

ЗМІСТ

ВСТУП.....	Error! Bookmark not defined.
1 ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД.....	5
1.1 Метод біологічного очищення активним мулом	8
1.2 Оцінка ступеню забруднення стічних вод	9
1.3 Визначення якості очистки за характеристиками активного мулу	11
1.3.1 Оцінка флоків	13
1.3.2 Бактерії.....	14
1.4 Постановка задач дослідження магістерської дисертації	14
Висновки до розділу 1.....	15
2 МАТЕМАТИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПІДСИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ БІОЛОГІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД.....	17
2.1 Застосування штучних нейронних мереж до аналізу якості очищення стічних вод.....	17
2.2 Математичний опис багатошарового перцептрона	18
2.3 Конвуляційні нейронні мережі	21
Висновки до розділу 2.....	24
3 РОЗРОБКА КОНВУЛЯЦІЙНОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ	25
3.1 Обґрунтування вибору фреймворка	25
3.2 Налаштування бібліотеки Keras	26
3.3 Алгоритм роботи моделі нейронної мережі.....	26
3.4 Налаштування та аналіз моделі нейронної мережі.....	27
Висновки до розділу 3.....	29
4 СТРУКТУРА ТА ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ ПІДСИСТЕМИ КЕРУВАННЯ НА ОСНОВІ КОНВУЛЯЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ	30
4.1 Структура підсистеми керування	30
4.2 Принципи побудови підсистеми керування процесом біологічного очищення стічних вод із застосуванням активного мулу	31
4.3 Методика та програма випробувань.....	35
4.3.1 Об'єкт випробувань	35
4.3.2 Мета випробувань	35
4.3.3 Загальні положення	36
4.3.4 Обсяг випробувань	36

4.3.5	Методика проведення випробувань	38
4.3.6	Вимоги з випробувань програмних засобів	39
4.3.7	Перелік робіт, що проводяться після завершення випробувань	39
4.3.8	Умови і порядок проведення випробувань	40
	Висновки до розділу 4.....	40
5	Розробка стартап проекту.....	41
5.2	Аналіз зовнішнього та внутрішнього середовища стартапу.....	42
5.3	Ключові фактори успіху проекту за методом Шонфільда.....	45
5.4	Розрахунок основних техніко-економічних показників проекту	45
5.5	Оцінка ризиків та страхування розробки.....	48
	Висновки до розділу 5.....	Error! Bookmark not defined.
	ВИСНОВКИ	50
	СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	52
	ДОДАТОК А	Error! Bookmark not defined.

1 ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД

Очищення стічних вод — обробка стічних вод з метою руйнування або видалення з них певних речовин, які перешкоджають відведенню цих вод у водні об'єкти відповідно до законодавства або використання їх у виробничому водопостачанні замість свіжої води.

Існує декілька видів очистки стічних вод:

1. Очисні споруди – очистку проводять механічними, фізико-хімічними і біологічними методами.

До механічних методів відносять видалення крупнозернистих забруднюючих речовин на ґратках, відстоювання та фільтрування. Ці методи застосовують у гірничій промисловості у зв'язку з тим, що води підприємств зазвичай забруднені продуктами дезінтеграції руди і вмісних порід, а нафтовидобувних підприємств — нафтопродуктами.

2. Фізико-хімічні методи.

При освітленні вод, що містять дрібнодисперсні домішки, їх попередньо агрегують з допомогою реагентів — коагулянтів і флокулянтів. Найчастіше використовуються фізико-хімічні методи. Вибір конкретних способів очистки залежить від складу розчинених речовин і застосовуваної технології переробки мінеральної сировини.

3. Методи біологічного очищення використовуються для обробки побутових та побутових стоків, а також промислових підприємств. Вони засновані на здатності мікроорганізмів використовувати в процесі життя багато органічних і неорганічних сполук і видалити їх з стічних вод. Властивості мікроорганізмів використовуються в очисних спорудах за участю кисню (аеробні процеси) - аеротенки (активний мул), біофільтри; за відсутності кисню (анаеробні процеси) - метанні резервуари (для бродіння осаду стічних вод). Зокрема, біологічний метод використовується для очищення стічних вод від флотаційних фабрик із поверхнево-активних речовин. У процесі біологічного очищення токсичні речовини перетворюються на нешкідливі продукти окислення: вода, діоксид вуглецю та інші. Як

правило, біологічна очистка - остаточна стадія очистки стічних вод, зазвичай до того, як здійснюється комплекс інших способів очищення води. Очищена стічна вода може бути використана для зрошення сільськогосподарських угідь, у системах промислового водопостачання та ін.

Перед скиданням у водні об'єкти, очищена каналізація дезінфікує (як правило, хлорування).

Сукупність інженерних споруд, в яких стічні води очищені від забруднюючих речовин, називаються очисні споруди. Такі структури та схеми очищення визначаються об'ємом і складом очищеної води, вимогами до повноти очистки та економічними міркуваннями.

Європейська політика з водопостачання розпочалася в 1970-х роках з прийняттям так званих програм екологічних дій Співтовариства та юридично обов'язкового законодавства. Перша програма охоплювала період 1973-1976 рр., а остання - охоплює період 2001-2010 рр. і має чотири пріоритетні напрямки: кліматичні зміни; природа та біорізноманіття; навколишнє середовище та здоров'я; управління природними ресурсами та відходами. Один із восьми заходів, встановлених у програмі, стосується сталого використання та якості води, де підкреслюється міра покращення застосування водного законодавства (Європейська комісія, 2002 р.).

Паралельно з політичними програмами можна виділити три хвилі водного законодавства Європейського Союзу (ЄС). Перша хвиля законодавства використовувала підхід, орієнтований на якість води; другий охопив огляд та оновлення правил з першої хвилі та розглянув нове законодавство, пов'язане з підходом до контролю викидів.

Третя хвиля розпочалася з використанням інтегрованого підходу цих двох, взаємно підсилюючи один одного. Комплексний підхід враховує два аспекти: обмеження забруднення з джерела шляхом встановлення граничних значень викидів (або норм викидів); та встановлення цілей якості води (або стандартів якості) для водних об'єктів. Цей підхід відповідає принципам, встановленим у

Договорі ЄС: тобто принцип обережності, високий рівень захисту навколишнього середовища, принцип превентивних дій та виправлення забруднення з джерела, принцип «плати за забруднювач» та інтеграція охорони навколишнього середовища в інші політичні напрями Співтовариства. Нова політика ЄС розпочалася з прийняття Водної основної директиви.

Заходи Співтовариства щодо викидів, включаючи скидання води у промислових масштабах, встановлюють граничні величини викидів великих виробництв окремих галузей промисловості. Посилаючись на Директиву, охоплені забруднюючі речовини - це ті, які, можливо, будуть скинуті з виробництва в значних кількостях, з огляду на їх природу та потенціал для переміщення забруднень з одного середовища на інший (вода, повітря та земля).

Директива встановлює два переліки речовин та груп речовин, які слід розглянути: список I містить речовини, які вважаються токсичними, стійкими або біоаккумулятивними; список II інших забруднюючих речовин, які негативно впливають на водне середовище і залежать від характеристик і розташування води, в яку вони скидаються.

Вимоги до рівня очищення визначаються залежно від розміру виробництва та типу приймаючої водойми, куди очищені стічні води скидаються. Типи стічних вод, охоплених Директивою:

- Міські стічні води - це побутові стічні води або суміш побутових стічних вод з промисловими стічними водами та/або стічними дощовими водами.
- Внутрішні стічні води - це стічні води, що містяться в житлових населених пунктах та сервісах, що походять переважно від метаболізму людини та домашніх господарств.
- Промислові стічні води - це будь-які стічні води, які скидаються з приміщень, що використовуються для будь-якої торгівлі чи промисловості, крім побутових та стічних дощових вод.

Директива регулює основні звичайні забруднюючі речовини у очищених стічних водах від очисні споруди. Це: загальна суспензія, хімічна

потреба у кисні, потреба у кисню, загальний азот і загальний вміст фосфору. Директива встановлює граничні величини викидів за вищезазначеними параметрами або відображає ефективність обробки. При цьому визначається концентрація забруднювача на точці скидання або зниження рівня забруднення.

1.1 Метод біологічного очищення активним мулом

Біологічне очищення стічних вод здійснюється завдяки здатності мікроорганізмів використовувати для їх харчування органічні речовини, необхідні для їх життєдіяльності - азоту, фосфору, калію з різних сполук, що містяться в стічних водах. У процесі харчування мікроорганізми отримують матеріал для побудови їх тіла, в результаті чого збільшується маса активного мулу.

Активний мул - відомий приклад складної мікробної спільноти. Домінуючими мікроорганізмами, які утворюють активний мул, є прокаріоти і бактерії. Важливим показником повсякденного забезпечення процесу активного мулу є виявлення видів прокаріотів. Незважаючи на те, що активний мул в основному складаються з бактерій, і специфічна здатність кожної бактерії відповідає за загальну продуктивність процесів, мало відомо про бактеріальні спільноти та їх ролі.

Основу цієї системи як у кількісному співвідношенні, так і за значимістю в процесі очищення складають бактерії у вигляді пластівцеподібних скупчень — *Zoogloea*. Здатність активного мулу утворювати міцні пластівці, що швидко осідають (седиментаційна властивість) — відноситься до його головних технологічних властивостей, і їм належить найважливіша роль у забезпеченні надійності роботи біологічних очисних споруд. Порушення седиментаційних властивостей активного мулу призводить до так званого «спухання» активного мулу — він починає мати малу щільність, займає великий об'єм, проходить збільшення мулового індексу до значень понад 150 мл/г, внаслідок чого активний мул не встигає повністю відокремитися від очищеної рідини після двогодинного відстоювання у вторинному відстійнику, починає виноситися з вторинних відстійників і вже не втягується в подальший процес очищення води.

