

# ЗАКЛЮЧНИЙ ЗВІТ ЗАК.УА

Розробка методу проведення ефективного швидкого аналізу  
очисних споруд в Україні

Маркус Анерт

Йоганнес Еффенбергер

Герольд Фрітше

Штефан Вегерт

м. Дрезден, грудень 2016 р.

Supported by:



Federal Ministry for the  
Environment, Nature Conservation,  
Building and Nuclear Safety



based on a decision of the German Bundestag

**Контактні адреси:**

**ДРЕБЕРІС ГмбГ**

Штефан Верерт

др. Маркус Райхель

[www.dreberis.com](http://www.dreberis.com)

**Технічний університет Дрезден, Інститут водопостачання і каналізацій населених пунктів та промислових підприємств**

Дипломований інженер Маркус Анерт [markus.ahnert@tu-dresden.de](mailto:markus.ahnert@tu-dresden.de)

Магістр наук Герольд Фрітше [gerold.fritsche@tu-dresden.de](mailto:gerold.fritsche@tu-dresden.de)

<https://tu-dresden.de/bu/umwelt/hydro/isi/sww/die-professur/arbeitsgruppe-abwasserbehandlung/beschaefigte>

**Штадтентвессерунг Дрезден ГмбГ**

Дипломований інженер Йоганнес Еффенбергер [johannes.effenberger@se-dresden.de](mailto:johannes.effenberger@se-dresden.de)

<https://www.stadtentwaesserung-dresden.de/>

## 2 ЗМІСТ

Зміст.....	1
Перелік малюнків .....	3
Перелік таблиць.....	4
1Вступ і представлення проекту .....	5
2Спрямованість ZAK .....	7
2.1Загальна інформація .....	7
2.2Методика .....	8
2.3Основа .....	9
2.4Балансування як основа для моделювання .....	10
2.5Оптимізація показників на виході з очисної споруди vs. заощадження електроенергії .....	11
3Практичне виконання (інструкція) .....	12
3.1Загальна інформація.....	12
3.2Вимоги до даних і отримання даних .....	12
3.3Порядок дій при підготовці даних.....	13
3.4Організаційні і технічні вимоги.....	16
3.5Опис програми моделювання і технічної основи моделювання .....	17
3.5.1Програмний інтерфейс.....	17
3.5.2Потік інформації.....	18
3.5.3Базові одиниці вимірювання .....	19
3.5.4Фракціонування на вході .....	20
3.5.5..... Блоки.....	20
3.5.6Інтеграція даних .....	22
3.5.7Проведення моделювання.....	22
3.5.8Відображення результатів та їх оцінка .....	23
3.6Інтеграція енергетичних підрахунків у технологічному моделюванні .....	24
3.7Приклад застосування методики .....	24
3.8Приклади деяких задач моделювання .....	28
3.8.1Демонстраційна установка.....	28

3.8.2Інтеграція регулювання кисню.....	30
3.8.3Інтеграція денетрифікації.....	31
3.8.4Аеротенки із змінною аерацією .....	33
3.8.5Розширення за допомогою обробки мулу .....	34
3.8.6Інші варіанти регулювання.....	36
4Результати проекту та рекомендації щодо реалізації в Україні.....	38
4.1Покращення бази даних (робочий журнал) .....	38
4.1.1Загальна інформація.....	38
4.1.2Характер і обсяг записаних даних .....	39
4.1.3Рекомендації стосовно індивідуалізації робочого журналу .....	41
4.1.4Пояснення до зразка робочого журналу в Excel.....	42
4.2Дослідження, пов'язані із фракціями.....	44
4.3Встановлення граничних показників скидання стічних вод із врахуванням технологічних основ .....	47
4.4Визначення питомого споживання електроенергії.....	47
4.5Врахування обробки та утилізації мулу .....	48
4.6Придатні випадки для застосування .....	49
4.7Перспективи.....	51
5Висновок .....	51
6Список літератури.....	53

### 3 ПЕРЕЛІК МАЛЮНКІВ

Малюнок 1: послідовність дій під час опрацювання даних.....	9
Малюнок 2: схема очисної споруди (межі системи для моделювання) .....	11
Малюнок 3: схема розділення по фракціях загального азоту .....	13
Малюнок 4: зображення інтерфейсу користувача Simba classroom®.....	18
Малюнок 5: демонстраційна модель установки у Simba Classroom.....	29
Малюнок 6: регулювання аерації в аеротенку.....	30
Малюнок 7: перервний режим регулювання аерації у аеротенку.....	31
Малюнок 8: приклад перебігу змін концентрації у аеротенку.....	32

