58	Шахта №6	3805,5	12212			0,05	0,7	0,23	26,1	0,0010
59	Шахта №7	3483	12620,5			0,05	0,7	0,23	26,1	0,0023
60	Шахта №7 БИС	3999	12771			0,05	0,7	0,23	26,1	0,0012
Колектор Олексіївський										
61	Шахта №13	3934,5	13222,5			0,05	0,7	0,23	26,1	0,0003
62	Шахта №33	2408	15372,5			0,05	0,7	0,23	26,1	0,0004

### 3.1 Розрахунок розсіювання сірководню в атмосфері житлової забудови від каналізаційної шахти №11 колектора ХТЗ до впровадження теплонасосного обладнання

Завдання на розрахунок.

Розрахунок виконаний 16.11.2015 в 21:11 програмою Сол-Плюс, версія 5.23.

ТАБЛИЦЯ 1. Список проммайданчиків.

Код пр. майданчика	Найменування проммайданчика
1	Коллектор ХТЗ

ТАБЛИЦЯ 2. Список речовин.

Код речовини	Найменування речовини
333	Сірководень

ТАБЛИЦЯ 3. Список груп суммацій.

Код групи	Речовини, що утворюють групи сумації (коди)										Коефіцієнт потенц.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	

ТАБЛИЦЯ 4. Параметри розрахункових майданчиків

N	Коорд. центра сим.		Довжина, м	Ширина, м	Шаг сітки			Кут повороту розр. майд. відн.	Ознака зони
	X, м	Y, м			вісь ОХ, м	вісь ОУ, м	вісі ОХ осн. сист. коорд., град.		
1	0	0	500	500	25	25	0	1	

ТАБЛИЦЯ 5. Завдання на розрахунок.

Найменування міста	Швидкості вітру в м/с					Швидкості вітру в частках (Umc)					Крок перебору небезп. напр. вітру	Фікс. напр. вітру	Кільк. найб. вклад.	Число макс. концен.	Озн. урах. фона	
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5						
kharkow	0.5	1	1.5			0.5	1	1.5						1	1	1

Розрахунок виконаний 16.11.2015 в 21:11 програмою Єол-Плюс, версія 5.23.

ТАБЛИЦЯ 1. Опис метеорологічних умов та географічна прив'язка

Код міста	Найменування міста	Середн темп. повітря		Гранична швидкість вітру, м/с	Регіональний Коєф. страт. атмо-сфери	Кут між Північн. напрямом віссю ОХ, град.	Площа міста, кв. км	Вимоги до рівня конц. в точці (часток ПДК)
		в самий спекотн. місяць, град. С	в самий холод-ний місяць, град. С					
1	kharkow	26.1	-7.3	9	200		10	

Розрахунок виконаний 16.11.2015 в 21:11 програмою Єол-Плюс, версія 5.23.

ТАБЛИЦЯ 2. Опис проммайданчиків (географічна прив'язка)

Код міста	Код проммайданчика	Найменування проммайданчика	Прив'язка до основної системи координат		
			X початку, м	Y початку, м	Кут повороту, град.
1	1	Коллектор ХТЗ			

ТАБЛИЦЯ 3. Опис джерел викиду шкідливих речовин

Код міста	Код пром. майд.	Код джере-ла	Найменування джерела	Код моделі чи кут між віссю ОХ та довж. плоскостного джерела	Коєф. рельєфа	Коорд. точкового чи початку лінійного дже-рела чи центра си-метрії плоскостного		Коорд. кінця лінійного чи довжина та ширина рела, плоскостного чи точ-кового з прямокут. гирлом		Висота дже-рела, м	Діаметр точкового чи плоскостного 2-го типу чи швидкість виходу ПГПС(Wo) для лінійно-го, (для плоск. 1-го типа - 0)	Витрата ПГПС, (для плоск. 1-го типу - 0)	Температура ПГПС (град. С)	Клас небез-пеки
						X1, м	Y1, м	X2, м	Y2, м					
1	1	1	шахта 11	444	1	0	0	0	0	0,05	0.7	0.23	26.1	0

ТАБЛИЦЯ 4. Характеристика складу викиду джерела

Код міста	Код пром. майд.	Код джер.	Код речови-ни	Сумарний викид т/рік	Коєф. упоряд. осідання речовини	Максимальний викид (г/с) при швидкостях вітру									
						0.5 м/с	1 м/с	2 м/с	4 м/с	6 м/с	8 м/с	10 м/с	12 м/с	14 м/с	16 м/сек
1	1	1	333		1	0.0025									

ТАБЛИЦЯ 5. Опис шкідливих речовин

Код вещества	Наименование вещества	ПДК	Коэфф. упоряд. осе-дания
333	Сірководень	0.008	1

ТАБЛИЦЯ 6. Опис груп сумачії шкідливих речовин

Код групи	Речовини утворюючі групи сумачій (коди)										Коефіцієнт потенц.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	

ТАБЛИЦЯ 7. Опис розподілу фонових концентрацій (U – швидкість вітру м/с)

Код міста	Код речов.	Завдання фону	Коорд. поста спостер.		Конц.(в частк. ГДК) при U<=2	Концентрація (чатка ГДК) при 2<U<U* по напрямкам									
			X, м	Y, м		С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ		
1															

Розрахунок виконаний 16.11.2015 в 21:11 програмою Єол-Плюс, версія 5.23.

Речовина 333 (Сірководень)

Розрахунковий майданчик 1

Розрахункові концентрації в заданих точках

Коорд.Х, м	Коорд.У, м	Конц. в точці мг/м3	Конц. в точці, част. ГДК	Напр. вітру, град.	Швидк. вітру, м/с	Код джер.	Вклад, %	Код джер.	Вклад, %	Код джер.	Вклад, %	Код джер.	Вклад, %	Код джер.	Вклад, %
-250	250	0.0012	0.15	45	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-225	250	0.0013	0.17	48.01	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-200	250	0.0014	0.18	51.34	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-175	250	0.0015	0.19	55.01	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-150	250	0.0017	0.21	59.04	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-125	250	0.0018	0.22	63.43	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-100	250	0.0019	0.24	68.20	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-75	250	0.0020	0.25	73.30	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-50	250	0.0021	0.26	78.69	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-25	250	0.0022	0.27	84.29	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
0	250	0.0022	0.27	90	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
25	250	0.0022	0.27	95.71	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
50	250	0.0021	0.26	101.31	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
75	250	0.0020	0.25	106.70	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
100	250	0.0019	0.24	111.80	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
125	250	0.0018	0.22	116.57	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
150	250	0.0017	0.21	120.96	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
175	250	0.0015	0.19	124.99	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
200	250	0.0014	0.18	128.66	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
225	250	0.0013	0.17	131.99	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
250	250	0.0012	0.15	135	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-250	225	0.0013	0.17	41.99	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0

-225	225	0.0015	0.18	45	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-200	225	0.0016	0.20	48.37	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-175	225	0.0017	0.22	52.13	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-150	225	0.0019	0.24	56.31	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-125	225	0.0021	0.26	60.95	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-100	225	0.0022	0.28	66.04	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-75	225	0.0024	0.30	71.57	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-50	225	0.0025	0.32	77.47	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-25	225	0.0026	0.33	83.66	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
0	225	0.0026	0.33	90	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
25	225	0.0026	0.33	96.34	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
50	225	0.0025	0.32	102.53	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
75	225	0.0024	0.30	108.43	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
100	225	0.0022	0.28	113.96	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
125	225	0.0021	0.26	119.05	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
150	225	0.0019	0.24	123.69	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
175	225	0.0017	0.22	127.87	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
200	225	0.0016	0.20	131.63	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
225	225	0.0015	0.18	135	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
250	225	0.0013	0.17	138.01	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-250	200	0.0014	0.18	38.66	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-225	200	0.0016	0.20	41.63	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-200	200	0.0018	0.22	45	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-175	200	0.0020	0.24	48.81	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-150	200	0.0022	0.27	53.13	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-125	200	0.0024	0.30	57.99	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-100	200	0.0027	0.33	63.43	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-75	200	0.0029	0.36	69.44	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-50	200	0.0031	0.39	75.96	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-25	200	0.0033	0.41	82.87	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
0	200	0.0033	0.41	90	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
25	200	0.0033	0.41	97.13	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
50	200	0.0031	0.39	104.04	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
75	200	0.0029	0.36	110.56	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
100	200	0.0027	0.33	116.57	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
125	200	0.0024	0.30	122.01	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
150	200	0.0022	0.27	126.87	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
175	200	0.0020	0.24	131.19	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
200	200	0.0018	0.22	135	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
225	200	0.0016	0.20	138.37	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
250	200	0.0014	0.18	141.34	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-250	175	0.0015	0.19	34.99	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-225	175	0.0017	0.22	37.87	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-200	175	0.0020	0.24	41.19	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-175	175	0.0022	0.28	45	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-150	175	0.0025	0.32	49.40	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-125	175	0.0029	0.36	54.46	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-100	175	0.0033	0.41	60.26	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0