Типова схема такої очистки води: каналізація від одиниці механічної очистки, після механічної очистки від великих частинок, що осідають або висвітлюються в полі сили тяжіння, надходить в аеротенк - вузький (3-11 м), глибокий (4-6 м) і довгі (50-250 м) конструкції, де повітря закачується за допомогою малогабаритного аератора. У аеротенках, при постійній аерації, стічні води очищаються складним гідробіоценозом - активним мулом. Лікування триває 6-24 (і навіть більше) годин. Після обробки вода потрапляє в вторинний седиментаційний резервуар, в який він виділяється з активного осаду, а потім потрапляє у так звану третину фізико-хімічну переробку (іноді після хлорирования) у проміжній воді (ставки) і, нарешті, в річці. Частина активного осаду з сорбірованими неокисленими забруднюючими речовинами, що осаджуються в вторинному резервуарі відкладень, повертається на біологічну очистку установку - аеротенк.

Така технологія створює надлишок мулу, що створює складну проблему для вирішення екологічної та технологічної проблеми: вона дуже велика і він містить небезпечні віріони, мікроорганізми, яйця гельмінтів тощо, а також іони важких металів, біологічно стійкі, токсичні і навіть мутагенні сполуки. Способом утилізації надлишкового мулу, а також стічних вод органічного походження може бути метанова ферментація та біометаногенез з отриманням біогазу.

1.2 Оцінка ступеню забруднення стічних вод

Забруднювачі, що вводяться в систему збору каналізації та досягають муніципальних установок очищення стічних вод (УОСВ), виникають внаслідок діяльності людини, зокрема, з внутрішніх джерел, промислових районів та міських стокових дощових вод. Виявлено дуже велику кількість різних органічних та неорганічних сполук, які оцінюються у кілька тисяч найменувань, у неочищених стічних водах. Здатність до очищення від цих сполук у звичайних УОСВ може суттєво відрізнятись залежно від кожного розглянутого забруднювача. Важливість оцінки здатності до очищення різних видів забруднюючих речовин, присутніх у муніципальних стічних водах, пов'язана з прогнозуванням долі цих забруднюючих речовин у УОСВ перед вивантаженням в приймальних водоймищах. Можна

виділити наступні основні категорії забруднюючих речовин у муніципальній стічній воді:

- Органічні сполуки. Вся кількість органічної речовини, як правило, вимірюється як сукупні органічні показники, такі як хімічна потреба у кисню (COD), загальний органічний вуглець (TOC) або біологічна потреба у кисні (BOD) у випадку вимірювання лише біологічно розщеплюваних сполук. Сукупні органічні складові складаються з ряду окремих сполук, які неможливо розрізнити окремо. Зрештою, фракціонування COD може бути здійснене з метою виявлення біологічно розщеплюваних і нерозщеплюваних частинок органічної матерії.
- Органічні мікрозабруднювачі. Визначення цих органічних сполук виконується за індивідуальними параметрами; деякі з них пов'язані з потенційним токсичним ризиком для здоров'я та навколишнього середовища.
- Нітрати, такі як азот та фосфор. Серед неорганічних неметалевих сполук, азот та фосфор у різних іонних або органічних формах, являють собою найбільш важливі забруднювачі, і в більшості випадків також є основними нітратами.
- Металеві сполуки. Деякі, включаючи кадмій, хром, мідь, ртуть, нікель, свинець та цинк, характеризуються потенційно токсичною дією.

Ефективність вилучення цих категорій у УОСВ залежить від конфігурації очисної станції, а не всі УОСВ здатні видалити всі забруднюючі речовини, присутні в припливних стічних водах.

Більшість установок, розроблених або модернізованих упродовж останніх десятиріч до європейського рівня, характеризуються первинною та вторинною обробкою (використання активного мулу або біоплівки), здатного забезпечити повне видалення біологічно розщеплюваних COD у припливних стічних водах. Виробництва, що на даний момент гарантують дотримання лімітів скидання COD, біологічну потребу у кисні на 5 днів (BOD₅) та сукупних суспензій твердих речовин

(TSS), не можуть забезпечити граничні значення для нітратів, що вимагає подальшої модернізації.

Для оцінки очищеності стічних вод слід враховувати два ключові аспекти: склад стічних вод і потужність обробки у УОСВ. Зокрема, здатність до обробки пов'язана з фізико-хімічними процесами, що виконуються на підприємстві, та здатністю до рощеплювання активним мулом або біоплівкових процесів при вторинній обробці. Знання цих аспектів є основоположним для оцінки об'єкта видалення забруднюючих речовин на підприємстві та прогнозування якості оброблених стоків, спрямованих на дотримання встановлених лімітів та зменшення впливу на отримання водних об'єктів.

Стічні води різного походження можуть також містити сполуки, токсичні для водної екосистеми, або навіть біологічну спільноту, відповідальну за отруєння стічних вод. Ці токсичні ефекти недостатньо виражені в практично застосованих вимірах.

Незважаючи на те, що деякі країни вводять токсичні випробування на стічні води, в даний час немає загальної європейської правової бази, яка систематично встановлює тести токсичності на стоки. Тим не менш, очікується, що роль тестів на токсичність стане ще важливішою у найближчому майбутньому. В останні роки спостерігається підвищена стурбованість випуском фармацевтично активних сполук, засобів особистої гігієни та збудників ендокринних хвороб в навколишнє середовище. Ці сполуки виявляються в низьких концентраціях у навколишньому середовищі та навряд чи можуть викликати гостру токсичність, але дані галузі швидко набирають оберти у розвитку.

1.3 Визначення якості очистки за характеристиками активного мулу

Активні мули являють собою екосистему, що складається з різних організмів з різним рівнем розвитку та місце в харчовій ланці, що бере участь у очищенні стічних вод. Цей вид лікування був винайдений на початку 20 століття у Великобританії. За допомогою цього методу можна ефективно видаляти різні речовини, включаючи фосфор і азот. Принцип дії ґрунтується на здатності організмів використовувати токсичні компоненти як харчування. У цьому випадку

повинні бути створені відповідні умови. Неактивні в активному мулі організми поглинають токсичні частинки всередині себе, перетворюючи їх власними ферментами. Глибина з інтенсивністю зміни залежить від якісного та кількісного складу мулу, скільки і до яких він включає мікроорганізми, здатність адаптуватися до забруднюючих хімічних речовин, що знаходяться у відпрацьованих рідинах. Для забезпечення процесу потрібні:

- Стоки з нормальним співвідношенням вуглецю, фосфору, азоту, сірки, марганцю, заліза, кобальту, інших хімічних елементів
- Контроль за кількістю небезпечних речовин. Їх відсоток не повинен перевищувати граничні норми
- Достатній відсоток кисню
- Нормальна температура
- Інтенсивна аерація

На додаток до вищевикладеного, потрібно правильно розрахувати навантаження на шлам, тобто, який обсяг небезпечних компонентів буде оптимальним для ефективного процесу. Вона також враховує час взаємодії стічних вод із шламом. Враховано особливості схем очищення біологічного спорядження, обладнання, яке використовується для роботи.

Якість покладів шламу визначається бактеріями. Що вони і скільки з них дозволяє з'ясувати аналіз донних відкладень. Він заснований на мікроскопії. У цьому випадку визначають: біоценоз шламу, його особливості, умови життя, забезпечення мікроорганізмів, виявлення бактерій, що реагують на властивості, складу стічних вод, які проходять очищення. Кількість одного з організмів може бути показником ефективності та стабільності процесу очищення стічних вод. За допомогою цього методу можна визначити відхилення, зміни біологічної безпеки від норм, прогнозувати терміни зміни відпрацьованих рідин. [1]

Бактерії, необхідні для очищення стічних вод, знаходяться в самих стічних водах або встановлюють їх у стічних водах та на очисних спорудах завдяки абіотичним факторам, які підходять для них; лише їх кількість недостатня.

Форма активних мулових флоків (рис. 1.1) та видів, а також індивідуальна щільність зростаючої спільності організмів (біоценоз) залежать від багатьох абіотичних чинників, таких як температура, концентрація кисню, рН, складу і концентрації поживних речовин, наявність можливих забруднювачів та гідравліка. Біотичні фактори, такі як поведінка з харчовими продуктами, хижацтво-здобиччя або паразитизм, також впливають на морфологію флоків. [2]

Рис. 1.1 – Електроскопічне зображення мулових флоків

Отже, з мікроскопічної картини та її потенційних змін цінні висновки можна зробити з урахуванням складу стічних вод та умов експлуатації. Регулярно аналізуючи активний мул очисної споруди (наприклад, від 2 до 3 разів на тиждень) та записуючи спостережувані деталі, можна виявити зміни, що виходять за межі нормальних і постійних коливань.

1.3.1 Оцінка флоків

Чотири різні параметри описують морфологію флоків активного мулу: величину, форму, структуру та край.

По-перше, оцінюється величина: малі флоки мають діаметр нижче 150 мкм, середні флоки від 150 до 500 мкм і великі флоки діаметром близько 500 мкм. Як допомога для оцінки, вимірювання точної довжини служить нам на початку, який ми можемо виконати в мікроскопі з інтегрованим там мікрометром окуляра.

Розмір флоків впливає на поведінку їх розташування у вторинному освітлювачі. Дуже малі флоки занадто легкі до осаду і залишити очисні споруди з очищеними стічними водами. Такі "точка-точка" флоки можуть, наприклад, бути викликані отруєнням важкими металами або сильними зсувними силами. Дуже великі флоки мають відносно невелику метаболічну активність. Флоки середнього розміру бажані, можливо, зважуються приєднаними тваринними організмами. [3]

Форма активних мулових флоків часто нерівноважна. Закруглені форми вказують на високий рівень шламу, витягнуті форми можуть бути натяком на промислові стічні води. Круглі флоки осаду краще, ніж подовжені.

