

UDC 614.48:631.223

THE RESEARCH OF WASTEWATER IMPACT ON CONCRETE STRUCTURES IN THE SEWERAGE SYSTEM OF A PHARMACEUTICAL ENTERPRISE

Oksana I. Shkromada*¹, Liudmyla A. Tsyhanenko¹, Viktoriia D. Ivchenko¹, Hennadii M. Tsyhanenko¹,
Liudmyla V. Nagorna¹, Yevheniia O. Dudnyk¹, Liudmyla V. Varenyk¹, Halyna I. Rebenko¹,
Olha H. Shvets¹, Oleksandr M. Chekan¹, Alina V. Pikhtirova², Vadym D. Chivanov³

¹Sumy National Agrarian University, Herasym Kondratiev str., 160, Sumy, 40021, Ukraine

²Sumy State University, Kharkivs'ka str., 116, Sumy, 40007, Ukraine

³Institute of Applied Physics (IAP) NAS of Ukraine, Petropavlivskaya str., 58, Sumy, 40000, Ukraine

Received 22 July 2025; accepted 13 September 2025; available online 23 March 2026

Abstract

The relevance of the study is to determine the chemical composition of wastewater and its impact on the technical condition of the sewage system. Aim. The aim of the work was to investigate the chemical composition of wastewater and its effect on reinforced concrete structures of the sewage system. Methods. X-ray diffractometric, colorimetric, fluorimetric, gravimetric, titrimetric. Results. The study of the chemical composition of wastewater showed a shift in pH to the alkaline side, the suspension of dry substances in water was above the norm in the fourth sample by 5.3 %, in the fifth – by 36.3 %; the dry residue in the first sample by 31.3 %, in the second – by 20.2 %, in the third – by 13.9 %, in the fourth – by 9.3 % and in the fifth – by 27.4 %. The content of ammonium nitrogen was higher in the fourth experimental sample by 52.3 %, and in the fifth by 54.1 %. The level of nitrite ions in the first sample was higher by 9.1 %, in the second by 6.0 %, in the third and fifth by 42.4 %, and in the fourth by 36.4 %; the increase in nitrate ions in the first sample was by 11.1 %, in the second by 21.6 %, in the third by 16.0 %, in the fourth by 19.5 %, and in the fifth by 22.4 %. Conclusions. The implemented measures to reduce wastewater pollution were effective and reduced the load on concrete sewage structures. The scientific novelty of the results obtained lies in the field study of wastewater from a settling well of a pharmaceutical enterprise before and after preventive measures.

Keywords: pharmaceutical wastewater; chemical corrosion of concrete; sewage; ecology; filtration.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СТИЧНИХ ВОД НА БЕТОННІ КОНСТРУКЦІЇ У СИСТЕМІ КАНАЛІЗАЦІЇ ФАРМАЦЕВТИЧНОГО ПІДПРИЄМСТВА

Оксана І. Шкромлада*¹, Людмила А. Циганенко¹, Вікторія Д. Івченко¹, Геннадій М. Циганенко¹,
Людмила В. Нагорна¹, Євгенія О. Дудник¹, Людмила В. Вареник¹, Галина І. Ребенко¹,
Ольга Г. Швець¹, Олександр М. Чекан¹, Аліна В. Піхтірєва², Вадим Д. Чіванов³

¹Сумський національний аграрний університет, вул. Г. Кондратьєва, 160, м. Суми, 40021, Україна

²Сумський державний університет, вул. Римського Корсакова, 2, м. Суми, 40007, Україна

³Інститут прикладної фізики НАН України, вул. Петропавлівська, 58, м. Суми, 40000, Україна

Анотація

Актуальність дослідження полягає в визначенні хімічного складу стічних вод та їх впливу на технічний стан каналізаційної системи. Мета роботи – дослідити хімічний склад стічних вод та їх вплив на залізобетонні конструкції каналізаційної системи. Методи. Рентгенодифрактометричний, колориметричний, флуориметричний, гравіметричний, титриметричний. Результати. Дослідження хімічного складу стічних вод показало зміщення рН у лужний бік, завис сухих речовин у воді вище норми в четвертому зразку на 5.3 %, у п'ятому – на 36.3 %; сухий залишок у першому зразку на 31.3 %, другому – на 20.2 %, у третьому – на 13.9 %, у четвертому – на 9.3 % та в п'ятому – на 27.4 %. Вміст азоту амонійного вище в четвертому дослідному зразку на 52.3 %, та в п'ятому – на 54.1 %. Рівень нітрит-іонів у першому зразку був вищий на 9.1 %, другому – на 6.0 %, третьому та п'ятому – на 42.4 % та в четвертому – на 36.4 %; збільшення вмісту нітрат-іонів у першому зразку на 11.1 %, у другому – на 21.6 %, третьому – на 16.0 %, у четвертому – на 19.5 %, у п'ятому – на 22.4 %. Висновки. Впроваджені заходи для зниження забруднення стічних вод були ефективними і зменшили навантаження на бетонні конструкції каналізації. Наукова новизна отриманих результатів полягає в проведенні польового дослідження стічних вод відстійного колодязя фармацевтичного підприємства до та після проведення профілактичних заходів.

Ключові слова: стічні води фармацевтичного виробництва; хімічна корозія бетону; каналізація; екологія; фільтрація.