-75	175	0.0036	0.45	66.80	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-50	175	0.0039	0.49	74.05	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-25	175	0.0042	0.52	81.87	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
0	175	0.0042	0.53	90	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
25	175	0.0042	0.52	98.13	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
50	175	0.0039	0.49	105.95	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
75	175	0.0036	0.45	113.20	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
100	175	0.0033	0.41	119.74	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
125	175	0.0029	0.36	125.54	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
150	175	0.0025	0.32	130.60	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
175	175	0.0022	0.28	135	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
200	175	0.0020	0.24	138.81	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
225	175	0.0017	0.22	142.13	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
250	175	0.0015	0.19	145.01	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-250	150	0.0017	0.21	30.96	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-225	150	0.0019	0.24	33.69	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-200	150	0.0022	0.27	36.87	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-175	150	0.0025	0.32	40.60	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-150	150	0.0030	0.37	45	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-125	150	0.0035	0.43	50.19	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-100	150	0.0040	0.50	56.31	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-75	150	0.0046	0.57	63.43	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-50	150	0.0051	0.64	71.57	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-25	150	0.0055	0.68	80.54	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
0	150	0.0056	0.70	90	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
25	150	0.0055	0.68	99.46	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
50	150	0.0051	0.64	108.43	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
75	150	0.0046	0.57	116.57	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
100	150	0.0040	0.50	123.69	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
125	150	0.0035	0.43	129.81	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
150	150	0.0030	0.37	135	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
175	150	0.0025	0.32	139.40	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
200	150	0.0022	0.27	143.13	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
225	150	0.0019	0.24	146.31	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
250	150	0.0017	0.21	149.04	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-250	125	0.0018	0.22	26.57	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-225	125	0.0021	0.26	29.05	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-200	125	0.0024	0.30	32.01	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-175	125	0.0029	0.36	35.54	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-150	125	0.0035	0.43	39.81	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-125	125	0.0042	0.52	45	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-100	125	0.0050	0.62	51.34	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-75	125	0.0060	0.75	59.04	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-50	125	0.0069	0.86	68.20	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-25	125	0.0076	0.95	78.69	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
0	125	0.0078	0.98	90	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
25	125	0.0076	0.95	101.31	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
50	125	0.0069	0.86	111.80	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0



75	125	0.0060	0.75	120.96	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
100	125	0.0050	0.62	128.66	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
125	125	0.0042	0.52	135	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
150	125	0.0035	0.43	140.19	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
175	125	0.0029	0.36	144.46	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
200	125	0.0024	0.30	147.99	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
225	125	0.0021	0.26	150.95	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
250	125	0.0018	0.22	153.43	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-250	100	0.0019	0.24	21.80	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-225	100	0.0022	0.28	23.96	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-200	100	0.0027	0.33	26.57	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-175	100	0.0033	0.41	29.74	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-150	100	0.0040	0.50	33.69	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-125	100	0.0050	0.62	38.66	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-100	100	0.0063	0.79	45	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-75	100	0.0078	0.98	53.13	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-50	100	0.0095	1.18	63.43	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-25	100	0.011	1.35	75.96	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
0	100	0.011	1.41	90	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
25	100	0.011	1.35	104.04	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
50	100	0.0095	1.18	116.57	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
75	100	0.0078	0.98	126.87	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
100	100	0.0063	0.79	135	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
125	100	0.0050	0.62	141.34	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
150	100	0.0040	0.50	146.31	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
175	100	0.0033	0.41	150.26	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
200	100	0.0027	0.33	153.43	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
225	100	0.0022	0.28	156.04	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
250	100	0.0019	0.24	158.20	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-250	75	0.0020	0.25	16.70	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-225	75	0.0024	0.30	18.43	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-200	75	0.0029	0.36	20.56	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-175	75	0.0036	0.45	23.20	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-150	75	0.0046	0.57	26.57	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-125	75	0.0060	0.75	30.96	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-100	75	0.0078	0.98	36.87	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-75	75	0.010	1.29	45	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-50	75	0.013	1.67	56.31	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-25	75	0.016	2.06	71.57	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
0	75	0.018	2.24	90	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
25	75	0.016	2.06	108.43	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
50	75	0.013	1.67	123.69	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
75	75	0.010	1.29	135	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
100	75	0.0078	0.98	143.13	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
125	75	0.0060	0.75	149.04	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
150	75	0.0046	0.57	153.43	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
175	75	0.0036	0.45	156.80	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
200	75	0.0029	0.36	159.44	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0

225	75	0.0024	0.30	161.57	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
250	75	0.0020	0.25	163.30	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-250	50	0.0021	0.26	11.31	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-225	50	0.0025	0.32	12.53	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-200	50	0.0031	0.39	14.04	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-175	50	0.0039	0.49	15.95	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-150	50	0.0051	0.64	18.43	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-125	50	0.0069	0.86	21.80	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-100	50	0.0095	1.18	26.57	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-75	50	0.013	1.67	33.69	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-50	50	0.020	2.44	45	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-25	50	0.027	3.42	63.43	0.75	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
0	50	0.032	3.97	90	0.75	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
25	50	0.027	3.42	116.57	0.75	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
50	50	0.020	2.44	135	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
75	50	0.013	1.67	146.31	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
100	50	0.0095	1.18	153.43	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
125	50	0.0069	0.86	158.20	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
150	50	0.0051	0.64	161.57	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
175	50	0.0039	0.49	164.05	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
200	50	0.0031	0.39	165.96	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
225	50	0.0025	0.32	167.47	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
250	50	0.0021	0.26	168.69	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-250	25	0.0022	0.27	5.71	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-225	25	0.0026	0.33	6.34	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-200	25	0.0033	0.41	7.13	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-175	25	0.0042	0.52	8.13	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-150	25	0.0055	0.68	9.46	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-125	25	0.0076	0.95	11.31	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-100	25	0.011	1.35	14.04	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-75	25	0.016	2.06	18.43	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-50	25	0.027	3.42	26.57	0.75	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-25	25	0.047	5.88	45	0.75	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
0	25	0.062	7.76	90	0.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
25	25	0.047	5.88	135	0.75	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
50	25	0.027	3.42	153.43	0.75	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
75	25	0.016	2.06	161.57	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
100	25	0.011	1.35	165.96	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
125	25	0.0076	0.95	168.69	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
150	25	0.0055	0.68	170.54	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
175	25	0.0042	0.52	171.87	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
200	25	0.0033	0.41	172.87	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
225	25	0.0026	0.33	173.66	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
250	25	0.0022	0.27	174.29	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-250	0	0.0022	0.27	8.5304E-11	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-225	0	0.0026	0.33	8.5304E-11	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-200	0	0.0033	0.41	8.5304E-11	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-175	0	0.0042	0.53	8.5304E-11	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0

-150	0	0.0056	0.70	8.5304E-11	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-125	0	0.0078	0.98	8.5304E-11	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-100	0	0.011	1.41	8.5304E-11	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-75	0	0.018	2.24	8.5304E-11	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-50	0	0.032	3.97	8.5304E-11	0.75	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-25	0	0.062	7.76	8.5304E-11	0.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0.089	11.16	180	0.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0.062	7.76	180	0.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
50	0	0.032	3.97	180	0.75	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
75	0	0.018	2.24	180	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
100	0	0.011	1.41	180	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
125	0	0.0078	0.98	180	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
150	0	0.0056	0.70	180	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
175	0	0.0042	0.53	180	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
200	0	0.0033	0.41	180	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
225	0	0.0026	0.33	180	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
250	0	0.0022	0.27	180	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-250	-25	0.0022	0.27	354.29	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-225	-25	0.0026	0.33	353.66	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-200	-25	0.0033	0.41	352.87	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-175	-25	0.0042	0.52	351.87	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-150	-25	0.0055	0.68	350.54	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-125	-25	0.0076	0.95	348.69	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-100	-25	0.011	1.35	345.96	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-75	-25	0.016	2.06	341.57	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-50	-25	0.027	3.42	333.43	0.75	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-25	-25	0.047	5.88	315	0.75	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
0	-25	0.062	7.76	270	0.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
25	-25	0.047	5.88	225	0.75	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
50	-25	0.027	3.42	206.57	0.75	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
75	-25	0.016	2.06	198.43	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
100	-25	0.011	1.35	194.04	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
125	-25	0.0076	0.95	191.31	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
150	-25	0.0055	0.68	189.46	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
175	-25	0.0042	0.52	188.13	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
200	-25	0.0033	0.41	187.13	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
225	-25	0.0026	0.33	186.34	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
250	-25	0.0022	0.27	185.71	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-250	-50	0.0021	0.26	348.69	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-225	-50	0.0025	0.32	347.47	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-200	-50	0.0031	0.39	345.96	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-175	-50	0.0039	0.49	344.05	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-150	-50	0.0051	0.64	341.57	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-125	-50	0.0069	0.86	338.20	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-100	-50	0.0095	1.18	333.43	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-75	-50	0.013	1.67	326.31	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-50	-50	0.020	2.44	315	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-25	-50	0.027	3.42	296.57	0.75	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0