Що стосується їх структури, флоки осаду можуть мати компактні, а також сипучі ділянки; їх процент може бути вказаний у%. Часто флоки ребра мають слабку структуру, а центри пуху є компактними. Ці області, як правило, містять старіший бактеріальний матеріал; вони виглядають коричневими або темно-коричневими в мікроскопі і часто округліті. Вільні, візуально яскраві та делікатно напівпрозорі ділянки утворюються молодими, знову вирощеними бактеріальними колоніями або передгір'ями цих колоній; вони метаболічно активні.

Важливою є оцінка гостроти краю флоку, оскільки це дозволяє робити прямі висновки щодо віку осаду за рахунок росту колоній формуючих бактерій.

1.3.2 Бактерії

Індивідуальні щільності всіх організмів фіксуються в напівкількісному методі. Їх частота оцінюється за п'ятибальною шкалою, а терміни "рідкісні, багаторазові, часті, дуже часті або масові".

Якісне виявлення організмів відбувається на різних рівнях. Одномолекулярні та багатоклітинні тваринні організми, а також небагато що зустрічаються рослинних організмів визначаються на основі морфологічних характеристик - при можливості, до виду - з конкретною літературою. У бактеріях цей підхід неможливий; вони морфологічно занадто схожі. Для визначення бактеріальних пологів або виду необхідно провести дуже дорогий аналіз квіткових рослин. Результат, який може бути досягнутий, не виправдовує високу вартість рутинних випробувань активного мулу. Для нормального контролю установок очищення стічних вод достатньо призначити бактерії, що виникають у деяких функціональних групах, які можуть бути ідентифіковані морфологічно світловою мікроскопією (рис. 1.2). [4]

Рис. 1.2 – Графік зв'язку відносної кількості мікроорганізмів та віку активного мулу

1.4 Постановка задач дослідження магістерської дисертації

Проведений аналіз методів біологічного очищення стічних вод із застосуванням активного мулу, а також складу біологічних колоній активного мулу показав, що застосування штучних нейронних мереж до задач керування процесами очищення стічних вод дозволить підвищити ефективність очистки.

Метою даної роботи є розроблення підсистеми керування процесом біологічного очищення стічних вод із застосуванням активного мулу.

Об'єктом дослідження є підсистема керування процесом біологічного очищення стічних вод із застосуванням активного мулу на базі конвуляційних нейронних мереж.

Предмет дослідження: програмне, математичне, інформаційне та організаційне забезпечення алгоритмів розпізнавання елементів активного мулу засобами конвуляційних нейронних мереж.

Досягнення поставленої мети заплановано шляхом вирішення наступних задач:

1. Наповнення бази даних підсистеми керування відповідними зображеннями мікроорганізмів.
2. Аналіз алгоритмів нейронних мереж, обґрунтування вибору моделі та вибір методу реалізації моделі. Обґрунтування вибору архітектури нейромережі, що відповідає поставленій задачі, та налаштування моделі нейронної мережі.
3. Аналіз точності розпізнавання в залежності від кількості зображень та епох навчання. Апробація підсистеми керування на реальних даних.
4. Розроблення принципів побудови підсистеми керування процесом очищення стічних вод.
5. Розробка програмного інтерфейсу, діалогової підсистеми і підсистеми візуалізації підсистеми керування процесом біологічного очищення стічних вод.

Висновки до розділу 1

У розділі проаналізовано основні завдання процесу очищення стічних вод та визначено основні проблеми очистки. Виконано огляд існуючих методів очищення

та визначено заходи міжнародних організацій, спрямованих на дотримання екологічних норм очищення стічних вод.

Описан метод очищення стічних вод активним мулом, типову схему процесу та основні проблеми методу. Сформульовано критерії оцінювання ступеню забруднення та параметри, що впливають на ефективність вилучення забруднюючих речовин.

Визначено ключові параметри якісної очистки стічних вод. Проаналізовано методи оцінки якості очистки стічних вод за характеристиками активного мулу, описані типи флоків та визначена залежність концентрації мікроорганізмів від віку мулу.

2 МАТЕМАТИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПІДСИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ БІОЛОГІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД

2.1 Застосування штучних нейронних мереж до аналізу якості очищення стічних вод

Одним з основних підходів, найбільш широко використовуваних у сфері розпізнавання образів, є застосування класичних моделей-класифікаторів, які викладаються з вчителем. Для навчання подібних моделей використовується зразок розмітки, який складається з масиву зображень та їх відповідного масиву міток, які визначають категорію, до якої належить зображення. У процесі навчання масив даних поділяється на дві нерівні частини - навчальний зразок і тестовий зразок, а потім, використовуючи спеціальний алгоритм навчання для навчання, параметри моделі налаштовуються з використанням зразка навчання, щоб як вхідний зображення, модель виводить мітку відповідного класу. Цей підхід представлений безліччю моделей, серед яких найпоширенішою є модель регресії, штучна нейронна мережа (багатошаровий персептрон), метод еталонних векторів, а також дерево рішень та модель-ансамбль, що представляють комбінацію деякі з цих моделей. [5]

Спроби відтворити здатність до вивчення і виправлення помилок призвели до створення штучних нейронних мереж. Штучні нейронні мережі представляють собою сімейство моделей, побудованих за принципом організації та функціонування біологічних нейронних мереж - мереж нервових клітин живого організму. Поняття штучної нейронної мережі було запропоновано в 1943 р. В. М. Маккаллоком і В. Пітцем у статті [6]. Зокрема, вони запропонували штучну модель нейрона. Для ілюстрації сутності біологічних нейронних систем штучний нейрон побудований таким чином. Він отримує вхідні сигнали (вихідні дані або вихідні сигнали від інших нейронів нейронної мережі) через кілька вхідних каналів. Кожен вхідний сигнал проходить через з'єднання, яке має певне політичне значення. Кожен нейрон має значну порогову величину. Розраховується зважена сума вхідних даних, від неї вираховується порогове значення, а результат - значення активації нейрона. Сигнал активації перетворюється за допомогою функції активації, і в результаті виводиться вихідний сигнал нейрона.

Рис. 2.1 - Модель нейрону живого організму

Багатошарові перцептрони, які навчаються методом зворотного поширення помилки, широко використовуються для розпізнавання різних категорій зображень, таких як рукописні цифри, почерк, людські обличчя і дані зорових сенсорів робототехнічних систем.

2.2 Математичний опис багатошарового перцептрона

Модель багатошарового перцептрона являє собою сукупність штучних нейронів - обчислювальної одиниці моделі - об'єднаних в рівні (шари), задані в ієрархічному порядку.

Рис. 2.2 - Модель штучного нейрону, x_i – вхідний сигнал, w_i – вага вхідного сигналу, $f(\cdot)$ – функція активації

Поведінка нейрона побудоване наступним чином: нехай входи $m + 1$, значення яких $x_0, x_1, x_2, \dots, x_m$, а також значення їхніх вагових рівнів, w_0, w_1, \dots, w_m , причому перший вхідний елемент, як правило, є значенням фіксованого відхилення $x_0 = 1$. Тоді вихідне значення нейрона є значенням активації функції зваженої суми його вхідних значень:

При об'єднанні штучних нейронів у мережу вхідні значення нейрона шару l представляють початкові значення нейронів попереднього шару $l-1$. У цьому випадку нейрони першого (вхідного) шару отримують безпосередньо дані, які слід розпізнати як вхідні значення, які, у випадку розпізнавання зображення, представляють собою значення інтенсивності компонентів його пікселів (точні елементи). Вихідний шар мережі може відрізнятися залежно від завдання, але класична архітектура передбачає формування її кількості нейронів, рівна кількості класів розпізнавання, причому початкове значення кожного нейрона нормалізується в інтервалі $\{0, 1\}$ і представляє ймовірність належності вхідного зображення до відповідного класу. Як відзначають дослідники, такі багатошарові

нейронні мережі здатні інкапсулювати будь-яку математичну функцію, використовуючи довільний набір нейронів.

Оскільки формулювання аналітично правилом для класифікації зображень за категорією розпізнавання часто буває важко, то здатність вивчення на вибірковій основі робить нейронні мережі та пов'язані з ними моделі придатними для розпізнавання природних образів навколишнього світу з нечіткої структурою та різноманітними варіаціями в класі [5].

Рис. 2.3 - Ліворуч: двошарова нейронна мережа, один прихований шар з чотирьох нейронів. Праворуч: 3-шарова мережа з двома прихованими шарами

Навчання мережі методом зворотного розповсюдження полягає в наступному: нехай існує якась невідома функція розпізнавання $g: X \rightarrow Y$, аргументом якої є зображення $x \in X$, представлена як вектор довжини n , а значення функція являє собою набір класів (категорій) в $E \subset W$. Навчальний вибірка є підмножиною значень цієї функції.

Завдання навчання моделі розпізнавання полягає в тому, щоб знайти функцію $h: X \rightarrow Y$, яка б наближала функцію g до всієї області її визначення, включаючи значення, не включені в D , і являють собою застосування теорії оптимізації. Нехай $h(x)$ - початкове значення мережі, отриманого шляхом послідовної активації нейронів кожного шару, а $g(x)$ - це значення апроксимованої функції для одного зображення. Потім, етап зворотного поширення полягає в тому, щоб розрахувати часткову похідну для кожного нейрона мережі по відношенню до його вагових коефіцієнтів [5]:

де E – середнє відхилення мережі. Крім того, на кожному етапі тренування вага нейронів збільшується значеннями часткових похідних відповідно до методу градієнтного спуску або іншими методами вивчення градієнта. Варіанти в алгоритмі тренування включають використання додаткових параметрів

регуляризації для захисту від перетасування, а також використання різних оптимізаторів - метод Ньютона, метод відпалу, L-BFGS та інші.