*Corresponding author: e-mail: Oksana.Shkromada@snau.edu.ua

Вступ

Поверхневий шар монолітного залізобетону бетону каналізації зазнає постійного впливу агресивного середовища стічних вод. Хімічна корозія здатна призводити до нейтралізації всіх гідратів та реакційноздатних заповнювачів. Деградація проявляється в вигляді розтріскування та відшарування значної частини бетону. Крім того, руйнування з плином часу стають глибшими і можуть зачіпати залізний каркас. Якщо не вживати запобіжних заходів, то тривалість експлуатації концентраційних колодязів для стічних вод дуже скорочується. В результаті можуть виникати аварійні ситуації з витіканням стічних вод у навколишнє середовище, забруднення ґрунтів та водойм. Тому проведення регулярних технічних оглядів та виконання відповідних рекомендацій після інспекції дає можливість подовжити термін експлуатації каналізаційних систем.

У розвинених країнах, наприклад, у Австралії, загальні витрати, пов'язані з ремонтом каналізаційних систем, склали 69.7 мільярди доларів протягом фінансового року [1]; у США – 3.3 мільярди доларів [2]; у Німеччині – 4 мільярди євро [3].

Дослідженнями [4] доведено, що додавання заліза в бетон для каналізаційної системи зменшує корозійний вплив стічних вод. Однак є обмеження, оскільки залізо не бере участі в реакціях гідратації або розчинення.

В роботі [5] встановлено, що додавання наночастинок діоксиду титану (анатазу) та поверхнево-активних речовин збільшують міцність та знижують проникність бетону. Однак дане дослідження обмежене лише лабораторними випробуваннями і невідомий результат польових досліджень у реальних умовах.

У роботі [6] запропоновані можливі методи захисту бетону в каналізаційних колодязях у вигляді покривних матеріалів, які утворюють бар'єр від агресивних речовин. Однак не доведені переваги цього методу над іншими через обмежену кількість інформації.

Ряд дослідників [7] з'ясували, що зменшення агресивності стічних вод також сприяє збереженню вже існуючих каналізаційних систем від руйнування. Так, [8] встановили, що зниження температури та кислотності стоків сприяє тривалішому терміну експлуатації каналізаційної системи.

В умовах хімічного підприємства

досліджували механізм розвитку сульфатної корозії бетону з плином часу [9; 10]. Останні дослідження науковців стосовно стратегії боротьби з сульфідною корозією бетону в каналізаційних системах доводять, що додавання до стічних вод реагентів для зменшення утворення сульфідів, насичення киснем та вентиляція уповільнюють корозію [11]. Крім того, знижується токсичність стічних вод для навколишнього середовища. Як зазначають самі автори роботи, вирішити проблему агресивних стічних вод можна тільки комплексним шляхом.

У дослідженні [12; 13] запропонована модель швидкого прогнозування підвищення концентрації розчинених сульфідів та концентрації H_2S у каналізаційній мережі. Однак отримана модель не була широко застосована на практиці для підтвердження її працездатності.

Дослідники [14; 15] запропонували керування в режимі реального часу процесами зменшення викидів сульфідів або переповнення каналізації для забезпечення безпечної експлуатації каналізаційних систем. Однак гідравлічні моделі повного циклу не підходять для таких прогнозувань через складні обчислювальні вимоги до них.

У роботі ставилась *мета* дослідити хімічний склад стічних вод та їх вплив на залізобетонні конструкції каналізаційної системи.

Експериментальна частина

Метою дослідження було визначити хімічний склад стічних вод у каналізаційному колодязі та їхній вплив на фізико-хімічні характеристики бетону, а саме:

– дослідити вплив стічних вод на структурний склад зразків монолітного залізобетону колодязя;

– визначити хімічний склад стічних вод у каналізаційному колодязі до та після впровадження рекомендацій.

Проводили технічну експертизу будівельної споруди (каналізаційного колодязя) фармацевтичного підприємства в Сумській області. Метою обстеження було оцінити технічний стан колодязя для надання рекомендацій щодо подальшої експлуатації. Споруда має розміри 18.5×4.32 м, колектор 6.5×5.6 м. Конструкція складається з верхньої відкритої та нижньої закритої частин. Стіни виконані з монолітного залізобетону.

Дослідження структурного складу зразків. Дослідження структурного складу зразків бетону проводили в Центрі колективного користування науковим обладнанням «Лабораторія матеріалознавства геліоенергетичних, сенсорних та наноелектронних систем» Сумського державного університету (м. Суми, Україна). Рентгенівський фазовий аналіз зразків бетону, що перебували в умовах корозії, проводили з використанням рентгенівського дифрактометра AXRD Benchtop (PROTO Manufacturing Ltd., Канада). Дослідження виконували в вертикальній геометрії Бреґга-Брентано з радіусом гонометра 142 мм. Діапазон сканування становив від 3° до 154° за шкалою 2 θ , швидкість сканування змінювалася в межах від 0.0001° до 100°/хв (2 θ). Куточкова точність приладу складала $\pm 0.02^\circ$ 2 θ , роздільна здатність крокового двигуна – 0.0003°, ширина піку була меншою за 0.05° 2 θ . Джерелом рентгенівського випромінювання слугувала трубка з мідним анодом і металокерамічним дизайном потужністю 1500 Вт, що працювала від електричної установки з параметрами 30 кВ та 20 мА. Реєстрацію даних здійснювали за допомогою гібридного лінійного детектора DECTRIS® MYTHEN 2R 1D, на 640 каналів. Для інтерпретації дифрактограм використовували бази даних карт рентгенівських фаз та порівняння з еталонними зразками. [16].

Дослідження хімічного складу стічних вод. Лабораторні дослідження води проводились на кафедрі біотехнології та хімії Сумського

національного аграрного університету та у науково-дослідній лабораторії полімеразноланцюгової діагностики. В таблицях 1, 2 наведені нормативні параметри ГДК забруднювачів у стічних водах та результати аналізу зразків води, які відбиралися з інтервалом в 10 діб. Хімічний аналіз забруднюючих речовин у зразках води проводили із застосуванням колориметричного, флуориметричного, гравіметричного, потенціометричного та титриметричного методів. Колориметричний метод використовували для визначення концентрації іонів різних речовин. Гравіметричним методом досліджували концентрацію зависів речовин та сухого залишку. Флуориметричним методом проводили визначення концентрації АПАР (синтетичні поверхневі речовини). Для визначення БСК₅ (біохімічне споживання кисню) застосовували метод титрування, для ХСК (хімічне споживання кисню) – метод з дихроматом калію (K₂Cr₂O₇) з використанням спектрофотометра. Показник рН визначали потенціометричним методом [17; 18].