0	-50	0.032	3.97	270	0.75	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
25	-50	0.027	3.42	243.43	0.75	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
50	-50	0.020	2.44	225	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
75	-50	0.013	1.67	213.69	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
100	-50	0.0095	1.18	206.57	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
125	-50	0.0069	0.86	201.80	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
150	-50	0.0051	0.64	198.43	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
175	-50	0.0039	0.49	195.95	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
200	-50	0.0031	0.39	194.04	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
225	-50	0.0025	0.32	192.53	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
250	-50	0.0021	0.26	191.31	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-250	-75	0.0020	0.25	343.30	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-225	-75	0.0024	0.30	341.57	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-200	-75	0.0029	0.36	339.44	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-175	-75	0.0036	0.45	336.80	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-150	-75	0.0046	0.57	333.43	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-125	-75	0.0060	0.75	329.04	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-100	-75	0.0078	0.98	323.13	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-75	-75	0.010	1.29	315	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-50	-75	0.013	1.67	303.69	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-25	-75	0.016	2.06	288.43	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
0	-75	0.018	2.24	270	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
25	-75	0.016	2.06	251.57	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
50	-75	0.013	1.67	236.31	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
75	-75	0.010	1.29	225	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
100	-75	0.0078	0.98	216.87	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
125	-75	0.0060	0.75	210.96	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
150	-75	0.0046	0.57	206.57	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
175	-75	0.0036	0.45	203.20	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
200	-75	0.0029	0.36	200.56	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
225	-75	0.0024	0.30	198.43	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
250	-75	0.0020	0.25	196.70	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-250	-100	0.0019	0.24	338.20	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-225	-100	0.0022	0.28	336.04	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-200	-100	0.0027	0.33	333.43	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-175	-100	0.0033	0.41	330.26	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-150	-100	0.0040	0.50	326.31	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-125	-100	0.0050	0.62	321.34	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-100	-100	0.0063	0.79	315	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-75	-100	0.0078	0.98	306.87	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-50	-100	0.0095	1.18	296.57	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-25	-100	0.011	1.35	284.04	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
0	-100	0.011	1.41	270	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
25	-100	0.011	1.35	255.96	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
50	-100	0.0095	1.18	243.43	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
75	-100	0.0078	0.98	233.13	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
100	-100	0.0063	0.79	225	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
125	-100	0.0050	0.62	218.66	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0

150	-100	0.0040	0.50	213.69	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
175	-100	0.0033	0.41	209.74	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
200	-100	0.0027	0.33	206.57	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
225	-100	0.0022	0.28	203.96	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
250	-100	0.0019	0.24	201.80	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-250	-125	0.0018	0.22	333.43	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-225	-125	0.0021	0.26	330.95	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-200	-125	0.0024	0.30	327.99	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-175	-125	0.0029	0.36	324.46	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-150	-125	0.0035	0.43	320.19	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-125	-125	0.0042	0.52	315	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-100	-125	0.0050	0.62	308.66	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-75	-125	0.0060	0.75	300.96	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-50	-125	0.0069	0.86	291.80	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-25	-125	0.0076	0.95	281.31	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
0	-125	0.0078	0.98	270	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
25	-125	0.0076	0.95	258.69	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
50	-125	0.0069	0.86	248.20	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
75	-125	0.0060	0.75	239.04	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
100	-125	0.0050	0.62	231.34	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
125	-125	0.0042	0.52	225	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
150	-125	0.0035	0.43	219.81	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
175	-125	0.0029	0.36	215.54	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
200	-125	0.0024	0.30	212.01	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
225	-125	0.0021	0.26	209.05	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
250	-125	0.0018	0.22	206.57	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-250	-150	0.0017	0.21	329.04	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-225	-150	0.0019	0.24	326.31	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-200	-150	0.0022	0.27	323.13	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-175	-150	0.0025	0.32	319.40	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-150	-150	0.0030	0.37	315	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-125	-150	0.0035	0.43	309.81	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-100	-150	0.0040	0.50	303.69	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-75	-150	0.0046	0.57	296.57	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-50	-150	0.0051	0.64	288.43	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-25	-150	0.0055	0.68	279.46	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
0	-150	0.0056	0.70	270	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
25	-150	0.0055	0.68	260.54	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
50	-150	0.0051	0.64	251.57	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
75	-150	0.0046	0.57	243.43	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
100	-150	0.0040	0.50	236.31	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
125	-150	0.0035	0.43	230.19	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
150	-150	0.0030	0.37	225	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
175	-150	0.0025	0.32	220.60	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
200	-150	0.0022	0.27	216.87	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
225	-150	0.0019	0.24	213.69	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
250	-150	0.0017	0.21	210.96	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-250	-175	0.0015	0.19	325.01	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0

-225	-175	0.0017	0.22	322.13	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-200	-175	0.0020	0.24	318.81	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-175	-175	0.0022	0.28	315	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-150	-175	0.0025	0.32	310.60	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-125	-175	0.0029	0.36	305.54	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-100	-175	0.0033	0.41	299.74	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-75	-175	0.0036	0.45	293.20	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-50	-175	0.0039	0.49	285.95	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-25	-175	0.0042	0.52	278.13	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
0	-175	0.0042	0.53	270	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
25	-175	0.0042	0.52	261.87	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
50	-175	0.0039	0.49	254.05	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
75	-175	0.0036	0.45	246.80	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
100	-175	0.0033	0.41	240.26	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
125	-175	0.0029	0.36	234.46	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
150	-175	0.0025	0.32	229.40	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
175	-175	0.0022	0.28	225	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
200	-175	0.0020	0.24	221.19	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
225	-175	0.0017	0.22	217.87	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
250	-175	0.0015	0.19	214.99	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-250	-200	0.0014	0.18	321.34	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-225	-200	0.0016	0.20	318.37	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-200	-200	0.0018	0.22	315	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-175	-200	0.0020	0.24	311.19	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-150	-200	0.0022	0.27	306.87	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-125	-200	0.0024	0.30	302.01	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-100	-200	0.0027	0.33	296.57	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-75	-200	0.0029	0.36	290.56	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-50	-200	0.0031	0.39	284.04	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-25	-200	0.0033	0.41	277.13	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
0	-200	0.0033	0.41	270	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
25	-200	0.0033	0.41	262.87	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
50	-200	0.0031	0.39	255.96	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
75	-200	0.0029	0.36	249.44	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
100	-200	0.0027	0.33	243.43	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
125	-200	0.0024	0.30	237.99	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
150	-200	0.0022	0.27	233.13	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
175	-200	0.0020	0.24	228.81	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
200	-200	0.0018	0.22	225	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
225	-200	0.0016	0.20	221.63	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
250	-200	0.0014	0.18	218.66	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-250	-225	0.0013	0.17	318.01	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-225	-225	0.0015	0.18	315	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-200	-225	0.0016	0.20	311.63	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-175	-225	0.0017	0.22	307.87	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-150	-225	0.0019	0.24	303.69	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-125	-225	0.0021	0.26	299.05	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-100	-225	0.0022	0.28	293.96	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0

-75	-225	0.0024	0.30	288.43	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-50	-225	0.0025	0.32	282.53	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-25	-225	0.0026	0.33	276.34	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
0	-225	0.0026	0.33	270	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
25	-225	0.0026	0.33	263.66	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
50	-225	0.0025	0.32	257.47	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
75	-225	0.0024	0.30	251.57	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
100	-225	0.0022	0.28	246.04	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
125	-225	0.0021	0.26	240.95	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
150	-225	0.0019	0.24	236.31	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
175	-225	0.0017	0.22	232.13	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
200	-225	0.0016	0.20	228.37	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
225	-225	0.0015	0.18	225	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
250	-225	0.0013	0.17	221.99	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-250	-250	0.0012	0.15	315	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-225	-250	0.0013	0.17	311.99	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-200	-250	0.0014	0.18	308.66	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-175	-250	0.0015	0.19	304.99	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-150	-250	0.0017	0.21	300.96	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-125	-250	0.0018	0.22	296.57	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-100	-250	0.0019	0.24	291.80	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-75	-250	0.0020	0.25	286.70	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-50	-250	0.0021	0.26	281.31	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-25	-250	0.0022	0.27	275.71	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
0	-250	0.0022	0.27	270	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
25	-250	0.0022	0.27	264.29	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
50	-250	0.0021	0.26	258.69	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
75	-250	0.0020	0.25	253.30	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
100	-250	0.0019	0.24	248.20	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
125	-250	0.0018	0.22	243.43	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
150	-250	0.0017	0.21	239.04	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
175	-250	0.0015	0.19	235.01	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
200	-250	0.0014	0.18	231.34	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
225	-250	0.0013	0.17	228.01	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
250	-250	0.0012	0.15	225	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0

Розрахунок виконаний 16.11.2015 в 21:11 програмою Сол-Плюс, версія 5.23.

