9. Инструкция по обеспыливанию автомобильных дорог на открытых горных разработках предприятий черной металлургии. – Москва, ВНИИБТГ МИНЧЕРМЕТ СССР, 1988. – 28 с.

10. Guidance document on the use of moist damping of explosive charges during blasting operations on quarries, de-gassing of blown up mines and purifying the atmosphere from harmful explosive products. - Kryviy Rih - 1997. - KTU. RILFEMMI. - p.9.

Рукопис подано до редакції 16.04.2018

УДК 628.312.5:004.031.2

Н. Н. ШАПОВАЛОВА, ст. викладач, І. Ю. БОГАЦЬКИЙ, О. Ю. ШТАНЬКО, студенти,
Криворізький національний університет

РОЗРОБКА КОМПЛЕКСНОЇ СИСТЕМИ ДИСТАНЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ ЗА РІВНЕМ ЗАБРУДНЕННЯ ВИРОБНИЧИХ СТІЧНИХ ВОД

Мета. Розробити апаратно-програмний комплекс контролю стану стічних вод, розглянути основні антропогенні джерела забруднення водного середовища, ознайомитись з критеріями забруднення водойм, проаналізувати методи визначення рівня забрудненості за відповідними критеріями, визначити склад води за такими параметрами: температура, мутність, рівень кислотності. Створити спеціальне програмне забезпечення по відстеженню фактичних значень критеріїв виміру забруднення стічних вод, побудові графічних зображень та збереженню показів від датчиків якості стічних вод.

Методи доладження. Мутність – властивість води, обумовлена наявністю нерозчинних речовин органічного та неорганічного походження. Причиною є мулисті частки, кремнієва кислота, гідроокиси заліза та алюмінію, органічні колоїди, мікроорганізми та планктон. Рівень мутності визначається методом турбідиметрії. Рівень кислотності визначається методом виміру напруги між двома електродами, опущеними в розчин. Визначення температури води відбувається шляхом занурення термометра у воду, при цьому вона не повинна освітлюватися сонцем. Були використані загальнонаукові методи теоретичного дослідження: аналіз складу стічних вод, синтез отриманих даних, моделювання процесу визначення рівня забрудненості води, узагальнення; методи емпіричного дослідження: вивчення досвіду в області поставленого завдання, тестування отриманої моделі; методи об'єктно-орієнтованого проектування та програмування.

Наукова новизна. Визначено фізичні показники забрудненості стічних вод, а саме: ступінь мутності, кольоровості та рівень кислотності. Запропоновано підходи до вирішення проблеми контролю якості стічних вод на основі апаратно-програмного комплексу контролю якості стічних вод.

Практична значимість виконаної роботи полягає у визначенні фізичних показників забрудненості стічних вод та вирішенні проблеми забруднення водойм за рахунок завчасного попередження виникнення надзвичайних ситуацій. Вимірювальна станція є системою раннього виявлення забруднень. Апаратно-програмний комплекс має широке коло застосування, починаючи з промислових стічних вод, і, закінчуючи питною водою.

Результати. Розроблено апаратно-вимірювальний комплекс контролю фізичних показників стічних вод, відстеження, зберігання інформації фізичних показників складу стічних вод та побудови графічних зображень на основі фізичних показників якості стічних вод.

Ключові слова: апаратно-програмний комплекс, функціонал якості, мутність, водневий показник, метод турбідиметрії, детектор розсіяного світла, потенціометричний аналіз.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-104-125-130

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними задачами. Постійний розвиток усіх галузей промисловості, енергетики, сільського і комунального господарств потребує значного водоспоживання, як результат – збільшення кількості стічних вод. Потрапляючи в поверхневі й підземні джерела вод, стічні води забруднюють їх шкідливими домішками, небезпечними для життя людини. Сучасний стан водних ресурсів України знаходиться у критичному положенні. Офіційна статистика вказує, що кожного року у водойми України скидають більше 300 млн кубометрів неочищених стоків, майже у кожній з водойм зафіксовано перевищення допустимих норм забруднення [1].