Статистичний аналіз. Для статистичного аналізу отриманих результатів використовували метод Фішера-Стьюдента [19].

Результати та їх обговорення

На початку досліджень визначали вплив стічних вод на структурний склад зразків монолітного залізобетону колодезя. Був проведений огляд пошкоджень конструкцій (Рис. 1).



Fig. 1. Sinks in the concrete body of the monolithic ceiling. Peeling of the coating waterproofing from the ceiling. Salts on the surface of the monolithic concrete

Рис. 1. Раковини в тілі бетону монолітного перекриття. Відшарування обмазувальної гідроізоляції зі стелі. Висоли на поверхні монолітного бетону

Також були отримані зразки бетону з каналізаційного колодязя (рис. 2). Мікроструктура поверхні бетону крихка, нестабільна, спостерігається помітне

зменшення щільності за рахунок руйнування гідратованих фаз цементного каменю та зміна забарвлення, характерна для відкладень сполук феруму (III).



Fig. 2. Microstructure of a concrete sample from a sewer, enlarged $\times 30$
Рис. 2. Мікроструктура зразка бетону з каналізації, збільшено $\times 30$

Зразки бетону досліджували за допомогою рентгенівського дифрактометра AXRD Benchtop рис. 3.

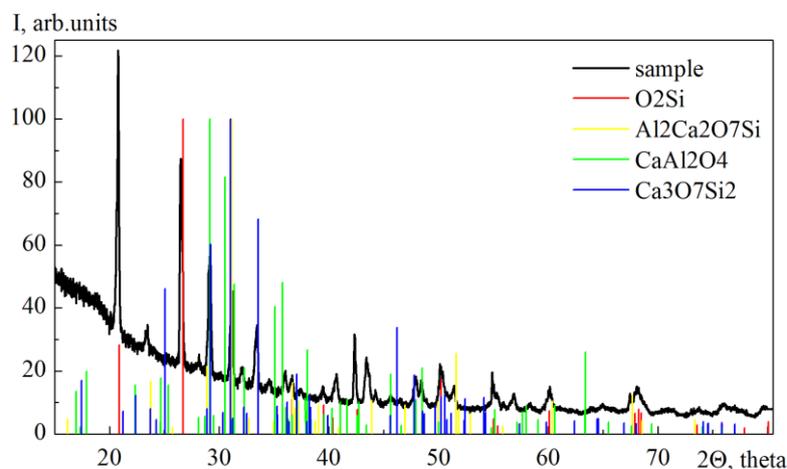


Fig. 3. Results of the study of a concrete sample using an X-ray diffractometer (X-axis: diffraction angle in degrees; Y-axis: intensity in relative (arbitrary) units)

Рис. 3. Результати дослідження бетонного зразка за допомогою рентгенівського дифрактометра (Вісь X: дифракційний кут у градусах; вісь Y: інтенсивність у відносних (довільних) одиницях)

Отримана дифрактограма (рис. 2) демонструє поєднання як кристалічних, так і аморфних фаз (бетонного зразка?). Найінтенсивніший пік у ділянці $\sim 18^\circ 2\theta$ відповідає портландиту ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), який є типовим продуктом гідратації цементного клінкеру. Широкий аморфний максимум у діапазоні $10\text{--}35^\circ 2\theta$ вказує на присутність низькокристалічної або аморфної фази C-S-H (кальцієво-силікатного гелю), яка визначає основні міцнісні властивості цементного каменю.

Аналіз піків засвідчив наявність кристалічних алюмосилікатних фаз, серед

яких ідентифіковано CaAl_2O_4 , $\text{Ca}_3\text{O}_7\text{Si}_2$ та $\text{Al}_2\text{Ca}_2\text{O}_7\text{Si}$, що формуються внаслідок гідратаційних процесів та можливих вторинних реакцій у кородованому бетоні. Додатково зафіксовано сигнали, що відповідають кварцу (SiO_2), джерелом якого, ймовірно, є заповнювач.

Виявлені фази дозволяють зробити висновок про перебіг процесів деградації матеріалу. Значна кількість портландиту свідчить про часткове збереження лужного резерву системи, тоді як наявність алюмосилікатів різного складу відображає перебудову цементної матриці під дією

агресивних чинників. Аморфна складова C-S-N зберігає зв'язувальні властивості, однак її перетворення в більш кристалічні фази може призводити до зниження міцності та довговічності матеріалу. Таким чином, результати рентгенівського аналізу підтверджують, що корозійні процеси в бетоні супроводжуються комплексною трансформацією фазового складу, включаючи збереження продуктів гідратації, появу вторинних алюмосилікатів і можливу карбонізацію. Корозія, спровокована агресивним середовищем стічних вод, призводить до утворення гідроксиду кальцію (портландиту) [20; 21] та алюмосилікатів [22]

та руйнує бетон.

Наслідки хімічного впливу спостерігали протягом всього дослідження вигляді хімічної корозії монолітного залізобетону стічного колодязя фармацевтичного підприємства. Для зменшення впливу стічних вод на бетон був запроваджений ряд заходів, які зменшили концентрацію токсичних речовин у воді, і, відповідно, хімічно індуковану корозію бетону.