Нейромережа - дуже потужна і швидка методика класифікації, яка може використовуватися не тільки для прогнозування відомих даних, але також для невідомої інформації. Він добре працює як для лінійних, так і для розділених даних, а також для лінійних та нерозривних даних. Нейронні мережі використовуються в багатьох областях. Наведені вище переваги обробки нейронної мережі визначають область їх застосування:

- обробка та аналіз зображень;
- розпізнавання мови незалежно від спікера;
- обробка високошвидкісних цифрових потоків;
- автоматизована система швидкого отримання інформації;
- класифікація інформації в режимі реального часу;
- планування, застосування сили і засобів у великих масштабах;
- вирішення проблем трудомісткої оптимізації;
- Адаптивне управління та прогнозування.

У наш час основними напрямками реалізації мереж є:

- реалізація програми на цифрових комп'ютерах традиційної архітектури;
- реалізація програмного та апаратного забезпечення у вигляді спільних процесорів до комп'ютера загального призначення;
- реалізація апаратури шляхом створення нейрокомп'ютерів на базі нейропластини у вигляді паралельних нейроформованих структур.

Ранні варіанти впровадження нейронних мереж стосуються перших двох з цих напрямків. Перший напрямок характеризується універсальністю, низькою вартістю та низькою швидкістю навчання та функціонуванням нейронних мереж. Для другого напрямку характерне високошвидкісне моделювання функціонування мереж, але існують серйозні фізичні обмеження кількості імітаційних елементів і зв'язків між ними, а також можливості для навчання та навчання. З розвитком елементарної бази комп'ютера стало можливим самостійно розвивати третій напрямок, який заклав основи нейрокомп'ютерної галузі, постачаючи комплект

обладнання та програмного забезпечення для реалізації моделей нейронних мереж [5].

2.3 Конвуляційні нейронні мережі

Проблеми, що виникли в процесі використання моделей, що утворюють інтегральні уявлення, сприяли розробці нової групи алгоритмів, які використовують локальні ознаки зображень. Необхідність такого підходу була продиктована властивістю стаціонарного характеру природних зображень - об'єкти, присутні в зображенні, могли вільно рухатися в межах поля зору, тоді як бажаний результат розпізнавання алгоритму залишався співвідношенням множини таких інваріантні уявлення об'єкта до одного класу.

Серед іншого, використання місцевих функцій у визнанні образів підтверджувалося доказами з області нейробиології. У класичній роботі Д. Губеля та Т. Візеля [7] візуальна кора головного мозку являє собою складний комплекс клітин, кожен з яких чутливий лише до обмеженої області зору. Такі ділянки, іншим чином називають сприйнятливими полями, зв'язуються разом, забезпечуючи перекриття всієї області зору. У той же час відповідні комірочки виступають як локальні фільтри для вхідних даних, реагуючи на наявність деяких примітивних структур у власному сприйнятному полі, таких як край і межі. Знайдено існування так званих "складних клітин" з ширшими сприйнятливими полями та продемонстрована інваріантність щодо точного розташування об'єкта в полі зору.

Рис. 2.4 - Експеримент Хьюбела і Візеля

З урахуванням того, що візуальна кора головного мозку являє собою найбільш потужну і гнучку зорову систему з існуючих на даний момент, поява моделей, емулюючих її поведінку, виглядало природнім кроком. Було створено безліч архітектур нейронних мереж (рис. 2.5). Однією з найбільш успішних моделей, що вважається визнаним лідером [8] в області розпізнавання зображень, є конвуляційна нейронна мережа.

Рис. 2.5 – Типи та архітектури поширених нейронних мереж

Згорткові мережі являють собою варіацію архітектури багат шарового перцептрона, і включають конвуляційні шари, шари підвибірки (субдискретизація), і повноконтатні шари. Архітектура мережі використовує двомірну структуру вхідних даних - зображень, що використовують метод локального підключення, обмежує кількість зв'язків між нейронами прихованого конвуляційного шару та вхідними даними. Конкретно, кожен нейрон із прихованим шаром пов'язаний лише з обмеженою локальною областю зображення.

Рис. 2.6 - Архітектура конвуляційної нейронної мережі

Крім того, нейронна мережа використовує загальні або розподілені вагові коефіцієнти, накладаючи штучне обмеження на алгоритм навчання оберненим розповсюдженням помилок, так що кожен нейрон із прихованого шару має набір масштабів, що є загальними для інших нейронів у шарі. У прямому розподілі така мережа здійснює математичну операцію згортки вхідного зображення за допомогою набору фільтрів, які поставляються вагами нейронів прихованого шару. Проміжними результатами мережі є так звані "діаграми" - двовимірні матриці, що представляють результат згортки окремим фільтром.

Рівень піддискретизації виконує групування карти знаків, враховуючи області $p * p$ і агрегації значень, отриманих в результаті згортки. Основна мета піддискретизації - зменшити мінливість даних, забезпечуючи стабільність місцевих характеристик регіону. Таким чином, в умовах, коли один і той же знак виявляється певним значенням (Δx , Δy) в межах p , відповідний нейрон, що інкапсулює місцеве зображення з обраним атрибутом, все одно буде активним. Таким чином, мережа забезпечує інваріантність до просторових спотворень. Як функція агрегації шару піддискретизації, зазвичай розглядається функція обчислення середнього або максимального значення.

Таким чином, значення, обумовлене використанням кількох шарів змінного контуру та піддискретизації, конвуляційна нейронна мережа дозволяє отримувати уявлення, незалежні від конкретного розташування локального атрибута у

зображенні, і реагувати однаково на об'єкти, що представляють інтерес (наприклад, людські обличчя) присутні на будь-якій частині фотографії.

Рисунок 2.7 - Візуалізація активацій фільтрів конвуляційної нейронної мережі

Конвуляційні мережі – це один з найбільш успішних підходів до розпізнавання зображень на сьогодні. Моделі, які впроваджують відповідну архітектуру, займають перші місця в змаганнях з алгоритмів розпізнавання, таких як IMAgeNet: результат змагання IMAgeNet для переможця 2014 року, Google GooGLEnet Convolutional Network становить 0,06656% помилкових сповіщень [9], що є кращим результатом на даний момент і може бути порівняний з помилкою, допущеною людиною на вибірці Imagenet. Серед недоліків є труднощі при обробці невеликих об'єктів, а також нездатність впоратися з такими спотвореннями, як розмиття або сильний шум (такі спотворення присутні в навколишньому світі, наприклад, при перегляді через товсте скло). У той же час конвуляційні мережі відносно легко справляються з проблемами високоточного розпізнавання, що викликають труднощі для людей - наприклад, визнання окремих моделей автомобілів або порід собак та інші завдання, що вимагають виділення вузько-направлених специфікацій.

Операція згортки забезпечує інваріантність щодо перекладу локальних функцій (зміщення вздовж осей x і y). Архітектура конвуляційних мереж не забезпечує стійкість до інших афінних перетворень, таких як обертання, дзеркальне відображення та масштабування. Як правило, для вирішення цієї проблеми використовуються евристичні методи (вирівнювання зображень вздовж горизонту, використання просторових пірамід і різних відображених копій оригіналу). Трансформації, не пов'язані з плоским зображенням, такими як обертання об'єкта в тривимірній площині, не можуть аналогічно оброблятися за допомогою згорткової операції. Для об'єктів, представлених у різних орієнтаціях, модель повинна вивчати різні, надзвичайні набори функцій. Нейронні мережі та інші підходи, що використовують локальні інваріантні характеристики, під час процесу розпізнавання періодично змушені вивчати особливості, які максимізують

інваріантність у вибірці, але не забезпечують дискримінаційного бачення об'єкта в цілому [10].

Альтернативні підходи до виділення локальних ознак включають методи класичного комп'ютерного бачення, які не використовують освітні моделі. Ці методи здійснюють пошук на зображенні характерних ділянок, що відповідають алгоритмічно явно заданим умовам.

Висновки до розділу 2

У розділу описан принцип роботи штучних нейронних мереж, проаналізована робота природного нейрону. Математично описано модель штучного перцептрона, визначено структуру роботи з нейронними мережами на його основі та шляхи застосування мереж.

Описана проблема розпізнавання мікроорганізмів активного мулу із застосуванням штучного інтелекту та запропоновано шляхи її вирішення. Визначена архітектура нейромережі, що відповідає поставленій задачі, описані операції, виконувані мережею, та особливості застосування.

3 РОЗРОБКА КОНВУЛЯЦІЙНОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ

3.1 Обґрунтування вибору фреймворка

Розробка підсистеми для розпізнавання об'єктів за допомогою штучних конвуляційних нейронних мереж вимагає вибір фреймворку. Оскільки популярність CNN зростає, існують різні реалізації. Найважливішими факторами для програм глибокого навчання є їх продуктивність, зручність використання та простота. Продуктивність є критичною вимогою, оскільки конвуляційна нейронна мережа є складною моделлю з багатьма важливими параметрами. Популярні рішення для глибокого навчання - Torch, Theano, Caffe і TensorFlow.

Torch є фреймворком для наукових обчислень, розраховуваних у конвуляційній мережі, а також для інших методів глибокого навчання з використанням мов програмування C і Lua. Він розроблений і використовується для Facebook AI, Google Search і Twitter DeepMind.

Caffe є фреймворком розробленим для машинного навчання з використанням C++ та реалізації протоколу Google Protocol Buffers, що визначає архітектуру мереж і проводить контроль навчання. Крім того, Caffe надає інтерфейси API для Python і Matlab. Обидва фреймворка забезпечують реалізацію для навчання конвуляційної мережі на процесорах та графічних юнітах.

Theano значно відрізняється від Torch і Caffe. Це в основному бібліотека Python. Theano не є безпосередньо рішенням для реалізації тільки конвуляційних мереж, а більш загальною бібліотекою, яка може бути легко використана для реалізації моделі.