Збереження й охорона водних ресурсів від забруднення – одна з найважливіших проблем людства. Особливе місце займає питання охорони водойм від забруднення стічними водами промислових підприємств, основна частина яких розташована у великих містах. Нині велика кількість підприємств продовжують випускати неочищені або недостатньо очищені стоки. Такі підприємства караються шляхом накладення штрафів, але сплачені кошти не компенсують на-

несених збитків, водойма не відновлюються, тому потрібно замість скидання забруднених вод застосовувати ефективні системи попередження забруднення і очищення стічних вод.

В статті розглянуто принцип побудови апаратно-вимірювального комплексу раннього виявлення забруднень, склад програмного забезпечення, також розроблено рекомендації щодо доцільності використання апаратно-програмного комплексу раннього виявлення рівня забруднення стічних вод.

Аналіз досліджень і публікацій. Найбільша частка забруднень, у вигляді неочищених стоків, припадає на підприємства гірничо-металургійного комплексу. Так, в 2009 р. їх обсяг склав близько 45% викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря, які потім потрапляють у водні ресурси. Найбільші викиди забруднюючих речовин у Кривому Розі та Алчевську – 99 %, Маріуполі та Дніпродзержинську – 95 %. Площа Дніпровської області становить 31,9 тис. км², під водою знаходиться 5 % території, головною артерією є ріка Дніпро. На душу населення припадає лише 0,57 тис. м³ прісної води на рік, в той час як у Європі цей показник складає 4,6 тис. м³ [2].

За останні 3 роки спостерігається часткове зменшення забруднення, проте ці обсяги все ще мають великі показники. Підземні води забруднені практично по всій території області, та найбільш забруднені вони в Криворізькому, Широківському та Софіївському районах нафтопродуктами та важкими металами [3].

Рівень очищення води на сьогодні надзвичайно низький. Промислові підприємства продовжують випускати неочищені стоки, вода використана для гасіння відвалів, гідрозакладки, боротьби з пилом на поверхні шахт і кар'єрів, мокре збагачення корисних копалин продовжує потрапляти у ґрунт без попереднього проходження фільтрації. Наявні методи очищення води дають можливість очистити стічні води на 95%, але на практиці очищення відбувається максимум на 70 % або не відбувається зовсім [4].

Наразі питання контролю скидання забруднених стічних вод у водоймища займає важливе місце. Виробничий контроль за скиданням забруднюючих речовин у водойму на підприємствах здійснюється на підставі офіційно виданих норм і правил, необхідних для організації і проведення виробничого контролю, затверджених нормативно-методичних документів контролю і схеми проведення лабораторного контролю за роботою очисних споруд, скиданням стічних вод і якістю річкової води [5].

Таким чином, контроль якості стічних вод включає: контроль за дотриманням встановлених нормативів скидання забруднюючих речовин у водний об'єкт; контроль за ефективністю роботи очисних споруд; контроль за станом водного об'єкта; контроль за скиданням забруднюючих речовин у разі виникнення аварійних ситуацій і усунення їх наслідків.

Для аварійного скидання кислот або лугів на промислових підприємствах повинен передбачатися приймальний резервуар відповідної ємності [6, 7]. Контроль за величиною рН скиданих в каналізацію стічних вод повинен бути автоматизований.

При відсутності контролю викидів стічних вод може розпочатися незворотній процес по знищенню водоймищ. Це досить скоро може призвести до втрати річок, які є постачальниками питної води. Жителі України, що споживають ресурси річки, можуть залишитися без питної води вже в найближчий час. Наслідки забруднення водного середовища можуть бути різноманітними для здоров'я людини.

Постановка завдання. Існує проблема контролю якості стічних вод. Традиційним є напрямок, пов'язаний з розробкою автоматизованих інструментальних систем аналізу, які в реальному часі дозволяють визначати вміст домішок. Для контролю джерел скидання стічних вод на рельєф і в водойми, в тому числі на віддалених виробничих об'єктах, передбачено використання мобільних аналітичних лабораторій [8]. Спостереження і контроль за рівнем забруднення поверхневих вод здійснюється на основі фізичних та хімічних показників. Устаткування мобільних станцій дозволяє забезпечити експрес-аналіз основних фізико-хімічних параметрів зразків води, а також доставку показників проб для детального аналізу.