Малюнок 9: інтеграція первинної денітрифікації .....	33
Малюнок 10: розширене регулювання аерації за допомогою перемінної аерації частини аеротенку.....	34
Малюнок 11: приклад установки із фазою бродіння .....	35
Малюнок 12: підрахунки з біогазом .....	36
Малюнок 13: спрощена схема очисної споруди .....	39

## 4 ПЕРЕЛІК ТАБЛИЦЬ

Таблиця 1: коефіцієнти перерахунку для загальної речовини в частки N чи P і навпаки .....	14
Таблиця 2: питома маса забруднення на вході з розрахунку на мешканців ( $EW = E + EGW$ ) (g / $EW \cdot d$ ) .....	15
Таблиця 3: параметри основних потоків маси.....	24
Таблиця 4: параметри для аеротенку.....	25
Таблиця 5: параметри для обробки і утилізації мулу.....	25
Таблиця 6: зведення усіх важливих параметрів для робочого журналу очисної споруди.....	42
Таблиця 7: зведені результати моделювання сценаріїв стосовно маси забруднення .....	45

## 1 ВСТУП І ПРЕДСТАВЛЕННЯ ПРОЕКТУ

«ZAK» – це абревіатура розробленого в Німеччині методу проведення «ефективного швидкого аналізу очисних споруд» («Zeiteffizienten Analyse von Kläranlagen – ZAK»), проект, який має на меті здійснення технологічного і енергетичного аналізу та оптимізації очисних споруд. Одночасно слово «ZAK» у німецькій мові означає дуже швидке виконання чогось.

Виходячи з досвіду, який підприємства «Дреберіс», «Штадтентвессерунг Дрезден» та Інститут водопостачання і каналізацій населених пунктів та промислових підприємств Технічного університету Дрездена здобули в минулі роки у різних проектах в Україні, видається доцільним перенести ці знання на особливі українські умови.

Оснoву методу ZAK становить робота з наявними виробничими даними очисних споруд. У Німеччині здійснюють дуже детальний збір усіх наявних на очисній споруді даних і всієї інформації у вигляді виробничого журналу (переважно в електронній формі в банку даних або в табличних обчисленнях даних, рідко в паперовій формі). Додатково за допомогою системи управління виробничим процесом, яка є на очисних спорудах Німеччини, багато даних напряду зберігають в електронному вигляді і піддають подальшому опрацюванню.

Таким чином, є велика кількість даних, які можна використовувати у щоденній роботі виробничого персоналу і водночас застосовувати для ведення подальших спостережень за роботою споруди.

Аналіз очисної споруди за ZAK базується на технологічному динамічному моделюванні очисної споруди. Моделювання методу обробки активного мулу вже багато років утвердилась в науці, проте в Німеччині ще не всі інженери застосовують його на практиці. Однак з точки зору авторів моделювання становить дуже помічний інструмент, за допомогою якого можна наперед дослідити і перевірити різноманітні питання щодо експлуатації і розширення очисних споруд. Для проведення моделювання використовується програмне забезпечення SIMBA# - незалежна сфера моделювання для виконання динамічного моделювання в технологіях очистки стічних вод, що було розроблено під керівництвом «ifak», Інституту автоматизації і комунікації e.V. в Магдебурзькому університеті Отто фон Геріке (Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg) і використовується у всьому світі науковцями і користувачами в даній галузі.

У рамках цього проекту, який проходив за підтримки Федерального міністерства довкілля, охорони природи, будівництва та безпеки ядерних реакторів Німеччини, вдалось залучити до участі три підприємства водопровідно-каналізаційного господарства, зокрема Червоноградське, Івано-Франківське і Львівське. Мета проекту полягала у передачі знань та принципів роботи для самостійного технічного використання методу на Україні. Водночас було поставлено ціль перевірити, чи взагалі можливо перенести метод на українські умови і дослідити, що потрібно привести у відповідність, щоб успішно застосовувати даний метод на практиці. Автори дякують залученим підприємствам за відкрити та успішну співпрацю і сердечне спілкування, яке під час візитів на місцях і під час проведеного у Дрездені воркшопу привело до успішного для всіх сторін перебігу проекту.