Показник рН води був у межах норми, однак зсувався в лужний бік, що вказує на забруднення мийними засобами, що підтверджує показник АПАР (табл. 1).

Table 1

Indicators of the chemical composition of wastewater in the sewage facility at the beginning of the study

Таблиця 1

Показники хімічного складу стічних вод у каналізаційній споруді на початку дослідження

Показники	ГДК забруднень у стічних водах	Зразок води 1 (1 доба)	Зразок води 2 (10 доба)	Зразок води 3 (20 доба)	Зразок води 4 (30 доба)	Зразок води 5 (40 доба)	Достовірність
рН	6.5-9.0	7.5	7.81	7.62	7.54	7.69	-
Завислі речовини (мг/дм ³)	433.0	180.5	281.0	132.0	456.0	590.0	p≤0.05
Сухий залишок (мг/дм ³)	1100	1445	1322	1253	1202	1402	p≤0.05
Азот амонійний (мг/дм ³)	74.0	25.6	33.8	40.9	88.3	89.3	p≤0.05
Нітрит-іони (г/м ³)	3.3	3.6	3.5	4.7	4.5	4.7	p≤0.05
Нітрат-іони (г/м ³)	45.0	50.0	54.7	52.2	53.8	55.1	p≤0.05
Фосфат-іони (г/м ³)	10.0	6.4	7.5	8.9	4.6	4.7	-
АПАР (мг/дм ³)	10.0	11.4	16.0	17.8	15.2	14.3	p≤0.05
ХСК (мг/дм ³)	580	820	685	423	410	984	p≤0.05
БСК ₅ (мг/дм ³)	232	-	180	170	165	220	-
Сульфат-іони (мг/дм ³)	100.0	50.63	65.03	58.44	41.16	47.74	-
Хлорид-іони (мг/дм ³)	350.0	99.26	302.88	306.29	238.22	272.26	-
Залізо загальний (г/м ³)	0.54	0.77	0.90	0.78	0.35	0.42	p≤0.05
Мідь Cu (II) (г/м ³)	0.5	0.86	0.92	-	-	-	-
Цинк Zn (II) (г/м ³)	1.0	0.63	1.26	-	-	-	-
Хром Cr (VI) (г/м ³)	0.1	0.09	1.06	-	-	-	-

Примітка: * - p≤0.05 порівняно з ГДК забруднень у стічних водах

В результаті проведених досліджень встановлено, що завис речовин у четвертому

зразку перевищує нормативні показники на 5.3 %, у п'ятому – на 36.3 %. Сухий залишок був

вищим за норму в першому зразку на 31.3 %, другому – на 20.2 %, у третьому – на 13.9 %, у четвертому – на 9.3 % та в п'ятому – на 27.4 %, порівняно з гранично допустимими концентраціями (ГДК). Отримані результати свідчать про значне засолення або хімічне забруднення води, що відповідно впливає на інші показники. Дослідження [23] показують, що висока солоність перешкоджає очищенню стічних вод, ускладнює видалення забруднюючих речовин, що становить глобальну проблему для контролю забруднення води.

Рівень азоту амонійного вищий за норму в четвертому дослідному зразку на 52.3 %, та в п'ятому – на 54.1 %. Вміст загального амонійного азоту та індикатор загального навантаження на водне середовище вказують на забруднення фекаліями або органічними стоками.

Згідно з нормами нітрит- і нітрат-іони мають низькі ГДК у воді, однак у всіх дослідних зразках спостерігали достатньо високу їх кількість. Так, вміст нітрит-іонів у першому зразку був вищий на 9.1 %, другому – на 6.0 %, в третьому та п'ятому – на 42.4 % та у четвертому – на 36.4 % порівняно з ГДК. Наявність у воді нітритів є наслідком проміжної нітрифікації й вказує на розпад та активне гниття, що є дуже токсичним. Прогресуюче збільшення нітрат-іонів у першому зразку на 11.1 %, у другому – на 21.6 %, у третьому – на 16.0 %, у четвертому – на 19.5%, у п'ятому – на 22.4 % порівняно з нормою. Кінцевим продуктом нітрифікації є нітрати, підвищений рівень яких у воді є ознакою довготривалого забруднення або мінералізації, що може проникати в ґрунтові води.

Вміст фосфат-іонів у всіх дослідних зразках води був нижчий за проектну норму. Вміст синтетичних поверхнево-активних речовин (АПАР) збільшився в першій пробі води на 14 %, другій – на 60.0 %, у третій – на 78.0 %, у четвертій – на 52.0%, у п'ятій – на 43.0 % порівняно з ГДК забруднень у стічних водах. Цей показник показує, яку кількість мийних засобів було застосовано на виробництві. АПАР зменшують розмноження мікроорганізмів у стічних водах, а отже сповільнюють очищення води [24].

Неочищені стоки обумовлюють зменшення видового різноманіття та збільшення стійких до забруднення гідробіонтів, що порушує відновлення водних екосистем. У

прісноводних екосистемах спостерігається збільшення біогенних сполук, які спричинюють процеси евтрофікації, а велика кількість зависівпогіршує якість води для споживання [25].

ХСК (хімічне споживання кисню) було вище в першому зразку води на 41.4 %, у другому – на 18.1 %, у третьому та четвертому не перевершує норму. Однак у п'ятій пробі води ХСК знову збільшується на 69.6 %, що може свідчити про повторне забруднення води. Підвищений рівень ХСК у воді може призводити до знищення корисної мікрофлори та зниження рівню розчиненого кисню [27].

БСК₅ (біохімічне споживання кисню за 5 діб) було нижченорми. Збільшений рівень БСК₅ показує ступінь забруднення води органічними домішками. Чим вище рівень забруднення, тим більше кисню необхідно для очищення води [26].