Склад стічної рідини, яка надходить на обробку, різко коливається протягом не тільки доби, а й однієї години. Нерідкі випадки залпових скидів, коли концентрація забруднень зростає в сотні разів. У таких випадках з'являються проблеми пов'язані з часом обробки вхідних даних. У цих умовах задовільну обробку води можуть забезпечити тільки автоматичні станції.

При стандартному контролі за викидами необхідно встановити наявність стічних вод і відходів, визначити їх склад і характер.

Фізичний склад води визначається рівнем кислотності, мутності та кольоровості. Величина рН визначається кількісним співвідношенням у воді іонів H^+ і OH^- , що утворюються при дисоціації води. Якщо іони OH^- у воді переважають - тобто $pH > 7$, то вода буде мати лужну реакцію, а при підвищеному вмісті іонів H^+ - $pH < 7$ - кислу.

Залежно від рівня рН води можна умовно розділити на кілька груп: сильно-кислі води < 3 ; кислі води $3 - 5$; слабо-кислі води $5 - 6,5$; нейтральні води $6,5 - 7,5$; слабо-лужні води $7,5 - 8,5$; лужні води $8,5 - 9,5$; сильно-лужні води $> 9,5$.

Залежно від величини рН може змінюватися швидкість протікання хімічних реакцій, ступінь корозійної агресивності води, токсичність забруднюючих речовин і багато іншого. При низькому значенні рівня рН вода стає кислим і дуже агресивним середовищем [9]. Це призводить до позеленіння води, великої витрати хлору, а також появи іржі на металевих частинах очисного обладнання. Якщо значення рН високе, значить, у воді міститься багато лугу. Вода стає каламутною, навіть при високому вмісті в ній дезінфікуючих засобів (хлору, активного кисню тощо), утворюються пластівці. Вода стає небезпечною, якщо потрапляє на шкіру (починає дратувати шкіру і очі). Починається осадження кальцію на стінках водопроводу, насосному та іншому обладнанні, що може привести до його поломки.

Якщо рівень рН вище або нижче норми – ефективність дезінфікуючих засобів для обробки води сильно знижується, що може призвести до різних проблем з водою. Нормальний рівень рН становить від 7,0 до 7,6 одиниць [10]. Апаратно-вимірювальний комплекс контролю якості води дозволить завчасно передбачити та попередити факти виявлення підвищеного рівня мутності та рН рівня у воді, що дозволить завчасно прийняти міри по очищенню води та збереженню обслуговуючого обладнання. Безперервний об'єктивний контроль за всіма викидами стічних вод в межах водоохоронних комплексів дозволяє створити умови для планомірного і економічно обґрунтованого зниження скидання шкідливих речовин кожним водокористувачем шляхом більш глибокого очищення стічних вод, для потреб промисловості і сільського господарства без викидів у водний об'єкт.

Викладення матеріалу та результати. Використання апаратно-вимірювальних комплексів обумовлено їх швидкістю обробки даних та наданням за короткий час результатів експрес-аналізів стічних вод. Комплекси дозволяють контролювати рівні мутності та кислотності стічних вод, за результатами котрих перевіряється ефективність роботи очисних споруд.

Місця використання включають в себе свердловини, колодязі, системи водо-підготовки, системи гідропоніки, басейни та акваріуми.

Для використання станції слід занурити відповідні датчики у воду та отримати результати експрес-аналізу.

Алгоритми турбидиметрії дозволяють отримувати результати заміру рівня мутності стічних вод. Датчики мутності працюють на основі фотоелектричного ефекту інтенсивності світлового потоку, що пройшов через контрольовану середу. Визначення змісту зв'язаних речовин здійснюється на підставі залежності між оптичною щільністю досліджуваного середовища і кількістю нерозчинних в середовищі частинок [11]. Принцип роботи датчика полягає в тому, що промінь світла від джерела формується лінзою і проходить через шар досліджуваного середовища, обмеженого захисним склом (рис. 1).