Даний звіт підсумовує результати реалізації проекту ZAK в Україні і дає інформацію та рекомендації, що необхідно для подальшого власного використання цього методу і, які можливості він може запропонувати.

## 2 СПРЯМОВАНІСТЬ ЗАК

### 2.1 ЗАГАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ

Водопровідно-каналізаційне господарство в Україні, представлене водоканалами, які працюють у сфері водопостачання та водовідведення, і, з організаційної точки зору, так само, як і в Німеччині, підпорядковані міській владі. Стан очисних споруд вимагає значних інвестицій. Особливо це стосується сфери водовідведення та експлуатації каналізаційних мереж, де ще потрібно подолати довгий шлях до сучасної обробки стічних вод, яка відповідає технічним стандартам. Особливий виклик стоїть перед українськими підприємствами у фінансуванні інвестиційної діяльності і в питаннях, що стосуються витрат експлуатуючого підприємства. На сьогоднішній день у водопровідно-каналізаційному господарстві відсутні економічно обґрунтовані тарифи. Особливо зростання цін на енергію (ціни на електроенергію і газ) вже багато років поспіль створюють для водоканалів значні проблеми, оскільки зростання цін не враховані або ж не достатньо враховані в погоджених тарифах. Особливо це проблематично у зв'язку з актуальним зростанням цін на енергоносії, які відбуваються у рамках програми узгодження IWF і пов'язаною з цим лібералізацією ринку. Таким чином, щороку зростають заборгованості водоканалів перед енергетичними компаніями. Нерегулярно їх частково покриває держава, частково їх відтермінують. Фінансування інвестиційної діяльності відбувається у деяких випадках з боку фінансових інституцій міжнародного сектору (позика Світового банку для реалізації заходів з оптимізації витрат енергії) або частково з державних коштів, що однак дуже важко спланувати.

Готовність до змін у самих водоканалах можна охарактеризувати, як відкриту і чітко виражену. Особливо, коли вдається поєднати між собою екологічні і економічні цілі, то можна припустити, що такий проект оптимізації енергії і технологічного процесу матиме значну практичну підтримку.

На даний час чинні норми питомого споживання енергії на метр кубічний, які щорічно перераховують і знижують. У цьому розрахунку ті енергозатрати, які змінюються залежно від різних рівнів забруднень шкідливими речовинами, тобто фактичні витрати, не достатньо враховують. Попередні спроби покращити роботу, наприклад, використання нових насосів, хоча і зменшували споживання енергії, але підприємства не могли монетизувати ці заощадження чи використати їх для рефінансування інвестицій. У новій методиці калькуляції заохочувальних тарифів передбачені стимули для оптимізації енергії. Проте щодо нарахування і конкретного призначення цього механізму залишається ще ряд відкритих питань, наприклад, які визначають критерії для бенчмарку.

Окрім цього, слід зазначити, що відсутній дієвий діалог між водоканалами і відповідальними міністерствами чи регулятором.

## 2.2 МЕТОДИКА

Оснoву всіх робіт становлять наявні виробничі дані очисної споруди. Потрібно аналізувати дані, зібрані за мінімальний період часу в один рік, а краще за багато років. При цьому буде достатньо, якщо показники вимірювання будуть у вигляді середньодобових значень.

Проте багато наявних замірів беруть не щоденно або йдеться лише про вибіркові проби. Тоді за допомогою відповідних методів, які будуть описані у подальшому, потрібно поповнити дані або внести коректури.

Загальна послідовність опрацювання даних зображена на схемі, що на



Малюнок 1.





Малюнок 1: послідовність дій під час опрацювання даних

За допомогою наявної інформації про відстійники, водотоки, трубопроводи і технічні агрегати очисної споруди створюють модель для проведення моделювання.

Наявні виробничі дані використовуються на вході в модель, а також, як порівняльні вимірювальні показники, щоб підтвердити, що модель достатньо точно відображає реальний стан очисної споруди. Якщо це необхідно, то модель можна використовувати для різноманітних завдань, наприклад:

- оптимізація роботи очисної споруди чи показників на виході
- тестування нових змін в експлуатації споруди
- обчислення варіантів для запланованого розширення очисної споруди
- перевірка впливу можливих нових підключень тощо

Напрацьовані результати обчислення сценаріїв можна знову аналізувати і так процес постійно продовжується, тобто таким чином знов проходить всю схему.