Вміст сульфат- та хлорид-іонів – у межах нормативних показників в усіх дослідних зразках. Однак хаотичне збільшення або зменшення показників вказує на нове забруднення.

Вміст загального заліза був вищим у першому зразку води на 42.5 %, у другому – на 100.0 %, у третьому – на 44.4 %, у четвертому та п'ятому був у межах гранично допустимих концентрацій.

У стічних водах мідь, цинк та хром або не повинні міститися взагалі, або в незначній кількості. Однак у першому дослідному показнику мідь виявляли більше на 72.0 %, а у другому вміст збільшився на 84.0 % порівняно з ГДК. Вміст цинку в першому зразку води не перевищував норму, однак збільшився в другому на 26.0 %. Загальний хром виявляли в першому зразку води в незначній кількості, однак у другому зразку вона зросла на 960.0 %.

Після обстеження були надані рекомендації для зниження забруднення стічних вод, які включали: зменшення кількості застосування мийних засобів; додавання в стічні води коагулянтів; механічне очищення колодязя від нашарувань, відновлення захисного покриття.

З метою захисту колодязя зливали всю воду з каналізації та проводили механічне очищення бетонних конструкцій від бруду. Після висушування протягом доби було відновлено раніше втрачене захисне покриття. В якості гідроізоляційного матеріалу була використана ґрунтовка

KÖSTER Schachtmörtel (Німеччина), товщина нанесення складала 30 мм, згідно з настановою виробника. Матеріал, посилений волокнами, тужавіє навіть під проточною водою і досягає високих показників міцності на стиск та хімічний вплив. Ґрунтовку можна наносити навіть під водою, тому було обране саме це захисне покриття. Крім того, в умовах бойових дій можуть виникати тріщини бетону від вибухової хвилі і вібрацій ґрунту. Вказане покриття надає додаткової міцності бетонному колодязю, який тривалій час уже знаходиться в експлуатації. Також для зменшення кількості зависів застосовували коагуляцію – для видалення з води колоїдно-дисперсних частинок. В якості коагулянта використовували ферум (III) хлоридз

розрахунку 100 мг на 1 л води. Після цього відбувається реакція в воді: $\text{FeCl}_3 + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3 + 3\text{HCl}$, що супроводжується утворенням нерозчинних осадів, які добре вимиваються у каналізацію. Крім того, спостерігається зміщення рН в кислий бік (табл. 2). Метод коагуляції, з огляду на попередні дослідження (табл. 1), рекомендували застосовувати не рідше ніж раз на 30 діб. Крім того, виробником була обмежена кількість викидання в стічні води мийних засобів. Це було досягнуто за рахунок зменшення їх застосування в процесі виробництва.

Після впровадження на підприємстві рекомендованих заходів, був проведений повторний аналіз стічних вод (таблиця 2).

Table 2

Indicators of the chemical composition of wastewater in the sewage facility after technical examination and recommendations

Таблиця 2

Показники хімічного складу стічних вод у каналізаційній споруді на після проведення технічної експертизи та надання рекомендацій

Показники	ГДК забруднень у стічних водах	Зразок води 1 (1 доба)	Зразок води 2 (10 доба)	Зразок води 3 (20 доба)	Зразок води 4 (30 доба)	Зразок води 5 (40 доба)	Достовірність
рН	6.5-9.0	7.8	7.6	7.4	7.2	7.3	-
Завислі речовини (мг/дм ³)	433.0	280.0	180.0	152.0	122.0	120.0	p≤0,05
Сухий залишок (мг/дм ³)	1100	1290	1120	1035	1002	912	p≤0,05
Азот амонійний (мг/дм ³)	74.0	56.1	41.3	33.8	28.1	23.5	p≤0,05
Нітрит-іони (г/м ³)	3.3	4.65	3.23	3.03	-	-	-
Нітрат-іони (г/м ³)	45.0	52.20	40.12	30.22	-	-	-
Фосфат-іони (г/м ³)	10.0	11.95	10.50	8.45	7.42	6.27	p≤0,05
АПАР (мг/дм ³)	10.0	5.20	4.32	2.45	1.26	0.65	p≤0,05
ХСК (мг/дм ³)	580	920	457	320	309	254	p≤0,05
БСК ₅ (мг/дм ³)	232	235	150	134	105	94	p≤0,05
Сульфат-іони (мг/дм ³)	100.0	65.23	50.12	43.34	40.54	30.10	p≤0,05
Хлорид-іони (мг/дм ³)	350.0	268.12	302.88	306.29	238.22	272.26	p≤0,05
Залізо загальний (г/м ³)	0.54	0.53	0.41	0.46	0.40	0.43	p≤0,05
Мідь Cu (II) (г/м ³)	0.5	-	-	-	-	-	-
Цинк Zn (II) (г/м ³)	1.0	-	-	-	-	-	-
Хром Cr (VI) (г/м ³)	0.1	-	-	-	-	-	-

Примітка: * – p≤0.05, порівняно з першою добою досліджень

Рівень завислих речовин зменшився в другому зразку на 35.7 %, у третьому – на 43.2 %, у четвертому – на 56.4 %, у п'ятому – на 57.1 % порівняно з першою добою досліджень. Вміст сухого залишку в воді зменшився і другому зразку на 13.1 %, у третьому – на 19.7 %, у четвертому – на 22.3 %, у п'ятому – на 29.3 %. Зниження кількості нерозчинного осаду вказує на покращення фільтрації води перед потраплянням у колодезь. У попередніх пробах води проблемою був великий вміст органіки.