Речовина 333 (Сірководень)

Розрахунковий майданчик 1

Точки найбільших концентрацій та перелік джерел, що дають найбільший вклад

Конц. в точці, част. ГДК	Коорд.Х, м	Коорд.У, м	Напр. вітру, град.	Швидк. вітру, м/с	Код джер.	Вклад, %	Код джер.	Вклад, %	Код джер.	Вклад, %	Код джер.	Вклад, %	Код джер.	Вклад, %
8.04	0	0	180	0.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0

Розрахунок виконаний 16.11.2015 в 21:11 програмою Єол-Плюс, версія 5.23.

Речовина 333 (Сірководень)

Розрахунковий майданчик 0

Розрахункові концентрації в заданих точках

Коорд.Х, м	Коорд.У, м	Конц. в точці мг/м3	Конц. в точці, част. ГДК	Напр. вітру, град.	Швидк. вітру, м/с	Код джер.	Вклад, %	Код джер.	Вклад, %	Код джер.	Вклад, %	Код джер.	Вклад, %	Код джер.	Вклад, %
83	-42	0.013	1.59	206.84	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0

Розрахунок виконаний 16.11.2015 в 21:11 програмою Єол-Плюс, версія 5.23.

Вещество 333 (Сірководень)

Розрахунковий майданчик 0

Точки найбільших концентрацій та перелік джерел, що дають найбільший вклад

Коорд.Х, м	Коорд.У, м	Конц. в точці мг/м3	Конц. в точці, част. ГДК	Напр. вітру, град.	Швидк. вітру, м/с	Код джер.	Вклад, %	Код джер.	Вклад, %	Код джер.	Вклад, %	Код джер.	Вклад, %	Код джер.	Вклад, %
11.16	0	0	180	0.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0



### 3. 2 Розрахунок розсіювання сірководню в атмосфері житлової забудови від каналізаційної шахти №11 колектора ХТЗ після впровадження теплонасосного обладнання

Розрахунок виконаний 16.11.2015 в 23:31 програмою Сол-Плюс, версія 5.23.

ТАБЛИЦЯ 4. Характеристика складу викиду джерела

Код міста	Код пром. майд.	Код джер.	Код речовини	Сумарний викид т/рік	Коеф. упоряд. осідання речовини	Максимальний викид (г/с) при швидкостях вітру										
						0.5 м/с	1 м/с	2 м/с	4 м/с	6 м/с	8 м/с	10 м/с	12 м/с	14 м/с	16 м/сек	
1	1	1	333		1	0.00125										

Розрахунок виконаний 16.11.2015 в 23:31 програмою Сол-Плюс, версія 5.23.

Речовина 333 (Сірководень)

Розрахунковий майданчик 1

Розрахункові концентрації в заданих точках

Коорд.Х, м	Коорд.У, м	Конц. в точці мг/м3	Конц. в точці, част. ГДК	Напр. вітру, град.	Швидк. вітру, м/с	Код джер.	Вклад, %	Код джер.	Вклад, %	Код джер.	Вклад, %	Код джер.	Вклад, %	Код джер.	Вклад, %
-250	250	0.0012	0.15	45	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-225	250	0.0013	0.17	48.01	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-200	250	0.0014	0.18	51.34	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-175	250	0.0015	0.19	55.01	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-150	250	0.0017	0.21	59.04	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-125	250	0.0018	0.22	63.43	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-100	250	0.0019	0.24	68.20	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-75	250	0.0020	0.25	73.30	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-50	250	0.0021	0.26	78.69	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-25	250	0.0022	0.27	84.29	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
0	250	0.0022	0.27	90	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
25	250	0.0022	0.27	95.71	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
50	250	0.0021	0.26	101.31	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
75	250	0.0020	0.25	106.70	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
100	250	0.0019	0.24	111.80	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
125	250	0.0018	0.22	116.57	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
150	250	0.0017	0.21	120.96	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
175	250	0.0015	0.19	124.99	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
200	250	0.0014	0.18	128.66	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
225	250	0.0013	0.17	131.99	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
250	250	0.0012	0.15	135	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-250	225	0.0013	0.17	41.99	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-225	225	0.0015	0.18	45	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-200	225	0.0016	0.20	48.37	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0

-175	225	0.0017	0.22	52.13	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-150	225	0.0019	0.24	56.31	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-125	225	0.0021	0.26	60.95	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-100	225	0.0022	0.28	66.04	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-75	225	0.0024	0.30	71.57	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-50	225	0.0025	0.32	77.47	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-25	225	0.0026	0.33	83.66	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
0	225	0.0026	0.33	90	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
25	225	0.0026	0.33	96.34	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
50	225	0.0025	0.32	102.53	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
75	225	0.0024	0.30	108.43	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
100	225	0.0022	0.28	113.96	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
125	225	0.0021	0.26	119.05	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
150	225	0.0019	0.24	123.69	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
175	225	0.0017	0.22	127.87	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
200	225	0.0016	0.20	131.63	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
225	225	0.0015	0.18	135	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
250	225	0.0013	0.17	138.01	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-250	200	0.0014	0.18	38.66	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-225	200	0.0016	0.20	41.63	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-200	200	0.0018	0.22	45	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-175	200	0.0020	0.24	48.81	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-150	200	0.0022	0.27	53.13	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-125	200	0.0024	0.30	57.99	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-100	200	0.0027	0.33	63.43	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-75	200	0.0029	0.36	69.44	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-50	200	0.0031	0.39	75.96	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-25	200	0.0033	0.41	82.87	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
0	200	0.0033	0.41	90	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
25	200	0.0033	0.41	97.13	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
50	200	0.0031	0.39	104.04	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
75	200	0.0029	0.36	110.56	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
100	200	0.0027	0.33	116.57	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
125	200	0.0024	0.30	122.01	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
150	200	0.0022	0.27	126.87	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
175	200	0.0020	0.24	131.19	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
200	200	0.0018	0.22	135	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
225	200	0.0016	0.20	138.37	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
250	200	0.0014	0.18	141.34	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-250	175	0.0015	0.19	34.99	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-225	175	0.0017	0.22	37.87	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-200	175	0.0020	0.24	41.19	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-175	175	0.0022	0.28	45	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-150	175	0.0025	0.32	49.40	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-125	175	0.0029	0.36	54.46	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-100	175	0.0033	0.41	60.26	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-75	175	0.0036	0.45	66.80	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-50	175	0.0039	0.49	74.05	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0

-25	175	0.0042	0.52	81.87	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
0	175	0.0042	0.53	90	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
25	175	0.0042	0.52	98.13	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
50	175	0.0039	0.49	105.95	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
75	175	0.0036	0.45	113.20	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
100	175	0.0033	0.41	119.74	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
125	175	0.0029	0.36	125.54	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
150	175	0.0025	0.32	130.60	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
175	175	0.0022	0.28	135	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
200	175	0.0020	0.24	138.81	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
225	175	0.0017	0.22	142.13	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
250	175	0.0015	0.19	145.01	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-250	150	0.0017	0.21	30.96	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-225	150	0.0019	0.24	33.69	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-200	150	0.0022	0.27	36.87	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-175	150	0.0025	0.32	40.60	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-150	150	0.0030	0.37	45	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-125	150	0.0035	0.43	50.19	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-100	150	0.0040	0.50	56.31	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-75	150	0.0046	0.57	63.43	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-50	150	0.0051	0.64	71.57	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-25	150	0.0055	0.68	80.54	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
0	150	0.0056	0.70	90	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
25	150	0.0055	0.68	99.46	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
50	150	0.0051	0.64	108.43	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
75	150	0.0046	0.57	116.57	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
100	150	0.0040	0.50	123.69	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
125	150	0.0035	0.43	129.81	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
150	150	0.0030	0.37	135	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
175	150	0.0025	0.32	139.40	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
200	150	0.0022	0.27	143.13	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
225	150	0.0019	0.24	146.31	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
250	150	0.0017	0.21	149.04	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-250	125	0.0018	0.22	26.57	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-225	125	0.0021	0.26	29.05	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-200	125	0.0024	0.30	32.01	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-175	125	0.0029	0.36	35.54	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-150	125	0.0035	0.43	39.81	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-125	125	0.0042	0.52	45	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-100	125	0.0050	0.62	51.34	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-75	125	0.0060	0.75	59.04	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-50	125	0.0069	0.86	68.20	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-25	125	0.0076	0.95	78.69	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
0	125	0.0078	0.98	90	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
25	125	0.0076	0.95	101.31	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
50	125	0.0069	0.86	111.80	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
75	125	0.0060	0.75	120.96	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
100	125	0.0050	0.62	128.66	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0