Рис. 1. Внутрішня складова датчика мутності

За допомогою об'єктива світловий потік концентрується на світлочутливому шарі приймального фотодіода. Датчик містить спеціальний елемент для підтримки постійного рівня інтенсивності вихідного світлового потоку. Частина світлового потоку від випромінювача направляється дзеркалом на лінзу, яка концентрує потік на світлочутливому шарі фотодіода.

Результат вимірювань надається в одиницях виміру – мг/л [12]. Шукану величину можна отримати аналітичним шляхом, підставляючи отримане значення напруги у формулу 1

$$y(x) = -1120,4x^2 + 5742,3x - 4352,9. \quad (1)$$

Зв'язок між рівнем мутності та отриманим значенням напруги від датчика зображено на рис. 2.

Рис. 2. Залежність напруги від рівня мутності

Датчик кислотності являє собою мілівольтметр. Принцип роботи електроду полягає у зануренні в рідину двох електродів: вимірювання та порівняння. Потенціал вимірювального електроду $U_{\text{вим}}$ (формула 2) відносно розчину лінійно залежить від величини рН розчину.

$$U_{\text{вим}} = a + b \cdot \text{pH}, \quad (2)$$

де a, b – константи.

Потенціал електроду порівняння подається на другий вхід рН-метра. Електрод порівняння слугує нулем відліку. Якщо ми опускаємо електрод порівняння в розчин, то між точкою в розчині, куди він занурений і його виходом виникає постійна напруга $U_{\text{порівн}}$. Ця напруга подається на другий вхід рН-метра (вхід порівняння). Падіння напруги в розчині дорівнює нулю, тому що ніякий струм в розчині не протікає. Таким чином, напруга між входами рН-метра визначається виразом

$$U = U_{\text{вим}} - U_{\text{порівн}} = a + b \cdot \text{pH} - U_{\text{порівн}} = c + b \cdot \text{pH}. \quad (3)$$

Таким чином, між вимірювальною рН-метром величиною напруги і значенням рН розчину виникає лінійний зв'язок.

Константи c і b для даної електродної системи визначають за допомогою стандартних розчинів з відомою величиною рН (прив'язаних до Державного стандарту, де шкала рН визначається з комплексу теоретичних і експериментальних даних) [13].

Оскільки датчик кислотності являє собою мілівольтметр, визначення шуканої концентрації зважених речовин у воді в залежності від діапазону здійснюється за таблицею відповідності (табл. 1), що характеризує залежність показань приладу в мікроамперах від рівня кислотності в досліджуваній воді.

Таблиця 1
Залежність напруги від рівня рН

Напруга (мВ)	Рівень рН	Напруга (мВ)	Рівень рН
414.12	0	-414.12	14
354.96	1	-354.96	13
295.80	2	-295.80	12
236.64	3	-236.64	11
177.48	4	-177.48	10
118.32	5	-118.32	9
59.16	6	-59.16	8
0.00	7	0.00	7

Проілюструємо результат роботи датчиків кислотності та мутності. Дослід сформований на основі чистої, кип'яченої води, в залежності від температури води отримуємо значення кислотності на рис. 3а та значення мутності на рис. 3б.

Даний експеримент підтверджує необхідність виміру показів температури досліджуваної води для отримання максимально точного результату вимірювання рівня кислотності та мутності, також експеримент

проілюстрував переваги розробленого програмного забезпечення, одна з яких це можливість отримання динамічної похибки вимірювання рівня кислотності та мутності в реальному часі. Програмне забезпечення, на основі отриманих даних, дозволяє визначити залежність показів датчиків від зовнішніх природних факторів, на основі чого формується значення похибки.

Рис. 3. Залежність а – рівня кислотності від температури; б – рівня мутності від температури

Моделювання рівню забрудненості стічних вод пропонується виконувати на основі методів машинного навчання. Поставлена задача відноситься до задач навчання з учителем [14]. Кожен прецедент являє собою пару «об'єкт – відповідь». Потрібно знайти функціональну залежність відповідей від описів об'єктів і побудувати алгоритм, який бере на вході опис об'єкта і видає на виході відповідь. До цього типу належать, зокрема, задачі класифікації і регресії [15].