Після проведення профілактичних заходів вміст азоту амонійного зменшився в другому зразку води на 26.3 %, у третьому – на 39.6 %, у четвертому – на 49.8 %, у п'ятому – на 58.1 %. Нітрити та нітрати є токсичними сполуками, які в нормі не повинні бути присутні в стічних водах [28]. Потрапляння цих токсинів до водойм навіть у незначних кількостях може призводити до загибелі гідробіонтів. Через глобальну проблему в світі, пов'язану з цим питанням, науковці [29] запропонували застосування методу визначення кількісного прогнозування вмісту нітратів у промислових стічних водах за допомогою спектроскопії.

В процесі дослідження було встановлено, що вміст нітрит-іонів знизився в другому зразку води на 30.5 % та в третьому – на 34.8 % порівняно з початком дослідження. Рівень нітратів знизився в другому зразку води на 23.1 %, а в третьому – на 42.1 %. У четвертій та п'ятій пробах води нітрит- та нітрат-іони були відсутні.

Вмісту фосфатів у стічних водах приділяється велика увага через їх здатність призводити до евтрифікації. Це, в свою чергу, знижує рівень кисню в воді і призводить до домінування і масового розвитку водоростей та ціанобактерій. Тому дослідники шукають ефективні способи видалення фосфатів методом мембранної фільтрації, біологічного очищення, адсорбції та хімічного осадження [30]. Після виконання рекомендаційних заходів на підприємстві рівень фосфат-іонів у воді знизився в другому зразку води на 12.1 %, у третьому – на 29.2 %, у четвертому – на 37.9 %, у п'ятому – на 52.4 % порівняно з початком дослідження.

Великою проблемою на даному підприємстві є використання значної кількості синтетичних миючих засобів, які впливають також на інші показники, в тому числі на рН води. Для вивчення рівня водорозчинних полімерних речовин у процесі

очищення стічних вод дослідники [31] відбирали проби на різних етапах очистки. Результати показали, що значна частина мийних засобів залишалась у стічних водах навіть після всього процесу очищення.

Запропоновані заходи та заміна АПАР на інші безпечні речовини дозволила знизити рівень до безпечного в другому зразку води на 16.9 %, у третьому – на 52.8 %, у четвертому – на 75.7 %, у п'ятому – на 87.5 %.

Показники ХСК та БСК₅ були в межах ГДК, але мали тенденцію до подальшого зниження, що вказує на відсутність нового забруднення води [32]. Хімічне споживання кисню знизилось у другому зразку води на 50.32 %, у третьому – на 65.21 %, у четвертому – на 66.41 %, у п'ятому – на 72.39 % порівняно з першим зразком. Біологічне споживання кисню також знизилось у другому-п'ятому зразках води на 63.82 %, 42.97 %, 55.31 % та 60.0 % відповідно.

Вміст сульфатів та хлоридів був у межах проектної норми, однак після вживання заходів для більш інтенсивного очищення води рівень сульфат-іонів знизився в другому зразку води на 23.1 %, у третьому – на 33.5 %, у четвертому – на 37.8 %, у п'ятому – на 53.8 %. Вміст хлорид-іонів мав тенденцію до зниження в другій пробі води на 12.9 %, у третій – на 14.2 %, у четвертій – на 88.8 %, у п'ятій – на 101.5 %. Дослідниками [33] випробуваний метод біологічного осадження сульфідів з використанням сульфатредукуючих бактерій у стічних водах. Анаеробні сульфатвідновлювальні бактерії здатні відновлювати сульфат до сульфіду, який осаджує важкі метали.

Накопичення важких металів у стічних водах загрожує забрудненню підземних вод у багатьох країнах. Дослідники [34; 35] встановили, що концентрації токсичних металів, таких як Fe та Cr, спостерігали найчастіше. В стічних водах фармпідприємства рівень заліза після підсилення процесів фільтрації знизився в другому зразку води на 22.6 %, у третьому – на 13.2 %, у четвертому – на 24.5 %, у п'ятому – на 18.8 %, порівняно до першою доби досліджень. Мідь, цинк і хром не були виявлені в пробах води, що вказує на зменшення хімічного забруднення стічних вод підприємства.

Обмеження дослідження полягає в тому, що експеримент був проведений на одному фармацевтичному підприємстві, тому запропоновані заходи та результати необхідно

інтерпретувати та проаналізувати для застосування в інших галузях виробництва.

Висновки

1. За допомогою рентгенівського дифрактометра встановлено, що основними компонентами бетону були портландит ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), та алюмосилікати (CaAl_2O_4 , $\text{Ca}_3\text{O}_7\text{Si}_2$ та $\text{Al}_2\text{Ca}_2\text{O}_7\text{Si}$), що вказує на хімічну корозію.

2. Дослідження хімічного складу стічних вод показало зміщення рН в лужний бік. Також вище норми були показники завислих речовин та азоту амонійного на 30-ту та 40-ву добу; сухого залишку протягом всього періоду дослідження; нітрит-іонів на 20–40 добу; нітрат-іонів ХСК та АПАР протягом всього періоду; загального заліза, міді, цинку та хрому протягом 1–10 доби. Отримані результати свідчать про перевищення ГДК для стічних вод фармацевтичного підприємства. З метою зниження забруднення стічних вод були запропоновані: механічне очищення колодязя, відновлення гідроізоляційного захисного покриття на бетонні конструкції та регулярне, раз на 30 діб, застосування коагулянту.

3. Після проведення заходів по зниженню забруднення стічних вод рН був у межах 7.2–7.4. На 10-ту добу досліджень всі показники

були в межах ГДК, що вказує на ефективність проведених технічно-відновлювальних та очисних робіт. Унікальність отриманих результатів полягає в проведенні польового дослідження стічних вод відстійного колодязя фармацевтичного підприємства до та після проведення профілактичних заходів.

Конфлікт інтересів

Автори декларують, що не мають конфлікту інтересів стосовно даного дослідження, в тому числі фінансового, особистісного характеру, авторства чи іншого характеру, що міг би вплинути на дослідження та його результати, представлені в даній статті.