TensorFlow це відкрита програмна бібліотека для машинного навчання цілій низці задач, розроблена компанією Google для задоволення її потреб у системах, здатних будувати та тренувати нейронні мережі для виявлення та розшифрування образів та кореляцій, аналогічно до навчання й розуміння, які застосовують люди. Її наразі застосовують як для досліджень, так і для розробки продуктів Google.

У даній роботі TensorFlow обраний в якості фреймворка для машинного навчання, так як задовільняє потреби у продуктивності, простоті використання і розгортання.

3.2 Налаштування бібліотеки Keras

Keras - це дуже зручна Високорівнева бібліотека для глибокого навчання, що працює поверх theano або tensorflow. В її основі лежать шари, поєднуючи які між собою, отримуємо моделі. Створені одного разу моделі і шари зберігають в собі свої внутрішні параметри, і тому, наприклад, можна навчити шар в одній моделі, а використовувати його вже в інший, що дуже зручно.

Моделі keras легко зберігати / завантажувати, у них простий, але в той же час глибоко настроюється процес навчання; моделі вільно вбудовуються в tensorflow / theano код (як операції над тензорами). [11]

3.3 Алгоритм роботи моделі нейронної мережі

Після аналізу фреймворку та бібліотеки глибокого навчання, було вирішено використовувати конвуляційну модель нейронної мережі з бібліотеки Keras. Спрощено алгоритм роботи такої моделі можна представити на рис. 3.1.

Рис. 3.1 – Алгоритм роботи моделі нейронної мережі

Конвуляційні мережі піддаються модифікації в залежності від потреб та заданих цілей. Порівняння більш поширених архітектур представлено на рис. 3.2.

Рис. 3.2 - Графік точності різних архітектур нейромереж: час, витрачений на прорахунок цієї мережі, тобто обчислювальне навантаження, на точність відповіді. Розмір - це кількість параметрів, які описуються нейромережею.

Друге місце в конкурсі ILSVRC 2014 називають VGGNet, розроблену Симоньяном і Зісманом. VGGNet складається з 16 згорткових шарів і рівномірної архітектури (рис. 3.3). Подібно до AlexNet, лише 3x3 конволюції, але багато фільтрів. В даний час це більш популярний вибір для вилучення функцій із зображень. Вага конфігурації VGGNet є загальнодоступною і використовувалася в

багатьох інших додатках і викликах як базовий екстрактор. Однак VGGNet складається з 138 мільйонів параметрів, які можуть бути трохи складними для обробки.

Рис. 3.3 – Архітектура мережі VGGNet

У роботі обрано використовувати спрощену модель SmallVGGNet як доступне та невибагливе рішення, що задовільняє потребу у точності. На тестовому прикладі мережа показала прийнятні результати та точність тестового розпізнавання у 94% за 100 епох тренування (рис. 3.4).

Рис. 3.4 – Тренувальна точність та втрати нейромережі на тестовому прикладі

3.4 Налаштування та аналіз моделі нейронної мережі

У якості бази даних для тренування було обрано три категорії мікроорганізмів активного мулу: *Vorticella*, *Tokophrya*, *Rotifer*. Для порівняння налаштувань визначено три датасети: на 250, 500 та 1000 зображень на категорію.

Першим кроком було навчання на 100 епохах, результати тренування яких представлені на рис. 3.5-7.

Рис. 3.5 – Тренувальна точність на втрати мережі за 100 епох при 250 зображень у датасеті

Рис. 3.6 – Тренувальна точність на втрати мережі за 100 епох при 500 зображень у датасеті

Рис. 3.7 – Тренувальна точність на втрати мережі за 100 епох при 1000 зображень у датасеті

З графіків видно, що рівень втрат при валідації навчання падає в залежності від кількості зображень у датасеті, але залишається достатньо високим ближче до кінця процесу. Особливо у останньому випадку. Порівняння точності тренування представлено на рис. 3.8.

4 СТРУКТУРА ТА ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ ПІДСИСТЕМИ КЕРУВАННЯ НА ОСНОВІ КОНВУЛЯЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ

4.1 Структура підсистеми керування

Структура підсистеми керування процесом біологічного очищення стічних вод із застосуванням активного мулу представлена на рис. 4.1.

Рис. 4.1 – Структура підсистеми керування процесом

Підсистема керування створена для безперервного моніторингу стану активного мулу та якості очистки води, визначення рішень та складається з шести модулів (рис. 4.1):

1. Підсистема зв'язку з об'єктом надає інформацію з об'єкта, яка далі оброблюється наступними модулями. Також на неї подається вплив від оператора, направлений на зміну стану об'єкту.
2. База даних мікроорганізмів містить актуальну інформацію про тип та концентрацію колоній в залежності від параметрів активного мулу.
3. Математичне забезпечення містить навчену нейромережу та визначені залежності за категоріями, за допомогою яких проводиться розпізнавання та вираховування концентрацій мікроорганізмів.
4. Експертна система прийняття рішень аналізує отриману інформацію та формує поради для оперативного персоналу станції водоочищення, які поступають у підсистему візуалізації.
5. Підсистема візуалізації існує для полегшення взаємодії між оператором та об'єктом, відображає актуальну інформацію, аларми та рекомендації.
6. Центральна підсистема зв'язує всі модулі в одну систему, забезпечує взаємодію та координацію роботи всіх підсистем.

Підсистема аналізує стан активного мулу, вираховуючи концентрації мікроорганізмів, та може визначати потребу у втручанні оператора за допомогою експертної системи, що передає сигнал у підсистему візуалізації.

Існує три режими стану активного мулу: високий рівень забруднення, підвищений рівень уваги та стабільний. У разі режиму, що не відповідає стабільному, у списку пропонованих дій є:

1. Перекрити подачу стічних вод – тимчасова міра у разі високого рівня забруднення та критичного стану, без якої високий ризик втрати активного мулу.
2. Зменшити подачу стічних вод – тимчасова міра у разі високого рівня забруднення та помірного стану, за якої активному мулу можуть бути предоставлені можливості до відновлення.
3. Підвищити/знизити кислотність – у разі підвищеного рівня уваги в залежності від показників відповідних категорій флоків, оператор може керувати рівнем кислотності для більш якісного процесу очищення.
4. Підвищити/знизити рівень світлового опромінення – у разі підвищеного рівня уваги в залежності від показників відповідних категорій флоків, оператор може керувати рівнем випромінювання для більш якісного процесу очищення.

4.2 Принципи побудови підсистеми керування процесом біологічного очищення стічних вод із застосуванням активного мулу

До складу підсистеми керування входять наступні компоненти: інформаційне, технічне, математичне, програмне, організаційне та метрологічне забезпечення.

Інформаційне забезпечення підсистеми керування включає:

- зображення мікроорганізмів активного мулу, що використовуються в процесі експлуатації системи;
- характеристики активного мулу, що використовуються для подальшої обробки у розрахунках;
- зображення визначених мікроорганізмів, що відображаються візуально на моніторах робочих станцій;
- технологічний регламент;

- прийнята система кодування інформації.

До складу інформаційного забезпечення Підсистеми керування біологічним очищенням (ПКБО) входять позамашинні (на паперових носіях) і машинні (на електронних носіях) компоненти. До позамашинних компонентів інформаційного забезпечення ПКБО можна віднести технологічний регламент, що визначає припустимі межі зміни технологічних параметрів, умови аварійних відключень, порядок пуску й зупинки устаткування. До машинного інформаційного забезпечення ПКБО відносяться зображення мікроорганізмів активного мулу, що використовуються в процесі експлуатації системи, характеристики активного мулу, що використовуються для подальшої обробки у розрахунках, вихідні сигнали у вигляді зображень визначених мікроорганізмів, що відображаються візуально на моніторах робочих станцій.

Технічне (апаратне) забезпечення ПКБО – це комплекс технічних засобів, що забезпечують виконання всіх функцій ПКБО, а також забезпечують взаємодію персоналу з технічними засобами системи й з технологічним процесом.

До складу технічного забезпечення ПКБО входять:

- мікроскоп у якості пристрою збору інформації;
- програмуємий контролер;
- пристрої розподіленого введення/виводу (клавіатура, мишка);
- кабелі зв'язку;
- монітор.

Математичне забезпечення ПКБО – це сукупність математичних моделей, методів, алгоритмів рішення різних задач, що використовується на етапі проектування й у процесі експлуатації ПКБО.

До математичного забезпечення відносяться:

- алгоритм роботи моделі нейронної мережі;
- метод розрахунку допустимих параметрів активного мулу;
- алгоритм керування підсистемою;
- методи прийняття рішень експертною системою.

Програмне забезпечення ПКБО – це сукупність програм, що забезпечують функціонування всіх цифрових обчислювальних засобів ПКБО, а також програм, що вирішують всі функціональні завдання на етапах розробки, налагодження, тестування й експлуатації системи.

Програмне забезпечення ПКБО прийняте поділяти на дві категорії:

- загальне програмне забезпечення, що включає операційну систему Ubuntu, додаткові програми CUDA 19, OpenCV14, надбудови DarkNet, Keras, фреймворк TensorFlow та програмне середовище Python.
- спеціальне програмне забезпечення - це програма, розроблена для даного ПКБО, яку передбачається використовуватися для контролеру, що реалізує задачі обробки інформації й керування; в якості інструменту розрахунку параметрів, розпізнавання зображень та візуалізації даних технологічного процесу.

Організаційне забезпечення ПКБО – це сукупність документів, що встановлюють порядок і правила функціонування оперативного персоналу ПКБО, а також організаційні заходи, спрямовані на успішне впровадження системи й на безпечне ведення технологічного процесу.