Окрім цього, завдяки постійній актуалізації даних, модель завжди може відображати актуальний стан і використовуватись для відповідних завдань.

## 2.3 ОСНОВА

Як уже зазначено, наявні виробничі дані становлять основу для застосування цієї методики. Мінімальний обсяг даних, які потрібно – це

- переважуюча кількість подачі води на очисну споруду,
- концентрації на вході параметрів балансування (див. **Ошибка! Закладка не определена.**),
- важливі експлуатаційні вимірювальні параметри (температура, концентрація кисню, вміст твердих речовин) та
- концентрації на виході.

Як основа для моделювання використовується модель активного мулу, яка в умовах моделювання обладнана необхідними елементами очисної споруди (відстійники, водотоки, насоси, агрегати, вимірювальні прилади тощо).

У рамках проекту ЗАК використовується модель Activated Sludge № 3 (ASM3; Gujer et al., 1999). У фаховому середовищі вона загально визнана. Окрім цього, у Німеччині виконано перевірку і приведення у відповідність цієї моделі до нормативного документу DWA (Alex et al. 2015, Ahnert et al., 2015). Таким чином, є прямий зв'язок з технічними нормами. Внаслідок різноманітного застосування даної методики на очисних спорудах Німеччини були підтверджено її професійну придатність.

## 2.4 БАЛАНСУВАННЯ ЯК ОСНОВА ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ

Усі відомі моделі активного мулу (так само, як і названа модель активного мулу ASM3) становлять системи рівнянь для балансу потоку маси. Цим самим поєднання реальних вимірюваних даних в програмній моделі веде до балансової перевірки даних, що є ваговою базою для застосування моделі. Якщо створеною моделлю очисної споруди неможливо, як в реальності, відтворити показники на виході з очисної споруди і внутрішні вимірювальні величини (напр., вміст твердих речовин, ступінь концентрації), то в моделі очисної споруди чи в даних містяться помилки. Отже, модель служить інструментом для перевірки всієї важливої інформації, зібраної за довгий період часу. Шляхом всеохоплюючого спостереження за усією очисною спорудою здійснюється одночасно і перевірка та верифікація всіх вимірюваних величин. Це значна перевага описаної методики у порівнянні з окремим обстеженням певних параметрів.

В ASM3 (з елементом для моделювання хімічної і біологічної елімінації фосфору; Rieger et al., 2001) обчислюється баланс для ХПК, загального азоту, загального фосфору. Тому ці параметри

необхідні як вимірювані величини (якщо їх немає, потрібно зробити відповідні перерахунки з наявних параметрів, див. щодо цього розділ 9).

Оскільки решітки і пісколовки мають лише несуттєвий вплив на ХПК, N і P, то ці етапи обробки стічних вод не враховані в моделі.

Малюнок 2: схема очисної споруди (межі системи для моделювання)

Малюнок 2 зображає схему, адаптовану до очисних споруд в Україні, з простором для моделювання.

## 2.5 ОПТИМІЗАЦІЯ ПОКАЗНИКІВ НА ВИХОДІ З ОЧИСНОЇ СПОРУДИ VS. ЗАОЩАДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Початково метод був розроблений з метою його застосування на очисних спорудах, які загалом відповідають актуальному стану технічного розвитку і дотримуються показників на виході. Таким чином, експлуататори очисних споруд мають можливість шляхом оптимізації виробничого процесу чи споживання електроенергії досягти додаткової безпеки в експлуатації і/або зниження витрат шляхом заощадження енергії і/або експлуатаційних матеріалів (напр. коагулянтів).

Проте ситуація в Україні дещо інакша. Велика кількість очисних споруд очевидно не виконує вимоги стосовно експлуатаційно-стабільної очистки стічних вод. Водночас мають місце вимоги про скорочення витрат і заощадження електроенергії. Завдяки моделюванню загального процесу очистки стічних вод можна обчислити, як актуальну ефективність очистки, так і необхідне для цього використання електроенергії. Це веде до збільшення прозорості у роботі, що можна продемонструвати контролюючим органам і управлінським структурам.