Фінансування

Ця робота була профінансована проектом «Research into the spread of infectious disease pathogens and antibiotic-resistant microorganisms in frontline areas» (№0126U000393).

Доступність даних

Рукопис не має пов'язаних даних

Use of artificial intelligence

The authors confirm that they did not use artificial intelligence technologies when creating the current work.

References

- [1] Anwar, A., Liu, X., & Zhang, L. (2022). Biogenic corrosion of cementitious composite in wastewater sewerage system—A review. *Process Safety and Environmental Protection*, 165, 545–585. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2022.07.030>
- [2] Pramanik, S. K., Bhuiyan, M., Robert, D., Roychand, R., Gao, L., Cole, I., & Pramanik, B. K. (2024). Bio-corrosion in concrete sewer systems: Mechanisms and mitigation strategies. *The Science of the total environment*, 921, 171231. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171231>
- [3] Ouattara, Z. A., Kabo-Bah, A. T., Dongo, K., & Akpoti, K. (2023). A Review of sewerage and drainage systems typologies with case study in Abidjan, Côte d'Ivoire: failures, policy and management techniques perspectives. *Cogent Engineering*, 10(1). <https://doi.org/10.1080/23311916.2023.2178125>
- [4] Bakera, A. T., Aboulela, A., Alexander, M. G., Bertron, A., Peyre Lavigne, M., Meulenyzer, S., & Patapy, C. (2025). Performance of Sewer Concretes with Calcium Sulpho-Aluminate Cement and Portland Cement Blends: Field and Laboratory Studies. *Materials (Basel, Switzerland)*, 18(6), 1256. <https://doi.org/10.3390/ma18061256>
- [5] Shkromada, O., Paliy, A., Yurchenko, O., Khobot, N., Pikhtirova, A., Vysochin, I., Fedorenko, G., & Paliy, A. (2020). Influence of fine additives and surfactants on the strength and permeability degree of concrete. *Eureka: Physics and Engineering*, (2), 19–29. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2020.001178>
- [6] Merachtsaki, D., Tsardaka, E. C., Anastasiou, E., & Zouboulis, A. (2021). Evaluation of the Protection Ability of a Magnesium Hydroxide Coating against the Bio-Corrosion of Concrete Sewer Pipes, by Using Short and Long Duration Accelerated Acid Spraying Tests. *Materials (Basel, Switzerland)*, 14(17), 4897. <https://doi.org/10.3390/ma14174897>
- [7] Liang, Z., Wu, D., Li, G., Sun, J., Jiang, F., & Li, Y. (2023). Experimental and modeling investigations on the unexpected hydrogen sulfide rebound in a sewer receiving nitrate addition: Mechanism and solution. *Journal of environmental sciences (China)*, 125, 630–640. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2021.12.038>
- [8] Wang, D., Guan, F., Feng, C., Mathivanan, K., Zhang, R., & Sand, W. (2023). Review on Microbially Influenced Concrete Corrosion. *Microorganisms*, 11(8), 2076. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11082076>
- [9] Shkromada, O., Ivchenko, V., Chivanov, V., Shvets, O., Moskalenko, V., Kochenko, A., Babenko, O., Kharchenko, Y., Pikhtirova, A., & Yurchenko, O. (2022). Determining changes in the mineral composition of concrete due to chemical corrosion in a sulfate environment. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(6 (120)), 42–50. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.268627>
- [10] Shkromada, O., Pikhtirova, A., Chivanov, V., Ivchenko, V., Sribniak, N., Shvets, O., & Litsman, Y. (2022). Detection of the synergetic influence of chemical and microbiological factors on the properties of concrete constructions at chemical plants during the long-term service. *EUREKA: Physics and Engineering*, (4), 114–126. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2022.002485>
- [11] Zhang, L., Qiu, Y. Y., Sharma, K. R., Shi, T., Song, Y., Sun, J.,