125	125	0.0042	0.52	135	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
150	125	0.0035	0.43	140.19	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
175	125	0.0029	0.36	144.46	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
200	125	0.0024	0.30	147.99	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
225	125	0.0021	0.26	150.95	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
250	125	0.0018	0.22	153.43	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-250	100	0.0019	0.24	21.80	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-225	100	0.0022	0.28	23.96	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-200	100	0.0027	0.33	26.57	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-175	100	0.0033	0.41	29.74	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-150	100	0.0040	0.50	33.69	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-125	100	0.0050	0.62	38.66	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-100	100	0.0063	0.79	45	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-75	100	0.0078	0.98	53.13	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-50	100	0.0095	1.18	63.43	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-25	100	0.011	1.35	75.96	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
0	100	0.011	1.41	90	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
25	100	0.011	1.35	104.04	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
50	100	0.0095	1.18	116.57	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
75	100	0.0078	0.98	126.87	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
100	100	0.0063	0.79	135	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
125	100	0.0050	0.62	141.34	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
150	100	0.0040	0.50	146.31	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
175	100	0.0033	0.41	150.26	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
200	100	0.0027	0.33	153.43	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
225	100	0.0022	0.28	156.04	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
250	100	0.0019	0.24	158.20	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-250	75	0.0020	0.25	16.70	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-225	75	0.0024	0.30	18.43	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-200	75	0.0029	0.36	20.56	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-175	75	0.0036	0.45	23.20	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-150	75	0.0046	0.57	26.57	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-125	75	0.0060	0.75	30.96	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-100	75	0.0078	0.98	36.87	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-75	75	0.010	1.29	45	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-50	75	0.013	1.67	56.31	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-25	75	0.016	2.06	71.57	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
0	75	0.018	2.24	90	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
25	75	0.016	2.06	108.43	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
50	75	0.013	1.67	123.69	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
75	75	0.010	1.29	135	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
100	75	0.0078	0.98	143.13	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
125	75	0.0060	0.75	149.04	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
150	75	0.0046	0.57	153.43	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
175	75	0.0036	0.45	156.80	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
200	75	0.0029	0.36	159.44	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
225	75	0.0024	0.30	161.57	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
250	75	0.0020	0.25	163.30	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0

-250	50	0.0021	0.26	11.31	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-225	50	0.0025	0.32	12.53	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-200	50	0.0031	0.39	14.04	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-175	50	0.0039	0.49	15.95	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-150	50	0.0051	0.64	18.43	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-125	50	0.0069	0.86	21.80	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-100	50	0.0095	1.18	26.57	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-75	50	0.013	1.67	33.69	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-50	50	0.020	2.44	45	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-25	50	0.027	3.42	63.43	0.75	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
0	50	0.032	3.97	90	0.75	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
25	50	0.027	3.42	116.57	0.75	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
50	50	0.020	2.44	135	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
75	50	0.013	1.67	146.31	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
100	50	0.0095	1.18	153.43	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
125	50	0.0069	0.86	158.20	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
150	50	0.0051	0.64	161.57	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
175	50	0.0039	0.49	164.05	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
200	50	0.0031	0.39	165.96	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
225	50	0.0025	0.32	167.47	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
250	50	0.0021	0.26	168.69	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-250	25	0.0022	0.27	5.71	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-225	25	0.0026	0.33	6.34	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-200	25	0.0033	0.41	7.13	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-175	25	0.0042	0.52	8.13	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-150	25	0.0055	0.68	9.46	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-125	25	0.0076	0.95	11.31	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-100	25	0.011	1.35	14.04	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-75	25	0.016	2.06	18.43	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-50	25	0.027	3.42	26.57	0.75	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-25	25	0.047	5.88	45	0.75	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
0	25	0.062	7.76	90	0.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
25	25	0.047	5.88	135	0.75	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
50	25	0.027	3.42	153.43	0.75	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
75	25	0.016	2.06	161.57	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
100	25	0.011	1.35	165.96	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
125	25	0.0076	0.95	168.69	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
150	25	0.0055	0.68	170.54	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
175	25	0.0042	0.52	171.87	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
200	25	0.0033	0.41	172.87	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
225	25	0.0026	0.33	173.66	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
250	25	0.0022	0.27	174.29	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-250	0	0.0022	0.27	8.5304E-11	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-225	0	0.0026	0.33	8.5304E-11	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-200	0	0.0033	0.41	8.5304E-11	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-175	0	0.0042	0.53	8.5304E-11	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-150	0	0.0056	0.70	8.5304E-11	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-125	0	0.0078	0.98	8.5304E-11	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0

-100	0	0.011	1.41	8.5304E-11	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-75	0	0.018	2.24	8.5304E-11	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-50	0	0.032	3.97	8.5304E-11	0.75	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-25	0	0.062	7.76	8.5304E-11	0.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0.089	11.16	180	0.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0.062	7.76	180	0.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	0	0.032	3.97	180	0.75	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
75	0	0.018	2.24	180	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
100	0	0.011	1.41	180	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
125	0	0.0078	0.98	180	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
150	0	0.0056	0.70	180	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
175	0	0.0042	0.53	180	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
200	0	0.0033	0.41	180	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
225	0	0.0026	0.33	180	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
250	0	0.0022	0.27	180	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-250	-25	0.0022	0.27	354.29	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-225	-25	0.0026	0.33	353.66	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-200	-25	0.0033	0.41	352.87	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-175	-25	0.0042	0.52	351.87	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-150	-25	0.0055	0.68	350.54	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-125	-25	0.0076	0.95	348.69	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-100	-25	0.011	1.35	345.96	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-75	-25	0.016	2.06	341.57	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-50	-25	0.027	3.42	333.43	0.75	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-25	-25	0.047	5.88	315	0.75	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	-25	0.062	7.76	270	0.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	-25	0.047	5.88	225	0.75	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	-25	0.027	3.42	206.57	0.75	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
75	-25	0.016	2.06	198.43	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
100	-25	0.011	1.35	194.04	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
125	-25	0.0076	0.95	191.31	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
150	-25	0.0055	0.68	189.46	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
175	-25	0.0042	0.52	188.13	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
200	-25	0.0033	0.41	187.13	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
225	-25	0.0026	0.33	186.34	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
250	-25	0.0022	0.27	185.71	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-250	-50	0.0021	0.26	348.69	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-225	-50	0.0025	0.32	347.47	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-200	-50	0.0031	0.39	345.96	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-175	-50	0.0039	0.49	344.05	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-150	-50	0.0051	0.64	341.57	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-125	-50	0.0069	0.86	338.20	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-100	-50	0.0095	1.18	333.43	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-75	-50	0.013	1.67	326.31	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-50	-50	0.020	2.44	315	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-25	-50	0.027	3.42	296.57	0.75	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	-50	0.032	3.97	270	0.75	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	-50	0.027	3.42	243.43	0.75	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0

50	-50	0.020	2.44	225	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
75	-50	0.013	1.67	213.69	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
100	-50	0.0095	1.18	206.57	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
125	-50	0.0069	0.86	201.80	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
150	-50	0.0051	0.64	198.43	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
175	-50	0.0039	0.49	195.95	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
200	-50	0.0031	0.39	194.04	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
225	-50	0.0025	0.32	192.53	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
250	-50	0.0021	0.26	191.31	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-250	-75	0.0020	0.25	343.30	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-225	-75	0.0024	0.30	341.57	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-200	-75	0.0029	0.36	339.44	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-175	-75	0.0036	0.45	336.80	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-150	-75	0.0046	0.57	333.43	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-125	-75	0.0060	0.75	329.04	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-100	-75	0.0078	0.98	323.13	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-75	-75	0.010	1.29	315	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-50	-75	0.013	1.67	303.69	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-25	-75	0.016	2.06	288.43	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
0	-75	0.018	2.24	270	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
25	-75	0.016	2.06	251.57	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
50	-75	0.013	1.67	236.31	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
75	-75	0.010	1.29	225	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
100	-75	0.0078	0.98	216.87	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
125	-75	0.0060	0.75	210.96	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
150	-75	0.0046	0.57	206.57	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
175	-75	0.0036	0.45	203.20	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
200	-75	0.0029	0.36	200.56	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
225	-75	0.0024	0.30	198.43	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
250	-75	0.0020	0.25	196.70	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-250	-100	0.0019	0.24	338.20	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-225	-100	0.0022	0.28	336.04	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-200	-100	0.0027	0.33	333.43	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-175	-100	0.0033	0.41	330.26	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-150	-100	0.0040	0.50	326.31	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-125	-100	0.0050	0.62	321.34	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-100	-100	0.0063	0.79	315	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-75	-100	0.0078	0.98	306.87	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-50	-100	0.0095	1.18	296.57	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-25	-100	0.011	1.35	284.04	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
0	-100	0.011	1.41	270	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
25	-100	0.011	1.35	255.96	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
50	-100	0.0095	1.18	243.43	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
75	-100	0.0078	0.98	233.13	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
100	-100	0.0063	0.79	225	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
125	-100	0.0050	0.62	218.66	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
150	-100	0.0040	0.50	213.69	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
175	-100	0.0033	0.41	209.74	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0