До організаційного забезпечення ПКБО відносяться:

- технологічний регламент виробництва в умовах функціонування ПКБО;
- опис функціональної, організаційної й технічної структур автоматизованого технологічного комплексу;
- штатний розклад, посадові інструкції технологічного й оперативного персоналу в умовах функціонування ПКБО;
- інструкція з пуску й зупинки технологічних агрегатів в умовах ПКБО;
- навчання персоналу роботі з ПКБО;
- правила техніки безпеки в умовах ПКБО.

Метрологічне забезпечення ПКБО – це встановлення й застосування наукових і організаційних основ, технічних засобів, правил і норм, що необхідні для досягнення єдності й необхідної точності вимірів.

Можливість застосування результатів вимірів для правильного й ефективного рішення будь-якого завдання визначається наступними трьома умовами:

- результати вимірів виражаються в узаконених одиницях (чинним законодавством України);
- значення показників точності результатів вимірів відомі з необхідною заданою достовірністю;
- значення показників точності забезпечують оптимальне рішення задачі відповідно до обраних критеріїв (результати вимірів отримані з необхідною точністю).

Недостатня точність приводить до збільшення помилок і, як наслідок, до економічних втрат. Завищені вимоги до точності вимірів вимагають додаткових витрат на придбання більше дорогих засобів вимірів. Тому вимога точності вимірів впливає не тільки на метрологічні, але й на економічні показники системи. Якщо при вимірах дотримуються всі три умови (забезпечується і єдність, і необхідна точність вимірів), то говорять про виконане метрологічне забезпечення.

Оперативний персонал складається з технологів-операторів (диспетчерів), апаратників, що здійснюють контроль і керування технологічним об'єктом і експлуатаційним персоналом служб КП і А, які забезпечують правильне функціонування всіх технічних і програмних засобів ПКБО.

Склад оперативного персоналу конкретної ПКБО і встановлені взаємини між його працівниками визначають організаційну структуру системи.

Ефективне функціонування ПКБО може бути досягнуто лише у випадку правильного вибору й постійної взаємодії всіх видів забезпечення ПКБО. Так високі технічні характеристики апаратних засобів і сучасне загальне програмне забезпечення виявляться незатребуваними, якщо в математичному й спеціальному програмному забезпеченні не буде необхідних математичних моделей, методів, алгоритмів і програм, якщо кваліфікація оперативного персоналу не дозволить повною мірою використовувати можливості ПКБО.

4.3 Методика та програма випробувань

Дана програма і методика випробувань підсистеми керування процесом біологічного очищення стічних вод призначена для обробки показників якості очищення, визначення нормативних параметрів для активного мулу, виявлення показників, котрі відхиляються від норм. Також підсистема формує поради оператору щодо дій у разі відхилення від стабільного стану.

Програма і методика випробувань розроблена відповідно до вимог Водно Рамкової Директиви ЄС 2000/60/ЄС та Постанови від 20 липня 1996 р. N 815 Про затвердження Порядку здійснення державного моніторингу вод.

4.3.1 Об'єкт випробувань

Найменування системи: Підсистема керування процесом біологічного очищення стічних вод із застосуванням активного мулу.

Область застосування системи: Підсистема керування процесом біологічного очищення стічних вод із застосуванням активного мулу є технологічною інформаційною системою і призначена для визначення якості очищення стічних вод на виробництвах та надання рекомендацій щодо потенційних дій по запобіганню погіршення якості.

Система призначена для автоматизованого збору, обробки та візуалізації даних контролю і моніторингу, які можуть бути використані для формування рекомендацій щодо стану активного мулу.

4.3.2 Мета випробувань

Метою проведених за цією програмою та методикою випробувань Підсистеми керування процесом біологічного очищення стічних вод із застосуванням активного мулу є визначення функціональної працездатності системи на етапі проведення випробувань.

Програма випробувань повинна засвідчити працездатність Підсистеми керування процесом біологічного очищення стічних вод із застосуванням активного мулу відповідно до функціонального призначення.

4.3.3 Загальні положення

Приймальні випробування Розподіленої система моніторингу та керування якістю водних об'єктів проводяться на підставі наступних документів:

- Затверджене завдання на магістерську дисертацію на розробку Підсистеми керування процесом біологічного очищення стічних вод із застосуванням активного мулу;
- Ця Програма і методика приймальних випробувань.

Місце проведення випробувань – навчальна лабораторія.

Тривалість випробувань встановлюється календарим планом магістерської дисертації.

Для проведення випробувань Виконавцем пред'являються такі документи:

- Робоча програма магістерської дисертації;
- Завдання на магістерську дисертацію на створення Підсистеми керування процесом біологічного очищення стічних вод із застосуванням активного мулу;
- Технічний проект Підсистеми керування процесом біологічного очищення стічних вод із застосуванням активного мулу.

4.3.4 Обсяг випробувань

В процесі проведення приймальних випробувань повинні бути протестовані наступні модулі Підсистеми керування процесом біологічного очищення стічних вод із застосуванням активного мулу:

- Підсистема зв'язку з об'єктом;
- База даних мікроорганізмів;
- Математичне забезпечення;
- Експертна система прийняття рішень;
- Підсистема візуалізації;
- Центральна підсистема.

Всі модулі випробовуються одночасно на коректність взаємодії підсистем, вплив підсистем один на одного, тобто випробування проводяться комплексно.

Приймальні випробування включають перевірку:

- повноти і якості реалізації функцій;
- виконання кожної вимоги, що відноситься до інтерфейсу Підсистеми;
- роботи користувачів в діалоговому режимі;
- повноти дій, доступних користувачеві, і їх достатність для функціонування системи;
- складності процедур діалогу, можливості роботи користувачів без спеціальної підготовки;
- реакції системи на помилки користувача;
- практичної здійсненності рекомендованих процедур.

Випробування підсистеми зв'язку з об'єктом спрямовані на перевірку коректності підключення зовнішніх оптичних приладів до підсистеми та безперебійність надання інформації з приладу. Перевіряються процедури і параметри:

- підключення до оптичного приладу;
- коректність відображення зображення у головному вікні і передача даних на наступний рівень обробки;
- наявність необхідних елементів управління.

Випробування бази даних мікроорганізмів проводяться для перевірки зберігання в БД мікроорганізмів для коректної роботи Підсистеми.

Випробування математичного забезпечення спрямовані на перевірку роботи нейромережі та алгоритму розрахунку нормативних параметрів для коректної роботи Підсистеми. Перевіряється коректність відображення інформації.

Випробування експертної системи прийняття рішень спрямовані на перевірку аналізу вхідних та розрахованих даних та можливості алгоритму підібрати відповідне рішення при відхиленні від норми. Перевіряються процедури і параметри:

- реакція підсистеми при трьох станах активного мулу;
- відображення коректної інформації про стан мулу;
- наявність рекомендації, що відповідає потребам стану.

Випробовування підсистеми візуалізації проводиться для перевірки коректності відображення вхідних та вихідних даних, інформації для оператора, взаємодії з активними елементами вікон.

4.3.5 Методика проведення випробувань

Методика та програма випробувань підсистеми керування процесом біологічного очищення стічних вод із застосуванням активного мулу передбачає послідовне тестування функцій та підсистем програми. Система розроблена у середовищі Visual Studio 2015 на мові програмування Python.

1. При першому запуску системи з'являється вікно налаштування (рис. 4.2):
 - 1.1. Підключення до мікроскопу ведеться автоматичним сервісом, який запускається користувачем.

Рис. 4.2 – Вікно налаштування підключення мікроскопу

Для підключення мікроскопу необхідно натиснути кнопку «Почати пошук оптичних приладів». Програма автоматично знаходить підключений мікроскоп до контролеру.

1. Після успішного підключення мікроскопу з'являється вікно налаштування параметрів активного мулу (рис. 4.3), у якому у якому можна ввести вік мулу (або обрати «Завантажено свіжий мул»), та відрахунок почнеться з цього значення. Оператор може підібрати тип виробництва, в залежності від якого будуть визначені залежності для оцінки стічних вод. Також відображається стан підключення до мікроскопу, та у випадку його відключення можна почати пошук знову, натиснувши на кнопку «Обновити».

Рис. 4.3 – Вікно налаштування параметрів активного мулу

2. Після налаштувань робота програми почнеться автоматично.
3. Якщо всі параметри підібрані вірно, а активний мул у стабільному стані, у вікні (рис. 4.4) будуть відображатися зображення розпізнаних мікроорганізмів, вік мулу та його стан.

Рис. 4.4 – Головне вікно програми при стабільному стані

4. Коли програма визначає відхилення від норми, у вікні з'являється попередження про стан мулу (рис.4.5), після чого виникає вікно з рекомендацією оператора для дій (рис. 4.6).

Рис. 4.5 – Головне вікно програми при відхиленні від норми

Рис. 4.6 – Вікно рекомендацій при відхиленні від норми

У разі відхилення показника від норми за допустимі межі, цей показник відображається жовтим. У разі відхилення показника за критичні межі, від відображається червоним.

5. Після прийнятих дій можна натиснути на кнопку «Обновити», щоб знати поточний стан активного мулу.

Таким чином, розглянуто основні функції та режими роботи розподіленої системи керування якістю водних об'єктів.

4.3.6 Вимоги з випробувань програмних засобів

Випробування програмних засобів підсистеми керування процесом біологічного очищення стічних вод із застосуванням активного мулу проводяться в процесі функціонального тестування підсистеми і її навантажувального тестування.

Інших вимог щодо випробувань програмних засобів підсистеми керування процесом біологічного очищення стічних вод із застосуванням активного мулу не пред'являється.

4.3.7 Перелік робіт, що проводяться після завершення випробувань

За результатами випробувань робиться висновок про відповідність підсистеми керування процесом біологічного очищення стічних вод із застосуванням активного мулу вимогам ТЗ на Підсистему і можливості здачі підсистеми керування процесом біологічного очищення стічних вод в дослідну

експлуатацію. При цьому виробляється (при необхідності) доопрацювання програмних засобів і документації.