- Liang, Z., Yuan, Z., & Jiang, F. (2023). Hydrogen sulfide control in sewer systems: A critical review of recent progress. *Water research*, 240, 120046. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2023.120046>
- [12] Liang, Z., Xie, W., Li, H., Li, Y., & Jiang, F. (2024). Integrating machine learning algorithm with sewer process model to realize swift prediction and real-time control of H₂S pollution in sewer systems. *Water research X*, 23, 100230. <https://doi.org/10.1016/j.wroa.2024.100230>
- [13] Lv, J. Q., Yin, W. X., Xu, J. M., Cheng, H. Y., Li, Z. L., Yang, J. X., Wang, A. J., & Wang, H. C. (2024). Augmented machine learning for sewage quality assessment with limited data. *Environmental science and ecotechnology*, 23, 100512. <https://doi.org/10.1016/j.ese.2024.100512>
- [14] Li, J., Sharma, K., Li, W., & Yuan, Z. (2022). Swift hydraulic models for real-time control applications in sewer networks. *Water research*, 213, 118141. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.118141>
- [15] Duan, H., Li, J., & Yuan, Z. (2024). Making waves: Knowledge and data fusion in urban water modelling. *Water research X*, 24, 100234. <https://doi.org/10.1016/j.wroa.2024.100234>
- [16] Calvin, J. J., Kaufman, T. M., Sedlak, A. B., Crook, M. F., & Alivisatos, A. P. (2021). Observation of ordered organic capping ligands on semiconducting quantum dots via powder X-ray diffraction. *Nature communications*, 12(1), 2663. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22947-x>
- [17] (2021). [Cabinet of Ministers of Ukraine Decree on the Approval of the Concept of the National Targeted Social Program "Drinking Water of Ukraine" for 2022-2026 April 28, 2021, No. 388-r]. (In Ukrainian). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/388-2021-%D1%80#Text>
- [18] Balabak, O., et al. (2023). Study of the hydrosystem and environmental monitoring of water quality. *Journal of Ecological Engineering*, 24(3), 178–187. <https://doi.org/10.12911/22998993/158481>
- [19] Fisher, R.A., Fisher, R. A. (1948). Questions and answers #14". *The American Statistician*. 2(5): 30–31. doi:10.2307/2681650. JSTOR 2681650
- [20] Luo, Z., Yu, H., Ma, H., Tan, Y., Wu, C., Sun, J., Wang, X., & Wu, P. (2025). Corrosion Products and Microstructural Evolution of Ordinary Portland Cement and High-Performance Concrete After Eight Years of Field Exposure in Qarhan Salt Lake. *Materials (Basel, Switzerland)*, 18(8), 1769. <https://doi.org/10.3390/ma18081769>
- [21] Zhang, C., Li, J., Yu, M., Lu, Y., & Liu, S. (2024). Mechanism and Performance Control Methods of Sulfate Attack on Concrete: A Review. *Materials (Basel, Switzerland)*, 17(19), 4836. <https://doi.org/10.3390/ma17194836>
- [22] Coppola, L., Beretta, S., Bignozzi, M. C., Bolzoni, F., Brenna, A., Cabrini, M., Candamano, S., Caputo, D., Carsana, M., Cioffi, R., Coffetti, D., Colangelo, F., Crea, F., De Gisi, S., Diamanti, M. V., Ferone, C., Frontera, P., Gastaldi, M. M., Labianca, C., Lollini, F., ... Todaro, F. (2022). The Improvement of Durability of Reinforced Concretes for Sustainable Structures: A Review on Different Approaches. *Materials (Basel, Switzerland)*, 15(8), 2728. <https://doi.org/10.3390/ma15082728>
- [23] Kato, S., & Kansha, Y. (2024). Comprehensive review of industrial wastewater treatment techniques. *Environmental science and pollution research international*, 31(39), 51064–51097. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-34584-0>
- [24] Iurchenko, V., Melnykova, O., Samokhvalova, A., Onyshchenko, N., Rachkovskiy, O., Mykhailova, L. (2023). Problems of providing Kharkiv with anecologically safe recreational zone based on the Studenok river. *AIP Conference Proceedings*, 2490, 195274. <https://doi.org/10.1063/5.0148492>
- [25] Shi, Y., Yang, D., Hu, C., & Lyu, L. (2023). Water self-purification via electron donation effect of emerging contaminants arousing oxygen activation over ordered carbon-enhanced CoFe quantum dots. *Environmental science and ecotechnology*, 20, 100356. <https://doi.org/10.1016/j.ese.2023.100356>
- [26] Pratiwi, D., Sumiarsa, D., Oktavia, D., & Sunardi, S. (2023). Water Quality Influences Self-Purification in the Cihawuk and Majalaya Segments Upstream of the Citarum River, West Java, Indonesia. *Water*, 15(16), 2998. <https://doi.org/10.3390/w15162998>
- [27] Drolc, A., & Vrtovsek, J. (2010). Nitrate and nitrite nitrogen determination in waste water using on-line UV spectrometric method. *Bioresource technology*, 101(11), 4228–4233. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.01.015>
- [28] Gan, F., Wu, K., Ma, F., Wei, C., & Du, C. (2022). In-situ monitoring of nitrate in industrial wastewater using Fourier transform infrared attenuated total reflectance spectroscopy (FTIR-ATR) coupled with chemometrics methods. *Heliyon*, 8(12), e12423. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e12423>
- [29] Usman, M. O., Aturagaba, G., Ntale, M., & Nyakairu, G. W. (2022). A review of adsorption techniques for removal of phosphates from wastewater. *Water science and technology : a journal of the International Association on Water Pollution Research*, 86(12), 3113–3132. <https://doi.org/10.2166/wst.2022.382>
- [30] Mairinger, T., Loos, M., & Hollender, J. (2021). Characterization of water-soluble synthetic polymeric substances in wastewater using LC-HRMS/MS. *Water research*, 190, 116745. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116745>
- [31] Wojnárovits, L., Homlok, R., Kovács, K., Tegze, A., & Takács, E. (2024). Wastewater Characterization: Chemical Oxygen Demand or Total Organic Carbon Content Measurement? *Molecules (Basel, Switzerland)*, 29(2), 405. <https://doi.org/10.3390/molecules29020405>
- [32] Kumar, M., Nandi, M., & Pakshirajan, K. (2021). Recent advances in heavy metal recovery from wastewater by biogenic sulfide precipitation. *Journal of environmental management*, 278(Pt 2), 111555. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111555>
- [33] Shaji, P. S., Vincent, S. G. T., & Subburamu, K. (2025). Sulfate-reducing bacteria in removal of pollutants: a promising candidate for bioremediation. *World journal of microbiology & biotechnology*, 41(4), 125. <https://doi.org/10.1007/s11274-025-04345-3>
- [34] Lotfi, S., Chakit, M., & Belghyti, D. (2020). Groundwater Quality and Pollution Index for Heavy Metals in Saïs Plain, Morocco. *Journal of health & pollution*, 10(26), 200603. <https://doi.org/10.5696/2156-9614-10.26.200603>
- [35] El Morabet, R. , Barhazi, L. , Khan, R. A. , Hejjaj, A. , Harrara, R. , Bouhafa, S. , ... Yeremenko, S. . (2021). Study of Seasonal variation and Index Based Assessment of Water Quality and Pollution in Semi-Arid Region of Morocco. *Ecological Questions*, 32(4), 113–125. <https://doi.org/10.12775/EQ.2021.037>