Згідно з актуальною інформацією про ситуацію з очисткою стоків у більшій частині України видається важко досягти значних заощаджень електроенергії, не погіршивши при цьому ще сильніше показники на виході. Після реалізації обробки стічних вод відповідно до стандартів

можна припустити, що абсолютне споживання електроенергії ще більш зросте. Одночасно є оправдані надії, що буде значно зростати енергоефективність, тобто експлуатація використаної енергії, якщо очисні споруди будуть переоснащені з метою виконання належної очистки стічних вод.

## 3 ПРАКТИЧНЕ ВИКОНАННЯ (ІНСТРУКЦІЯ)

### 3.1 ЗАГАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ

Даний виклад матеріалу запланований у якості документації і підтримки в роботі залучених до проекту підприємств, а також для зацікавлених підприємств, як вступ в методику і динамічне моделювання очисних споруд.

Тому, окрім текстової форми викладу матеріалу тут містяться і різні приклади моделей, які можна використовувати, як ідеї і зразки для виконання власних подальших робіт.

При першому використанні методики потрібно здійснити абсолютно всі робочі кроки, одночасно вони служать для того, щоб ідентифікувати деталі власної очисної споруди і можливо, знайти її проблеми і отримати від цієї методики як можна більше додаткової користі. Постійна актуалізація моделі за використання відповідних допоміжних засобів (наприклад, приведений у відповідність робочий журнал) пов'язана із значно меншими затратами, тому це все можна інтегрувати у щоденну роботу інженерів на підприємствах.

### 3.2 ВИМОГИ ДО ДАНИХ І ОТРИМАННЯ ДАНИХ

На початку проекту потрібно разом з керівництвом очисної споруди перевірити, яка існує база даних. Сюди належать вимірні величини, їх одиниці вимірювання, частотність замірювань та спосіб взяття проб у випадку хімічних аналізів (змішані проби чи вибіркові проби).

Якщо йдеться про вибіркові проби, то потрібно зробити перерахунок на змішані проби. Інформацію про динаміку протягом доби можна визначити шляхом вимірювання деяких добових ходів. Знаючи час взяття вибіркової проби, можна за допомогою фактору перерахунку обчислити середній денний показник.

Якщо немає добового ходу відповідної очисної споруди, то можна спробувати внести коректури за допомогою добових ходів схожих очисних споруд.

Загалом є дуже високий рівень неточності стосовно маси забруднення на вході, якщо беруть лише вибіркові проби. Це може дуже сильно впливати на результат обчислення моделі і, можливо, давати не придатні до використання результати.

### 3.3 ПОРЯДОК ДІЙ ПРИ ПІДГОТОВЦІ ДАНИХ

Як вже було коротко зазначено, для напрацювання основи моделі використовуються звичайні, отримані протягом поточної роботи, дані. Мета полягає в тому, щоб важливі тоннажі забруднення на вході і виході для ХПК, загального азоту і загального фосфору можливо було представити, як вимірювальні величини. Типова для очисних споруд України технологічна схема зображена на **Ошибка! Источник ссылки не найден.** На самому початку необхідно виміряти кількість стічних вод на вході і виході.

Разом з наявними концентраціями на вході і виході можна порахувати відповідний тоннаж/масу забруднення. Окрім цього, потрібна щоденно виведена маса забруднення сирого осаду. Це виявилось досить складно на тих очисних спорудах, які розглядались в Україні. Дуже часто виведений об'ємний потік не відомий або його максимально можна приблизно визначити за тривалістю роботи і за розрахунковою продуктивністю насоса. Також часто немає регулярних аналізів вмісту твердих речовин в сирому осаді.

Окрім цього, потрібні дані про роботу очисної споруди, які характеризують вміст твердих речовин, температури, вміст кисню та внутрішні потоки (надлишковий мул, рециркуляційний мул, рециркуляція).

$N_{org}$	$NH_4-N$	$NO_2-N$	$NO_3-N$
$TKN$			
	$N_{anorg}$		
$N_{ges}$			

Малюнок 3: схема розділення по фракціях загального азоту

Необхідну для моделювання масу забруднення для загального азоту і загального фосфору в Україні в загальному не визначають за допомогою вимірювальної техніки, а визначають лише розчинені компоненти ( $NH_4-N$ ,  $NO_2-N$ ,  $NO_3-N$  або  $PO_4-P$ ). Таким чином, потрібно виконати перерахунок. У результаті аналізу багатьох наборів даних на вході до очисних споруд в Німеччині, зроблено висновок, що  $TKN (N_{org} + NH_4-N)$  можна обчислити за формулою

$$NH_4-N = 0,6 \dots 0,7 * TKN \text{ [мг/л]}$$

Можна припустити, що використання цього коефіцієнту перерахунку також можливе в Україні.