200	-100	0.0027	0.33	206.57	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
225	-100	0.0022	0.28	203.96	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
250	-100	0.0019	0.24	201.80	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-250	-125	0.0018	0.22	333.43	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-225	-125	0.0021	0.26	330.95	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-200	-125	0.0024	0.30	327.99	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-175	-125	0.0029	0.36	324.46	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-150	-125	0.0035	0.43	320.19	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-125	-125	0.0042	0.52	315	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-100	-125	0.0050	0.62	308.66	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-75	-125	0.0060	0.75	300.96	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-50	-125	0.0069	0.86	291.80	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-25	-125	0.0076	0.95	281.31	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
0	-125	0.0078	0.98	270	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
25	-125	0.0076	0.95	258.69	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
50	-125	0.0069	0.86	248.20	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
75	-125	0.0060	0.75	239.04	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
100	-125	0.0050	0.62	231.34	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
125	-125	0.0042	0.52	225	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
150	-125	0.0035	0.43	219.81	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
175	-125	0.0029	0.36	215.54	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
200	-125	0.0024	0.30	212.01	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
225	-125	0.0021	0.26	209.05	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
250	-125	0.0018	0.22	206.57	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-250	-150	0.0017	0.21	329.04	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-225	-150	0.0019	0.24	326.31	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-200	-150	0.0022	0.27	323.13	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-175	-150	0.0025	0.32	319.40	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-150	-150	0.0030	0.37	315	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-125	-150	0.0035	0.43	309.81	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-100	-150	0.0040	0.50	303.69	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-75	-150	0.0046	0.57	296.57	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-50	-150	0.0051	0.64	288.43	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-25	-150	0.0055	0.68	279.46	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
0	-150	0.0056	0.70	270	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
25	-150	0.0055	0.68	260.54	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
50	-150	0.0051	0.64	251.57	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
75	-150	0.0046	0.57	243.43	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
100	-150	0.0040	0.50	236.31	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
125	-150	0.0035	0.43	230.19	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
150	-150	0.0030	0.37	225	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
175	-150	0.0025	0.32	220.60	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
200	-150	0.0022	0.27	216.87	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
225	-150	0.0019	0.24	213.69	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
250	-150	0.0017	0.21	210.96	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-250	-175	0.0015	0.19	325.01	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-225	-175	0.0017	0.22	322.13	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-200	-175	0.0020	0.24	318.81	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0



-175	-175	0.0022	0.28	315	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-150	-175	0.0025	0.32	310.60	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-125	-175	0.0029	0.36	305.54	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-100	-175	0.0033	0.41	299.74	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-75	-175	0.0036	0.45	293.20	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-50	-175	0.0039	0.49	285.95	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-25	-175	0.0042	0.52	278.13	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
0	-175	0.0042	0.53	270	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
25	-175	0.0042	0.52	261.87	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
50	-175	0.0039	0.49	254.05	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
75	-175	0.0036	0.45	246.80	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
100	-175	0.0033	0.41	240.26	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
125	-175	0.0029	0.36	234.46	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
150	-175	0.0025	0.32	229.40	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
175	-175	0.0022	0.28	225	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
200	-175	0.0020	0.24	221.19	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
225	-175	0.0017	0.22	217.87	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
250	-175	0.0015	0.19	214.99	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-250	-200	0.0014	0.18	321.34	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-225	-200	0.0016	0.20	318.37	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-200	-200	0.0018	0.22	315	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-175	-200	0.0020	0.24	311.19	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-150	-200	0.0022	0.27	306.87	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-125	-200	0.0024	0.30	302.01	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-100	-200	0.0027	0.33	296.57	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-75	-200	0.0029	0.36	290.56	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-50	-200	0.0031	0.39	284.04	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-25	-200	0.0033	0.41	277.13	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
0	-200	0.0033	0.41	270	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
25	-200	0.0033	0.41	262.87	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
50	-200	0.0031	0.39	255.96	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
75	-200	0.0029	0.36	249.44	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
100	-200	0.0027	0.33	243.43	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
125	-200	0.0024	0.30	237.99	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
150	-200	0.0022	0.27	233.13	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
175	-200	0.0020	0.24	228.81	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
200	-200	0.0018	0.22	225	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
225	-200	0.0016	0.20	221.63	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
250	-200	0.0014	0.18	218.66	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-250	-225	0.0013	0.17	318.01	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-225	-225	0.0015	0.18	315	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-200	-225	0.0016	0.20	311.63	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-175	-225	0.0017	0.22	307.87	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-150	-225	0.0019	0.24	303.69	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-125	-225	0.0021	0.26	299.05	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-100	-225	0.0022	0.28	293.96	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-75	-225	0.0024	0.30	288.43	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-50	-225	0.0025	0.32	282.53	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0

-25	-225	0.0026	0.33	276.34	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
0	-225	0.0026	0.33	270	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
25	-225	0.0026	0.33	263.66	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
50	-225	0.0025	0.32	257.47	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
75	-225	0.0024	0.30	251.57	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
100	-225	0.0022	0.28	246.04	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
125	-225	0.0021	0.26	240.95	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
150	-225	0.0019	0.24	236.31	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
175	-225	0.0017	0.22	232.13	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
200	-225	0.0016	0.20	228.37	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
225	-225	0.0015	0.18	225	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
250	-225	0.0013	0.17	221.99	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-250	-250	0.0012	0.15	315	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-225	-250	0.0013	0.17	311.99	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-200	-250	0.0014	0.18	308.66	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-175	-250	0.0015	0.19	304.99	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-150	-250	0.0017	0.21	300.96	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-125	-250	0.0018	0.22	296.57	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-100	-250	0.0019	0.24	291.80	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-75	-250	0.0020	0.25	286.70	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-50	-250	0.0021	0.26	281.31	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
-25	-250	0.0022	0.27	275.71	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
0	-250	0.0022	0.27	270	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
25	-250	0.0022	0.27	264.29	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
50	-250	0.0021	0.26	258.69	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
75	-250	0.0020	0.25	253.30	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
100	-250	0.0019	0.24	248.20	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
125	-250	0.0018	0.22	243.43	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
150	-250	0.0017	0.21	239.04	1.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
175	-250	0.0015	0.19	235.01	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
200	-250	0.0014	0.18	231.34	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
225	-250	0.0013	0.17	228.01	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
250	-250	0.0012	0.15	225	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0

Розрахунок виконаний 16.11.2015 в 23:31 програмою Сол-Плюс, версія 5.23.

Речовина 333 (Сірководень)

Розрахунковий майданчик 0

Розрахункові концентрації в заданих точках

Коорд.Х, м	Коорд.У, м	Конц. в точці мг/м3	Конц. в точці, част. ГДК	Напр. вітру, град.	Швидк. вітру, м/с	Код джер.	Вклад, %	Код джер.	Вклад, %	Код джер.	Вклад, %	Код джер.	Вклад, %	Код джер.	Вклад, %
83	-42	0.0063	0.79	206.84	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0

Розрахунок виконаний 16.11.2015 в 23:31 програмою Сол-Плюс, версія 5.23.

Речовина 333 (Сірководень)

Розрахунковий майданчик 1

Точки найбільших концентрацій та перелік джерел, що дають найбільший вклад

Конц. в точці, част. ГДК	Коорд.Х, м	Коорд.У, м	Напр. вітру, град.	Швидк. вітру, м/с	Код джер.	Вклад, %	Код джер.	Вклад, %	Код джер.	Вклад, %	Код джер.	Вклад, %	Код джер.	Вклад, %
0.79	83	-42	206.84	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0

Розрахунок виконаний 16.11.2015 в 23:31 програмою Сол-Плюс, версія 5.23.

Речовина 333 (Сірководень)

Розрахунковий майданчик 1

Точки найбільших концентрацій та перелік джерел, що дають найбільший вклад

Конц. в точці, част. ГДК	Коорд.Х, м	Коорд.У, м	Напр. вітру, град.	Швидк. вітру, м/с	Код джер.	Вклад, %	Код джер.	Вклад, %	Код джер.	Вклад, %	Код джер.	Вклад, %	Код джер.	Вклад, %
5.88	0	0	180	0.50	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0

### 3. 3 Розрахунок розсіювання сірководню від 62 контрольних каналізаційних шахт в атмосфері м. Харкова

Завдання на розрахунок.

ТАБЛИЦЯ 1. Список проммайданчиків.

Код пр. майданчика	Найменування проммайданчика
1	КП «Харьковводоканал»

ТАБЛИЦЯ 4. Параметри розрахункових майданчиків

N	Коорд. центра сим.		Довжина, м	Ширина, м	Шаг сітки		Кут повороту розр. майд. відн.	Ознака
	Х, м	У, м			вісь ОХ, м	вісь ОУ, м		
п/п							вісі ОХ осн. сист. коорд., град.	зони
1	10500	11000	21000	22000	500	500	0	0

Розрахунок виконаний 12.02.2015 в 14:27 програмою Сол-Плюс, версія 5.23.