4.3.8 Умови і порядок проведення випробувань

Випробування підсистеми керування процесом біологічного очищення стічних вод повинні проводитися на цільовому обладнанні Замовника. Обладнання повинно бути надано в тій конфігурації, яка запланована для початкового розгортання системи, і вказана в Технічному завданні.

Під час випробувань проводиться повне функціональне тестування, відповідно до вимог, зазначених у Технічному завданні.

При проведенні приймальних випробувань доступ до Підсистеми надається обмеженому колу користувачів.

В ході проведення дослідної експлуатації для кожного зареєстрованого користувача Підсистеми адміністратор визначає розділи Підсистеми, до яких даний користувач отримає доступ для проведення повнофункціонального тестування. У момент авторизації здійснюється перевірка ролі і повноважень користувача, в залежності від яких користувачеві надається доступ до певних розділів Системи, а також визначається набір функціоналу, який відповідає завданням даного користувача.

Дані користувачі працюють з Підсистемою, виконуючи свої службові обов'язки, піддаючи підсистему керування процесом біологічного очищення стічних вод повнофункціональному тестуванню протягом встановленого терміну.

Висновки до розділу 4

Розроблено програму та методику випробувань розподіленої системи моніторингу та керування якістю водних об'єктів та проведено випробування відповідно до розробленої програми.

За результатами випробувань розподіленої системи керування якістю водних об'єктів у програмний код внесено зміни, які дозволяють спростити роботу оператора з підсистемою візуалізації даних.

5 Розробка стартап проекту

5.1 Резюме: конкретизація бізнес-ідеї, мети стартапу, об'єкту дослідження, місця розробки у інноваційному ланцюжку цінності

Бізнес-ідея: автоматизоване розпізнавання мікроорганізмів у водному середовищі.

Метою стартапу є впровадження автоматизованого розпізнавання мікроорганізмів у процес очищення води від органічних забруднень та патогенних бактерій.

Тема: Автоматизоване розпізнавання мікроорганізмів.

Назва: Визначення органічних забруднень у водному середовищі.

Суб'єкт замовлення: власники очисних споруд та лабораторії з очистки води.

Об'єкт дослідження: метод визначення мікроорганізмів за допомогою нейронних мереж, можливість застосування методу на водоочисних спорудах, економічна доцільність виробництва установки з розпізнавання мікроорганізмів, розробка технології автоматичного контролю забруднення води.

Місце розробки у інноваційному ланцюжку цінностей: B2B модель. Оскільки виробництво спрямовано на покращення умов виробництва кінцевого продукту, а отже для роботи з проміжними клієнтами.

Таблиця 5.1. Плановий обсяг продукції по місяцям на перший рік

Продукт – установка з розпізнавання мікроорганізмів.

Технологія нестандартна тим, що для розпізнавання мікроорганізмів використовуються нейронні мережі без задіяного лаборанта. Установка складається з насоса, що підводить воду у ємність, та цифрового мікроскопа, закріпленого над ємністю, який передає знімки у контролер. Після цього нейронна мережа розпізнає мікроорганізми на знімку та вираховує їх концентрацію у водному середовищі. В залежності від результатів, програмне забезпечення подає сигнал про стан водного середовища оператору.

Джерела сировини. Для виготовлення установки з розпізнавання мікроорганізмів використовуються наступні компоненти: мікроскоп цифровий Andonstar 20-500X HD 2MP (Японія), контролер Raspberry Pi B+ (Китай), прозора

акрилова ємність (Україна), дисплей для Raspberry Pi от Elecrow (Китай), оригінальний корпус для Raspberry Pi (Китай), програмне забезпечення власного виробництва (Україна).

Кваліфікація персоналу. Програмісти мають вищу освіту за напрямом «системне програмування». Спеціаліст з апаратної збірки має вищу освіту технічного спрямування. Бухгалтер має вищу освіту економічного напрямку.

Споживачами є очисні комплекси та лабораторії з очистки води.

Ринок збуту. Проблема очистки води є досить актуальною у світі. Всі біологічні відходи з заводів потребують очистки перед скиданням переробленої води у навколишнє середовище. Тому дані установки будуть користуватися попитом. Таким чином потенційний ринок складатиме до 10 тис. штук на рік.

Конкурентні переваги. Однією з основних тенденцій розвитку сучасної техніки і технології є розробка і широке використання принципово нових технологій і створення нових матеріалів зі специфічними властивостями. Використання нейронних мереж є особливо перспективною галуззю розвитку для наукових досліджень та широкого спектру виробництв. Використання нейронних мереж у розпізнаванні об'єктів значно спрощують процес та пришвидшують розробку кінцевого продукту.

Головною перевагою установки над класичними методами розпізнавання мікроорганізмів є використання технічних засобів та готової бази даних, що виключає задіяння спеціалістів вузького профілю та забезпечує можливість безперервної роботи водоочисної споруди.

Вартість розробки. На витратні матеріали буде витрачено близько 15 тис. грн, на роботу розробників – 10 тис. грн. Таким вартість розробки складатиме 25 тис. грн.

Ринкова ціна складатиме близько 21 000 грн/шт.

Період повернення капіталовкладень – 1,91 роки.

5.2 Аналіз зовнішнього та внутрішнього середовища стартапу

Таблиця 5.2. Загрози і можливості зовнішнього середовища

Продовження таблиці 5.2.

Таблиця 5.3. Аналіз факторів зовнішнього оперативного середовища

Таблиця 5.4. Переваги і недоліки внутрішнього середовища

5.3 Ключові фактори успіху проекту за методом Шонфільда.

На підставі аналізу факторів зовнішнього і зовнішнього оперативного середовищ було визначено ключові фактори успіху установки з розпізнавання мікроорганізмів. Під ключовими факторами успіху розглянемо ті, на які підприємство може самостійно впливати під час виробництва і реалізації продукту. Ключові фактори успіху надано у вигляді діаграми Шонфільда.

Таблиця 5.5. Оцінки характеристики за методом Шонфільда

З урахуванням коефіцієнту вагомості характеристики визначається бальна оцінка кожної характеристики для нашої продукції і для конкурентів, яку приведено у таблиці 5.6.

Таблиця 5.6. Оцінки характеристики з урахуванням коефіцієнту вагомості

На підставі отриманих бальних оцінок будується графік порівняння конкурентних переваг нашого підприємства з конкурентами.

Рис. 5.1 – Порівняння конкурентних переваг підприємства з конкурентами

Таким чином, бачимо, що наш продукт майже не поступається конкурентам за названими характеристиками. Ціна пояснюється тим, що наша технологія призначена для багаторазового використання, споживач не витрачає кошти на додаткове аналізуюче обладнання. Однією з ключових переваг є нижча трудомісткість, тобто споживач самостійно проводить аналіз, не задіяючи спеціалізований персонал, та швидкість аналізу, що дозволяє контролювати якість води безперервно.

5.4 Розрахунок основних техніко-економічних показників проекту

Для розвитку даного стартап проекту було використано декілька джерел фінансування – власні та запозичені кошти. До власних коштів відносимо:

- заощадження, одержані від попередньої діяльності;
- формування на підприємстві фонду розвитку виробництва, науки і техніки шляхом відрахувань чітко обумовленого відсотку з доходу або прибутку підприємства протягом всього періоду функціонування.

А до запозичених коштів:

- іноземні інвестиції, а саме інвесторів з Китаю. Так як, у Китаї особливо гостро стоїть питання з очистки води, інвестори зацікавлені в розвитку нових водоочисних технологій.

На виробництві обов'язковими працівниками, які необхідні для виконання відповідного обсягу робіт і повної комплектації робочих місць протягом зміни, є: програміст, апаратник та начальник цеху.

Таблиця 5.7. Персонал цеху

Розрахуємо фонд оплати праці:

Відрахування на соціальні заходи здійснюються за встановленим законодавством ставками від витрат на оплату праці і складає 22%.

Затрати на комплектуючі зручно привести у вигляді таблиці 5.8.

Таблиця 5.8. Розрахунок вартості комплектуючих для виробництва установок розпізнавання

Річні затрати на комплектуючі:

Витрати на електроенергію. Розрахуємо витрати на електроенергію за нерегульованим тарифом, тариф за приєднану потужність: $T_{пр} = 2.5$ грн/кВт; Потужність обладнання: $H_{об} = 12$ кВт/добу; Освітлення цілодобове: $H_{ос} = 10$ кВт/добу.

Підприємство працює 8 годин на добу, 250 днів на рік. Річні витрати на електроенергію:

Витрати на опалення офісу. Загальна площа: 200 м²; тарифна ставка на опалення: 33 грн./м² міс; Сезон опалення: 6 місяців.

Амортизаційні відрахування. Здійснюються за прийнятими методами і нормами.

Таблиця 5.9. Розрахунок вартості ОЗ підприємства з виробництва установок з розпізнавання

Сумарна вартість основних фондів:

Розраховуємо величину амортизаційних відрахувань:

Сумарні витрати наведено у таблиці 5.10.

Таблиця 5.10. Сумарні затрати цеху виробництва установок з розпізнавання

Розрахунок ціни за основними методами ціноутворення:

1. Метод, орієнтований на витрати (витратний метод):
2. Агрегатний метод – застосовується до товарів із складових елементів:

3. Параметричний метод – враховує вагомість якісних параметрів товару і оцінку цих параметрів споживачем:

4. Метод ціноутворення на основі поточних цін або конкурентний метод.

Було проведено аналіз цін на товари конкурентів. А саме, конкурент А – ціни коливаються в діапазоні від 2 747 до 54 317 грн. Конкурент Б – від 19 154 до 87 196 грн.