Стосовно параметру фосфору немає такого загального коефіцієнту перерахунку. Рекомендується починати з нижче наведеного перерахунку і шляхом відповідних перевірок можливо ще буде потрібно більш адаптувати дані:

$$PO_4-P = 0,5 \dots 0,6 * P_{заг.} [мг/л]$$

Як можна побачити у рівнянні, при балансуванні використовуються тільки частка N чи P хімічних сполук. Проте в частині очисних споруд України концентрація обчислюється загальною вагою. Це потрібно попередньо перевірити на відповідній очисній споруді і, за потреби, використати відповідні коефіцієнти перерахунку (див. Таблиця 1).

Таблиця 1: коефіцієнти перерахунку для загальної речовини в частки N чи P і навпаки

$NH_4 \square NH_4-N:$	0,776	$NH_4-N \square NH_4:$	1,289
$NO_3 \square NO_3-N:$	0,226	$NO_3-N \square NO_3:$	4,425
$NO_2 \square NO_2-N:$	0,304	$NO_2-N \square NO_2:$	3,290
$PO_4 \square PO_4-P:$	0,326	$PO_4-P \square PO_4:$	3,068

Крім того, необхідно перевірити достовірність визначених даних. Для цього можна використати питому питому масу забруднення на вході з розрахунку на одного мешканця з

Таблиця 2. За допомогою цих даних з усіх тоннажів забруднення на вході можна обчислити еквіваленти по населенню, як суму з фактичної кількості мешканців, а також з еквіваленту чисельності населення, що впливає з промислових скидів. Якщо немає значних промислових скидів, які містять лише ХПК, Nзаг. чи Pзаг., то можна припустити, що обчислене число по еквівалентах населення щодо ХПК, Nзаг. і Pзаг. в середньому в такому ж діапазоні. Якщо будуть виявлені відхилення від цього припущення, то потрібно виконати детальні перевірки. Визначені еквіваленти по населенню потрібно звірити з фактичними даними по кількості мешканців і промислових підприємств, які є на даній території чи підключені до даної очисної споруди.

Таблиця 2: питома маса забруднення на вході з розрахунку на мешканців ( $EW = E + EGW$ ) (g / EW . d)

Параметри	Вхід очисної споруди	Після первинної очистки з часом простою за сухої погоди	
		0,5 ... 1,0 h	1,5 ... 2,0 h
БПК <sub>5</sub>	60	45	40
ХПК	120	90	80

TS (0,45 μm)	70	35	25
TKN (N <sub>org</sub> + NH <sub>4</sub> -N)	11	10	10
P	1,8	1,6	1,6

Усі проведені вимірювання потоку також потрібно перевірити на їх достовірність. Якщо можливо, то потрібно скласти кількісний баланс, щоб верифікувати потоки у межах очисної споруди.

Після того, як відповідно до описаного методу, було визначено тоннаж забруднення на вході, за допомогою наявних аналізів на виході, які роблять переважно з більшими часовими проміжками, можна визначати тоннаж забруднення на виході. Оскільки ці дані потрібні в моделі, як порівняльні величини, а не, як вхідні дані, не потрібно збільшувати часові проміжки. Виконують їх спрощену інтерполяцію між наявними пакетами даних.

Для збалансування моделі з метою виконання процесу моделювання окрім тоннажу забруднення на вході важливе значення має тоннаж забруднення твердих речовин, які виводяться з осадом стічних вод.

Потрібно окремо розділити концентрацію твердих речовин і розхід потоку виведення сирого осаду первинного і надлишкового мулу. З актуального досвіду авторів для очисних споруд в Україні це пов'язано з труднощами, оскільки часто не роблять аналізу твердих речовин сирого осаду, а в виведеному сирому осаді не проводиться вимірювання розходу потоку. Визначення денної кількості проводиться за допомогою приблизної оцінки тривалості роботи і теоретичної потужності подачі насосів. Верифікація шляхом додаткового вимірювання переважно не існує, проте наполегливо рекомендується, оскільки цей потік маси вирішальний для обчислення віку мулу на очисній споруді, що в свою чергу є важливою величиною для оцінки ефективності очистки.