Модель даних забрудненості води реалізується методами регресійного аналізу, в яких безліч допустимих відповідей визначено. Відповіддю є дійсне число або числовий вектор. Розглянемо задачу навчання за прецедентами – задачу лінійної регресії

$$a(x) = \sum_{j=1}^{d+1} w_j x^j = \langle w, x \rangle, \quad (4)$$

де w_0 – вільний коефіцієнт, x – ознаки, w_j – вага x^j -ї ознаки, d – кількість ознак у вибірці, позначення $\langle w, x \rangle$ використовується для скалярного добутку двох векторів

Якість алгоритму оцінюється тим, наскільки точно отримана модель описує залежності даних у вибірці, тобто чим менша помилка (відхилення) на кожному об'єкті, тим вище якість алгоритму. В якості міри помилки не може бути вибрано відхилення від прогнозу (y) $Q(a, y) = a(x) - y$, оскільки в цьому випадку мінімум функціоналу не буде досягнутий при правильній відповіді $a(x) = y$. Найпростіший спосіб – розрахувати модуль відхилення $|a(x) - y|$. Але, оскільки функція модуля недиференційована, доцільно використовувати квадрат відхилення прогнозу $(a(x) - y)^2$. Запишемо функцію як середньоквадратичний критерій відхилення через вектор вагових коефіцієнтів

$$Q(w, x) = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l (\langle w, x_i \rangle - y_i)^2 \rightarrow \min_w. \quad (5)$$

Тепер цільова функція (5) має неперервну похідну на всій множині визначення, і її можливо мінімізувати градієнтними методами.

Рис. 4. Модель кислотності стічних вод у завданому проміжку часу

Програмний модуль дозволяє моделювати рівень забрудненості стічних вод за обраний період часу і візуалізувати дані на основі методів штучного інтелекту (рис. 4).

Побудована модель кислотності стічних вод у вибраний проміжок часу має вигляд $0,08362x^2 - 9,4x + 0,02$, якість складає 96,45%.

Висновки та напрямки подальших досліджень. Проаналізувавши роботу апаратно-

вимірювального комплексу, отримані значення від датчиків кислотності, мутності можна рекомендувати прилад для застосування у місцях накопичення стічних вод (відстійниках), свердловинах, локальних басейнів. Комплекс вдало дозволяє контролювати роботу очисних приладів та вчасно інформувати про появу надзвичайних ситуацій пов'язаних з різкою зміною складу води. В ході подальших досліджень планується вдосконалення наявних комплексів шляхом розширення кількості датчиків контролю якості води з метою більш детального визначення фізико-хімічного складу досліджуваного розчину.

Список літератури

1. Вирішення проблеми забруднення водойм за рахунок інтенсифікації очищення стоків підприємств [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://www.rusnauka.com/8_NMIW_2008/Ecologia/28230.doc.htm.
2. Мониторинг за водоснабжением и санитарией [Електронний ресурс] / 1 // Всемирная организация здравоохранения. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: https://www.who.int/water_sanitation_health/monitoring/ru/.