Отже, для нашого продукту ціна може коливатися від 22 000 до 85 000 грн. І саме з такими цінами продукція на ринку може бути конкуренто спроможною.

5. Баловий метод.

Визначимо ціна одного балу:

Визначимо ціну нового виробу:

Ціна реалізації кінцевої продукції, розрахуємо ціну річного випуску продукції:

Визначаємо прибуток підприємства:

Рентабельність підприємства:

Коефіцієнт економічної ефективності:

Період повернення капіталовкладень:

Фондовіддача основних засобів виробництва:

Фондоємність:

Зведемо всі розраховані в розділі 4 показники до таблиці 11

Розрахуємо точку безбитковості.

Точка безбитковості – 184 шт/рік

Таблиця 5.11. Основні техніко - економічні показники підприємства з виробництва установок розпізнавання

За знайденими техніко-економічними показниками можна зробити висновок, що дане підприємство є прибутковим.

5.5 Оцінка ризиків та страхування розробки.

Розглянемо основні ризики, які можуть мати місце для нашого підприємства.

1. Ринковий ризик: ринок є абсолютно новим для України, по суті ми його створюємо.

Страхування: навіть якщо нам не вдасться створити великий ринок, ми зможемо досить довго існувати на невеликому ринку обсягом 200-300 шт/рік

2. Ризик конкуруючих технологій: існує можливість, що якась фірма створить технологію та продукт, аналогічні нашим.

Страхування: ринок є досить великим і на перших порах ми практично не будемо з ними конкурувати

3. Ризик завершення або технічний ризик: технологія надійна, аналогічні продукти застосовуються у деяких країнах Європи.

Страхування: наші технологи не стоять на місці. Постійно йдуть експерименти та удосконалення технології.

4. Політичний ризик: в майбутньому можуть бути прийняті нові нормативно-правові акти по очистці води.

Страхування: ведеться чітке слідування нормам технології, і ми готові звітувати перед будь-яким органом. Погіршення торгових відносин з країнами-постачальниками нашої сировини не передбачується, оскільки це надійні торгові партнери України.

5. Ризик капітальних вкладень: існує ризик різкого підйому ціни на імпорту сировину.

Страхування: з постачальниками ми заключимо контракти, згідно яких зможемо платити через деякий час після отримання продукції. Таким чином на момент різких валютних коливань у нас ще буде запас сировини, закупленої за старою ціною, і ми зможемо наперед реалізувати продукцію по вищій ціні.

6. Ризик втрати майна. Робота з точною технікою створює небезпеку виникнення перепаду струму, що може вивести обладнання з ладу або привести до пожежі.

Страхування: підприємство обладнане необхідним обладнанням для стабілізації напруги та протипожежним обладнанням.

До більшості ризиків ми готові, і суттєвих втрат не понесемо. Єдиний реальний ризик – це перепади напруги та пожежонебезпечність, тому ми застрахуємо підприємство під пожеж.

ВИСНОВКИ

У результаті проведеного дослідження обґрунтовано, практично розроблено й експериментально перевірено підсистему керування процесом біологічного очищення стічних вод із застосуванням активного мулу. Аналіз теоретичних передумов й опрацювання практичних результатів дозволили дійти наступних висновків:

1. Проаналізовано основні завдання процесу очищення стічних вод та визначено основні проблеми очистки. Виконано огляд існуючих методів очищення та визначено заходи міжнародних організацій, спрямованих на дотримання екологічних норм очищення стічних вод.
2. Визначено ключові параметри якісної очистки стічних вод. Проаналізовано методи оцінки якості очистки стічних вод за характеристиками активного мулу, описані типи флоків та визначена залежність концентрації мікроорганізмів від віку мулу.
3. Сформульована проблема розпізнавання мікроорганізмів активного мулу із застосуванням штучного інтелекту та запропоновано шляхи її вирішення. Визначена архітектура нейромережі, що відповідає поставленій задачі, описані операції, виконувані мережею, та особливості її застосування.
4. Розглянуто найбільш поширені та доступні фреймворки, у яких містяться бібліотеки нейромереж, та обґрунтовано вибір надбудови Keras. Проаналізовано різні типи конвуляційних мереж та побудовано спрощений алгоритм роботи нейромережі.
5. Доведено, що точність роботи нейромережі залежить від обсягу інформації та епох тренування. Результати дослідження обраної нейромережі показали, що для найбільш ефективної роботи рекомендовано проводити навчання з 10 тис. зображень для кожної категорії у датасеті та 10 тис. епох тренування.
6. Розроблено програмний інтерфейс, діалогову підсистему і підсистему візуалізації підсистеми керування процесом біологічного очищення стічних вод із застосуванням активного мулу.

7. Розроблено програму та методику випробовувань підсистеми керування процесом біологічного очищення стічних вод із застосуванням активного мулу та проведено випробування відповідно до розробленої програми. За результатами випробувань підсистеми керування процесом біологічного очищення стічних вод у програмний код внесено зміни, які дозволяють спростити роботу оператора з підсистемою візуалізації даних.
8. Розроблен стартап-проект, описана установка, визначена бізнес-ідея, суб'єкт замовлення та об'єкт дослідження. Проаналізоване зовнішнє, оперативне та внутрішнє середовище стартапу, описані фактори, недоліки та переваги. Визначені ключові фактори успіху, проведено порівняння конкурентів. Розраховані основні техніко-економічні показники, визначена ціна та проаналізовані результати розрахунків. Проведена оцінка ризиків та запропоновані методи страхування проекту.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Юрченко В.А., Астапова А.В. Выявление факторов управления седиментационными свойствами активного ила // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета Сборник научных трудов. — 2010, Вып.48
2. Гвоздяк П. За принципом біоконвеєра (Біотехнологія охорони довкілля) // Вісник Національної академії наук України Загальнонауковий та громадсько-політичний журнал. — 2003, №3
3. T. H. Y. Tebbutt: «Principles of water quality control» // Boston, MA: ButterWorth-Heinemann – 1998, 289 p.
4. Philippe Quevauviller, Olivier Thomas and André van der Beken (eds): Wastewater Quality Monitoring and Treatment // John Wiley & Sons – 2006, 410 p.
5. T. Matsuo: «Advances in water and wastewater treatment technology molecular technology, nutrient removal, sludge reduction and environmental health // Elsevier – 2001, 337 p.
6. L.O. Chua and L. Yang, "Cellular neural networks: Theory", IEEE Trans. on Circuits and Systems, vol. 35, pp.1257-1290, 1988.
7. Aizenberg I.N. "Multi-valued non-linear filters and their implementation on cellular neural networks", Frontiers in Artificial Intelligence and Applications, vol. 41 "Advances in Intelligent Systems" (F.C. Morabito Ed.) IOS Press, Amsterdam-Berlin-Oxford-Tokyo-Washington DC, 1997, pp. 135-140.
8. N.N. Aizenberg, I.N. Aizenberg, G.A. Krivosheev "Multi-Valued Neurons: Mathematical model, Networks, Application to Pattern Recognition", Proc. of the 13 Int.Conf. on Pattern Recognition, Vienna, August 25-30, 1996, Track D, IEEE Computer Soc. Press, pp. 185-189, 1996.
9. A.C. Bovik , T.S. Huang, D.C. Mudson A generalization of median filtering using linear combinations of order statistics', IEEE Trans. Accoust., Speech, Signal Proc. , vol.31, pp.1342-1349, 1983.

- 10.Т.П. Беликова. Моделирование линейных фильтров в задачах медицинской диагностики: в кн. "Цифровые методы обработки изображений и полей в экспериментальных исследованиях", Москва: Наука, 1990, стр. 130-152.
- 11.N. Ahmed, K.R. Rao Orthogonal Transforms for Digital Signal Processing, Springer 1975.
- 12.Випробувальна лабораторія об'єктів довкілля: Аналіз активного мулу, 2017 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://centralbiolab.com.ua/?q=analiz_aktivnogo_ilaua
- 13.Bayrisches Landesamt für Wasserwirtschaft (1999): Das mikroskopische Bild bei der biologischen Abwasserreinigung, München (in German)
- 14.Berger, Foissner, Kohlmann (1997): Bestimmung und Ökologie der Mikrosaprobien nach DIN 38410; Gustav Fischer Verlag, Stuttgart (in German)
- 15.Eikelboom (2000): Process control of activated sludge plants by microscopic investigation; IWA publishing; <https://www.iwapublishing.com/sites/default/files/ebooks/9781900222297.pdf>
- 16.Panis G., Lanitis A., Tsapatsoulis N., Cootes T.F. Overview of research on facial ageing using the FG-NET ageing database. IET Biometrics. 2016. 5(2):37–46.
- 17.Хуршудов, А.А. Разработка систем распознавания визуальных образов в потоке данных: дис.кан. тех. наук. 05.13.01: защищена 22.01.15: утв. 15.07.5 / Хуршудов Артем Александрович. – Краснодар, 2015. – 130 с.
- 18.Fergus, R. A sparse object category model for efficient learning and exhaustive recognition / R. Fergus, P. Perona, A. Zisserman // Computer Vision and Pattern Recognition. — 2005. — no. 1. — Pp. 380–387.
- 19.Serre, T. Object recognition with features inspired by visual cortex / T. Serre, L. Wolf, T. Poggio // Computer Vision and Pattern Recognition. — 2005. — no. 2. — Pp. 994–1000
- 20.Matsugu, M. Subject independent facial expression recognition with robust face detection using a convolutional neural network / M. Matsugu // Neural Networks. — 2003. — no. 16(5). — Pp. 555–559.

21. Konolige, K. Projected texture stereo / K. Konolige // Robotics and Automation (ICRA). — 2010. — Pp. 23–28.
22. Habr: Автоэнкодеры в Keras, Часть 1: Введение, Михаил Сурцуков, 2017 [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://habr.com/post/331382/>