Вік мулу обчислюють з коефіцієнту маси мулу у системі поділено на щоденно виведену масу мулу.

Обчислення виконують за такою формулою, де TS - суха речовина:

$$t_{TS} = \frac{TS_{BB} * \text{об'єм}}{TS_{\text{сирийосад}} * Q_{\text{сирийосад}}}$$

Масу мулу у системі переважно можна дуже точно обчислити шляхом регулярного відбору проб з активного мулу, у той час, як обидва фактори під ризикою дробу піддаються вимірюванню за допомогою вимірювальної техніки лише із значним рівнем недостовірності. На основі значення

віку мулу у будь-якому випадку потрібно отримати дані з приблизною оцінкою наявної недостовірності.

### 3.4 ОРГАНІЗАЦІЙНІ І ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ

Для опрацювання і застосування методики необхідно мати працездатний комп'ютер з відповідним програмним забезпеченням. Доцільно записувати виробничі дані в програмі обробки даних у формі таблиці і далі опрацьовувати їх. Таким чином, можна просто зробити пряму оцінку і перевірку даних. Окрім цього, у програмному забезпеченні для проведення моделювання, яке використовується у цьому проекті, є відповідна точка узгодження, яка дозволяє зчитувати напряму дані з Microsoft Excel®.

Першим кроком потрібно здійснити конфігурацію очисної споруди з усіма відстійниками, трубопроводами і водотоками, а також з основними агрегатами такими, як насосні станції і аераційні установки і перевірити наявну документацію.

Потім доцільно переглянути наявні виробничі дані. Рекомендується зібрати дані за мінімум один рік (краще за 2-3 роки).

Якщо основні дані, потрібні для опрацювання, відсутні, слід перевірити, наскільки можливе і доцільне проведення вимірювальної кампанії для збору даних.

Після цього виконують перевірку даних на їх достовірність і комплектування даних, щоб генерувати постійний пакет даних на вході для проведення моделювання, базуючись на середніх денних показниках.

### 3.5 ОПИС ПРОГРАМИ МОДЕЛЮВАННЯ І ТЕХНІЧНОЇ ОСНОВИ МОЕЛЮВАННЯ

#### 3.5.1 Програмний інтерфейс

Порядок дій описується на прикладі програмного забезпечення Simba Classroom®. Це версія програмного забезпечення Simba#, яка застосовується з науково-освітніми цілями, і має деякі обмеження стосовно функціональних можливостей. Демо-версію можна скачати за посиланням <https://simba.ifak.eu/content/simba-sharp-water>.

Загальний огляд програмного інтерфейсу зображений на Малюнок 4.

Інтерфейс ділиться на три частини.