3. Проблеми забруднення поверхневих, підземних і стічних вод та заходи щодо їх ліквідації і запобігання в Україні [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://ekmair.ukma.edu.ua/bitstream/handle/123456789/1058/Pashkov_Problemy%20zabrudnennia%20poverkhnevykh.pdf.
4. Прогресс в области очистки и использования сточных вод с соблюдением требований безопасности: экспериментальная апробация методологии мониторинга и первоначальные выводы по показателю 6.3.1 ЦУР [Progress on safe treatment and use of wastewater: piloting the monitoring methodology and initial findings for SDG indicator 6.3.1]. Женева: Всемирная организация здравоохранения и ООН-ХАБИТАТ; 2018. Лицензия: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
5. **Швецов В. Н.**, Морозова К. М., Нечаев И. А. Теоретические и технологические аспекты применения биомембранных технологий глубокой очистки сточных вод // Водоснабжение и санитарная техника. – 2006. – №12. – С. 25 – 30.
6. **Сидоров Ю. І.** Процеси і апарати хіміко-фармацевтичної промисловості.: Навч. посіб. для фарм. і хім. спец. ВНЗ / Сидоров Ю. І., Чусєшов В. І. та інші. – Вінниця: Нова книга, 2010. – 816 с.
7. Канализация : Учебник для вузов / С. В. Яковлев, Я. А. Карелин, А. И. Жуков, С. К. Колобанов. — Издание 5-е, переработанное и дополненное. — Москва : Стройиздат, 1975. — 632 с., ил.
8. **Паутова М. В.** Контроль качества сточных вод. [Електронний ресурс] / Мария Владимировна Паутова – Режим доступу до ресурсу: https://www.barentsinfo.fi/beac/docs/WGEsub_Water_Conf_Nov-Dec_2010_Arkhangelsk_Session2_Lab_management_ARKH_RUS.pdf.
9. Водородный показатель (pH) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.gicpv.ru/waterchem31.html>.
10. **Елфимов.** Измерение мутности потока современными способами и ее корреляция с концентрацией взвешенных частиц в единице объема на примере водохранилища Дез (Иран) / Елфимов, Хасад Хамид – Москва, Россия: ул. Миклухо-Маклая. – С. 75–82.
11. Як працює рН-метр? [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://ionomer.ru/content/view/41/29/russian/>.
12. **Кутковский К. А.** Виды сточных вод и основные методы анализа загрязнителей [Електронний ресурс] / К. А. Кутковский // Молодой ученый. – 2013. – Режим доступу до ресурсу: <https://moluch.ru/archive/56/7745/>.
13. ДСТУ 2225-95 (ГОСТ 30421-96) Вимірювачі електричної ємності, активного опору та тангенса кута втрат високовольтні. Загальні технічні умови
14. **Луис Педро Коэльо,** Вилли Ричарт. Построение систем машинного обучения на языке Python. 2-е издание / пер. с англ. Слинкин А. А. – М.: ДМК Пресс, 2016. – 302 с.
15. **Шаповалова Н. Н.,** Рибальченко О. Г., Куропятник Д. І.: Порівняльний аналіз методів оптимізації функціоналу якості моделі машинного навчання // Вісник Криворізького національного університету / Збірник наукових праць. Випуск 46. – Кривий Ріг. – 2018. – С. 104 – 112.

Рукопис подано до редакції 17.04.2018

УДК 691.328

О.І. ВАЛОВОЙ, канд. техн. наук, проф., Д.В. ПОПРУГА,
Є.В. ЛЮЛЬЧЕНКО, кандидати техн. наук, доц., К.В. ЧОРНА, аспірант
Криворізький національний університет

ВИГОТОВЛЕННЯ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ АРМОВАНИХ МЕТАЛЕВОЮ І СКЛОПЛАСТИКОВОЮ АРМАТУРОЮ З БЕТОНІВ НА ВІДХОДАХ ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНИХ КОМБІНАТІВ

Мета. Виготовити будівельні конструкції з бетонів на відходах гірничо-збагачувальних комбінатів армованих металевою і склопластиковою арматурою.

Методи дослідження. Фізичне виготовлення просторових арматурних каркасів з комбінованим композитно-металевим армуванням, приготування бетонної суміші з відходів гірничодобувної промисловості і безпосереднє виготовлення натурних зразків згинальних будівельних конструкцій для подальшого експериментального випробування.

Наукова новизна. Визначення необхідних передумов використання склопластикової арматури, в поєднанні з металевою, в згинальних будівельних конструкціях виготовлених на бетонах з відходів гірничо-збагачувальних комбінатів.

Практична значимість. Наукове дослідження відбувається в межах виконання ініціативної науково-дослідної роботи РК№0118U000118 «Дослідження роботи склопластикової арматури в згинальних елементах виготовлених з бетонів на відходах гірничо-збагачувальних комбінатів».

Результати. Дослідні зразки виготовлені і витримані в заводських умовах ТОВ «Спарта» (м. Кривий Ріг). Для експериментального дослідження було виготовлено 7 серій зразків, загальною кількістю 20 штук, з розмірами 120×220×2070 мм.