Речовина 333 (Сірководень)

Розрахунковий майданчик 1

Точки найбільших концентрацій та перелік джерел, що дають найбільший вклад

Конц. в точці, част. ГДК	Коорд.Х, м	Коорд.У, м	Напр. вітру, град.	Швидк. вітру, м/с	Код джер.	Вклад, %	Код джер.	Вклад, %	Код джер.	Вклад, %	Код джер.	Вклад, %	Код джер.	Вклад, %
3.32	15500	6500	170	1.22	1	99.96	14	0.014	50	0.0059	52	0.0031	45	0.0019
2.83	7500	12000	50	0.50	29	48.29	28	18.40	30	13.49	32	12.80	18	3.46
2.60	18500	3500	260	9	7	99.78	6	0.18	5	0.040	11	0.000022	21	0.0000049
2.59	4000	7500	340	1.22	50	97.89	52	1.18	36	0.23	35	0.14	45	0.12
2.08	8000	12000	150	0.50	32	59.75	30	30.69	29	5.14	31	2.78	28	0.84
1.98	8000	11500	100	1.22	19	99.81	40	0.067	39	0.032	33	0.027	45	0.017
1.44	5500	8500	60	1.22	35	96.52	43	2.12	45	1.03	44	0.25	15	0.025
1.26	18500	4000	100	9	7	99.80	10	0.20	9	0.0013	8	0.00023	16	5.3862E-14
1.06	14000	5000	320	1.22	13	93.88	1	4.49	12	0.94	2	0.34	11	0.15
0.90	7500	11500	310	9	32	72.81	30	24.56	31	1.45	25	0.46	26	0.38

Таблиця К. 1 - Концентрації екологічно небезпечних газоподібних сполук в підсклепіневому просторі каналізаційного трубопроводу на ділянці колектора ХТЗ

Дата вимірювання	№ контр. шахти	Концентрація газоподібних сполук							
		SO <sub>2</sub> , мг/м <sup>3</sup>	Кратність перевищ. ГДКр.з./м.р., частки ГДК	H <sub>2</sub> S, мг/м <sup>3</sup>	Кратність перевищ. ГДКр.з./м.р., частки ГДК	CO, мг/м <sup>3</sup>	Кратність перевищ. ГДКр.з./м.р., частки ГДК	CO <sub>2</sub> , Об.%	CH <sub>4</sub> , Об.%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
01.02.13	№4	35	3,5/70	24,6	2,46/3075	0	-	0,75	0
28.03.13		35	3,5/70	42,7	4,27/5337	0	-	0,57	
15.05.13		35	3,5/70	137	13,7/17125	0	-	0,63	
04.07.13		35	3,5/70	126,6	12,6/15825	0	-	0,63	
08.08.13		35	3,5/70	188,1	18,8/23512	4,2	-	0,84	
01.02.13	№6	35	3,5/70	9,5	-/1187	0	-	0,57	0,57
28.03.13		0	-	7,6	-/950	0	-	0,38	0,19
15.05.13		0	-	12,6	1,26/1575	0	-	0,42	0,21
04.07.13		0	-	11,6	1,16/1450	0	-	0,42	0,21
08.08.13		35	3,5/70	17,8	1,78/2225	0	-	0,63	0,42
01.02.13	№8	0	-	4	-/500	0	-	0,2	0,2
28.03.13		0	-	6	-/750	0	-	0,2	0,4
15.05.13		0	-	6	-/750	0	-	0,2	0,4
04.07.13		0	-	12	1,2/1500	0	-	0,2	0,6
08.08.13		0	-	12	1,2/1500	0	-	0,4	0,4
01.02.13	№10	35	3,5/70	10,4	0,4/1300	0	-	0,19	0
28.03.13		0	-	9,5	-/1188	0	-	0,57	0,38
15.05.13		0	-	8,4	-/1050	0	-	0,21	0,21
04.07.13		0	-	12,5	1,25/1563	0	-	0,62	0,42
08.08.13		35	3,5/70	20,9	2,9/2613	0	-	0,63	0,84

Продовження табл. К. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
01.02.13	№11	0	-	12	1,2/1500	0	-	0,2	0,2
28.03.13		0	-	18	1,8/2250	0	-	0,4	0,4
15.05.13		0	-	23	2,3/2875	0	-	0,4	0,4
04.07.13		0	-	24	2,4/3000	0	-	0,4	0,6
08.08.13		0	-	28	2,8/3500	0	-	0,4	0,6
01.02.13	№12	35	3,5/70	52,1	5,21/6513	0	-	0,76	0,76
28.03.13		35	3,5/70	113,7	11,37/14213	3,9	-	0,76	0,57
15.05.13		35	3,5/70	36,9	3,69/4612,5	0	-	0,42	0,42
04.07.13		35	3,5/70	38	3,8/4750	0	-	0,63	0,21
08.08.13		35	3,5/70	250,8	25,08/31350	0	-	1,25	1,25



## АКТ

приймання-передачі науково-технічної документації

м. Харків

« 08 » 06 2016 р.

Харківський національний університет будівництва та архітектури, який іменується надалі **Виконавець**, в особі проректора з науково-педагогічної роботи Гончаренка Дмитра Федоровича, що діє на підставі Статуту, з однієї сторони і Комунальне підприємство «Харківводоканал», який іменується надалі **Замовник**, в особі першого заступника генерального директора Коваленка Олександра Миколайовича, що діє на підставі Статуту, з другої сторони, уклали цей акт про нижченаведене:

**Замовник** приймає, а **Виконавець** передає науково-технічну документацію для ознайомлення та подальшої співпраці.

Науково-технічна документація передається у належному стані на паперових носіях інформації згідно з додатками.

Додатки до акта приймання-передачі:

1. Рекомендації з автоматизації системи моніторингу газоподібних викидів з каналізаційних мереж та визначення класу екологічної небезпеки для міської атмосфери шахт/колодязів на каналізаційних мережах, розроблені на підставі дисертаційного дослідження аспірантки кафедри безпеки життєдіяльності та інженерної екології ХНУБА Лебедевої О.С. «Підвищення екологічної безпеки систем водовідведення для міської атмосфери», виконаної під керівництвом д.т.н., проф. Юрченко В.О.

Акт складено українською мовою в двох ідентичних примірниках, які мають однакову юридичну силу для кожної із сторін.

ВИКОНАВЕЦЬ ПЕРЕДАВ



Д.Ф. Гончаренко

ЗАМОВНИК ПРИЙНЯВ



О.М. Коваленко

*(Handwritten signature)*  
8.06.16



ЗАТВЕРДЖУЮ  
 Проректор з науково-педагогічної роботи  
 Харківського національного університету  
 будівництва та архітектури  
 д.т.н., проф. Д.Ф. Гончаренко

«    »    2016 р.

### РЕКОМЕНДАЦІЇ

з автоматизації системи моніторингу газоподібних викидів з каналізаційних мереж та визначення класу екологічної небезпеки для міської атмосфери шахт/колодязів на каналізаційних мережах

1 Сучасний стан проблеми екологічної небезпеки, створюваної газоподібними викидами з каналізаційних мереж для міської атмосфери

#### 1.1 Актуальність дослідження

Каналізація є системою житлово-комунального господарства, яка забезпечує екологічну безпеку технічного та господарсько-питного водокористування міста. Проте, споруди водовідведення є великомасштабними технічними об'єктами, які чинять інтенсивне техногенне навантаження на навколишнє природне середовище, нерідко стаючи джерелом значущої екологічної небезпеки для міських регіонів. Навіть при роботі каналізаційних мереж в безаварійному режимі, їх експлуатація створює екологічну проблему, обумовлену утворенням токсичних газоподібних сполук (сірководню, меркаптану, діоксиду сірки, діоксиду вуглецю, метану та ін.), які через шахти і колодязі забруднюють атмосферу міських регіонів. Особливу екологічну небезпеку за кратністю перевищення ГДК в газоподібних викидах з каналізаційних мереж створює сірководень (речовина 2 класу небезпеки). Він до того ж ініціює розвиток на склепінневій частині бетонних трубопроводів біогенної сірчаноокислої корозії, яка кардинально зменшує експлуатаційну довговічність цих об'єктів. Служби експлуатації каналізаційних мереж потребують не тільки заходів, що мінімізують утворення сірководню в стічних водах, які транспортуються мережами, а й ефективної системи моніторингу викидів сірководню для отримання оперативної інформації про дійсний та прогнозований стан каналізаційних мереж та їх окремих ділянок. Створення та удосконалення існуючих систем моніторингу каналізаційних мереж шляхом впровадження нових комп'ютерних технологій і інформаційних систем, розширення контролю показників екологічної безпеки є одним з пріоритетних напрямків в області життєзабезпечення населення та екологічної безпеки країни.

1.2 Рекомендована методика визначення класу екологічної небезпеки для міської атмосфери та експлуатаційної надійності окремої шахти/колодязя каналізаційних мереж.

Розроблено методику визначення класу екологічної небезпеки для міської атмосфери та експлуатаційної надійності окремої шахти/колодязя каналізаційних мереж, яка базується на 4-ступевому ранжуванні кількісних характеристик 6

показників, що контролюються (табл.1).

Таблиця 1 - Визначення класу екологічної небезпеки контрольної шахти/колодязя каналізаційних мереж

Показник	Клас			
	I	II	III	IV
Відстань до житлової забудови, м	≤ 50	100	150	≥ 150
Швидкість корозії, мм/рік	>10	5 - 10	1 - 5	<1
Глибина дифузії біогенної сірчаної кислоти, (мм)	≥ 50	20 - 50	10 - 20	1 - 10
Концентрація H <sub>2</sub> S в атмосфері підклепіненого простору колектора, (мг/м <sup>3</sup> )	>100	50 - 100	10 - 50	1 - 10
Концентрація H <sub>2</sub> S на виході з шахти, (мг/м <sup>3</sup> )	≥ 10	5 - 10	1 - 5	0,1 - 1
Концентрація H <sub>2</sub> S в стічній воді, (мг/дм <sup>3</sup> )	≥ 30	10 - 30	1 - 10	<1

Представлено та програмно реалізовано алгоритм, що надалі використовується в комп'ютерній програмі моніторингу газоподібних викидів з каналізаційних мереж. Він дозволяє виконати класифікацію на основі опису стану мережі, отриманого за допомогою натурних досліджень і розрахунків. На підставі виконаної класифікаційної оцінки стану мережі комп'ютерною програмою складаються пріоритетні списки екологічно небезпечних об'єктів каналізаційних мереж, на яких в першу чергу необхідно впровадження природоохоронних заходів.

1.3 Пропозиції щодо автоматизації моніторингу газоподібних викидів з каналізаційних мереж.

Авторами розроблено комп'ютерну програму моніторингу газоподібних викидів з каналізаційних мереж м.Харкова.

Функції, що виконуються комп'ютерною програмою:

- нормалізація, графічна візуалізація та картування колекторів та шахт каналізаційних мереж м. Харкова;
- внесення даних щодо вимірювання вмісту екологічно небезпечних газоподібних сполук в стічних водах, підклепіненому просторі каналізаційних колекторів та атмосфері міста і представлення їх в табличному виді;
- візуалізація отриманих результатів за допомогою графіків та кольорова індикація шахт на карті міста;
- визначення класу екологічної небезпеки каналізаційних шахт;
- формування списків пріоритетності впровадження природоохоронних заходів на шахтах;
- збереження у базу даних результатів і додаткової інформації про шахти, стан колекторів тощо;
- генерація звітної документації за результатами екологічного моніторингу каналізаційних мереж з використанням ГІС-технологій.

Функції, що виконує система візуалізації:

- картографування каналізаційних мереж м. Харкова та контрольних шахт. Контрольні шахти мають функцію колірної індикації для оперативної візуальної оцінки стану каналізаційних мереж за критерієм викиду екологічно небезпечного сірководню з шахт каналізаційних мереж в міську атмосферу, вміст у різних середовищах  $H_2S$  на контрольних ділянках і глибини біогенної сірчаноокислотної корозії як в цілому по м. Харкову, так і по конкретно взятій ділянці;
- візуалізація інформаційної частини інтерфейсу з основними характеристиками та параметрами шахт, можливість перейти до відображення графіка або фотоматеріалів;
- візуалізація графіка викиду  $H_2S$  в атмосферу підсклепенового простору колектора від дати початку контролю та на поточний момент - динаміка викиду за роками. Для виклику вікна необхідно натиснути на відповідне зображення у інформаційній частині вікна з основними характеристиками та параметрами шахт;
- візуалізація фотоматеріалу – показ у модальному вікні фотографії контрольної шахти.

Інтерфейс програми складається з головного меню, навігаційного блоку з переліком колекторів та шахт, карти м. Харкова з нанесеними на неї об'єктами каналізаційних мереж (рис.1). Інформаційне вікно з основними характеристиками та параметрами шахт на ділянці каналізаційної мережі з нанесеними шахтами, кольорова індикація екологічної небезпеки шахт для міської атмосфери наведено на рис.2.







Рисунок 1 - Інтерфейс програми моніторингу газоподібних викидів з каналізаційних мереж

Рисунок 2 - Інформаційне вікно з основними характеристиками і параметрами шахт

Кольорова індикація вмісту сірководню в підсклепеновому просторі каналізаційних колекторів, що використана в комп'ютерній програмі та правила визначення класу екологічної небезпеки контрольної шахти/колодязя каналізаційних мереж наведено в табл.2.

Таблиця 2 - Кольорова індикація вмісту сірководню в підсклепеному просторі каналізаційних колекторів та правила визначення класу екологічної небезпеки контрольної шахти/колодязя каналізаційних мереж

Кольорова індикація каналізаційної шахти	Клас екологічної небезпеки	Ступінь небезпеки
	IV	малонебезпечна шахта
	III	помірно небезпечна шахта
	II	високонебезпечна шахта
	I	надзвичайно небезпечна шахта

Використання комп'ютерної програми для систематизації даних та прогнозування екологічно небезпечних ситуацій, що можуть виникнути в результаті забруднення атмосфери міста газоподібними викидами, суттєво мінімізує екологічні ризики та підвищить екологічну безпеку каналізаційних мереж для міської атмосфери.

#### ВИКОНАВЦІ:

Науковий керівник, д.т.н.,  
проф., завідувач кафедри безпеки  
життєдіяльності  
та інженерної екології ХНУБА

  
Юрченко В.О.

Аспірант, ст. лаборант кафедри  
безпеки життєдіяльності  
та інженерної екології  
ХНУБА

  
Лебедєва О.С.

## ДОДАТОК П


 «Затверджую»  
 перший проректор з  
 науково-педагогічної роботи  
 Череднік Д.Л.  
 « 10 » 02 2016 р.

## АКТ

**про впровадження в навчальний процес результатів науково-дослідної роботи «Основні джерела екологічної небезпеки, утворювані об'єктами техносфери, та шляхи зниження їх негативного впливу» авторів д.т.н., проф. Юрченко В.О., к.т.н., доц. Міхєєва І.А., ст.лаб. Лебедєвої О.С.**

В науково-дослідній роботі «Основні джерела екологічної небезпеки, утворювані об'єктами техносфери, та шляхи зниження їх негативного впливу» фахівцями кафедр БЖтаІЕ та ЕКтаІТ розроблено комп'ютерну програму моніторингу газоподібних викидів з каналізаційних мереж, для якої вперше застосовано візуалізацію об'єктивних характеристик цих об'єктів, запропоновано класифікацію екологічної безпеки ділянок каналізаційних мереж та визначення пріоритетності впровадження природоохоронних заходів.


Розроблена комп'ютерна програма «Моніторинг газоподібних викидів з каналізаційних мереж» має наукове та практичне значення. За результатами виконання цієї програми подано заявку та отримано авторське свідоцтво. Планується впровадження цієї програми на підприємстві КП «Харківводоканал». Наразі комп'ютерна програма «Моніторинг газоподібних викидів з каналізаційних мереж» впроваджена в навчальному процесі нашого університету в курси лекцій, практичні та лабораторні роботи з дисциплін: «Екологічна безпека», «Моніторинг довкілля», «Моделювання і прогнозування стану довкілля», «Міське комунальне господарство», «Геоінформаційні системи в екології», «Організація баз даних та знань».

Завідувач кафедри БЖ та ІЕ,  
професор, д.т.н.



Юрченко В.О.

## ДОДАТОК Р

  
 «Затверджую»  
 перший проректор з  
 науково-педагогічної роботи  
 Череднік Д.Л.  
 «04» 02 2016 р.

## АКТ

**про впровадження в навчальний процес результатів науково-дослідної роботи «Підвищення екологічної безпеки систем водовідведення для міської атмосфери» авторів проф. Юрченко В.О., ст.лаб. Лебедєвої О.С.**

В науково-дослідній роботі «Підвищення екологічної безпеки систем водовідведення для міської атмосфери», що виконана фахівцями кафедри, вперше шляхом розробки алгоритму бальної оцінки візуальної гармонізації установки дегазації з навколишнім середовищем, проведено відеоекологічну оцінку цих установок та запропоновані архітектурні пропозиції щодо оптимізації їх дизайну, розроблено нову методику визначення класу екологічної небезпеки та експлуатаційної надійності окремої шахти/колодязя каналізаційних мереж, розроблено сучасну комп'ютерну програму з моніторингу газоподібних викидів з каналізаційних мереж, для якої вперше застосовано візуалізацію об'єктивних характеристик цих об'єктів, запропоновано класифікацію екологічної безпеки ділянок каналізаційних мереж та визначення пріоритетності впровадження природоохоронних заходів, удосконалено методологію розрахунку концентрацій сірководню, що надходить з підсклепіневого простору каналізаційних трубопроводів через шахти в міську атмосферу, набули подальшого розвитку теоретичні та експериментальні основи пригнічення утворення сірководню в каналізаційних мережах при зниженні температури стічних вод.

Розробки науково-дослідної роботи «Підвищення екологічної безпеки систем водовідведення для міської атмосфери» мають наукове та практичне значення. Планується впровадження на підприємстві КП «Харківводоканал». Вони впроваджені в навчальному процесі нашого університету в курси лекцій, практичні та лабораторні роботи з дисциплін: «Екологічна безпека», «Моніторинг довкілля», «Моделювання і прогнозування стану довкілля», «Міське комунальне господарство».

Завідувач кафедри БЖ та ІЕ,  
професор, д.т.н.



Юрченко В.О.