### 1. Модель очисної споруди, як технологічної схеми

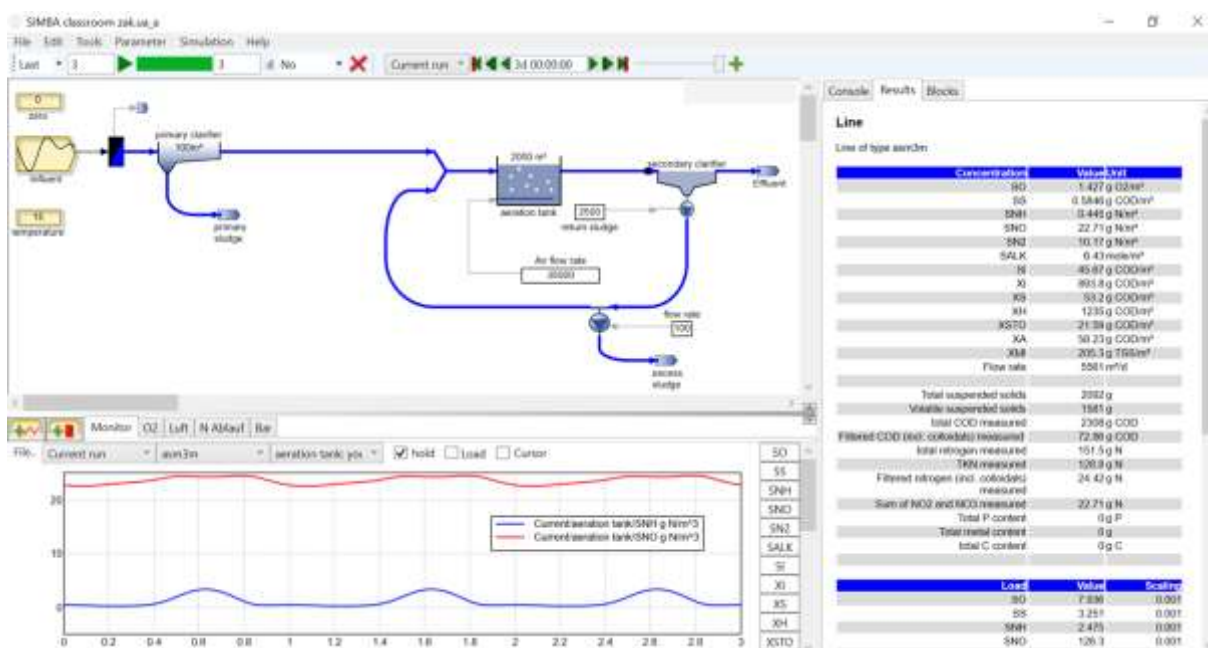
Зверху зліва можна побачити приклад очисної споруди. Побудова відбувається, як на технологічній схемі. Усі елементи можна також зробити у такому порядку, як вони фактично збудовані.

### 2. Бібліотека блоку та інформаційний відділ

Окремі елементи очисної споруди можна взяти з бібліотеки блоку, яка показана в правій частині, як одна з трьох вкладок. Обидві інші вкладки показують у формі таблиці актуальні повідомлення програми або результати актуального моделювання.

### 3. Візуалізація результатів

Нижня ділянка зображає універсальний вимірювальний прилад. Крім цього, можна створити свої часові ряди чи діаграми у вигляді стовпчиків, які уможливають візуалізацію результатів моделювання та експортування даних в інші програми.



Малюнок 4: зображення інтерфейсу користувача Simba classroom®

Під час інсталяції програми закачуються також різні довідники (англійською і німецькою мовами), які містять детальний опис обслуговування, наявних структурних елементів моделі та базу використаних моделей. Тому тут ми додатково звернемо увагу лише на деякі важливі аспекти.

### 3.5.2 Потік інформації

Лінії з'єднання в загальній схемі технологічного процесу представляють сигнальні вектори, різні кольори яких вказують на дані, що містяться у векторі. Залежно від кольору ці вектори можна з'єднати з різними типами моделі чи блоками з бібліотеки блоку.

**Чорні лінії** демонструють дані на вході (тип моделі influent) і містять 4 рядів даних:

- Концентрація ХПК [мг/л]
- Концентрація Nзаг [мг/л]
- Концентрація Pзаг [мг/л]
- Кількість на вході [м<sup>3</sup>/день]

Застосовані одиниці вимірювання становлять базу одиниць в Simba. Як базова одиниця вимірювання часу використовується 1 d (день = доба), коротші проміжки часу – відповідно, як десяткові дробки (0,5 d = 12 годин і т. д.). Одиниця вимірювання кількості – це м<sup>3</sup>, концентрація вказана в г/м<sup>3</sup>, що рівнозначно мг/л.

**Сині лінії** показують потоки стічних вод і активного мулу і вони мають тип моделі ASM3. Обмеження версії Simba Classroom стосується цієї моделі активного мулу. Так, наприклад у моделі не можна моделювати фосфор, оскільки для цього потрібно використовувати іншу модель активного мулу (ASM3 з модулем bioP).

**Сірі лінії** зображають сигнали, які служать входними для інших блоків. Тут йдеться про вектори, ширина сигналів яких є змінною і може бути відповідно попередньо налаштованою. Ці сигнали можна також використовувати для проведення обчислень у поєднанні з структурними елементами з бібліотеки блоків ICA&Signal/Math.

Пряме поєднання векторів різних видів – неможливе, для цього слід використовувати передбачені для цього структурні елементи (напр. фракціонування на вході). Окрім цього, в повній версії є можливість проектувати власні, так звані блоки-конвертери, які можуть з'єднувати між собою сигнали або інші типи ліній.

### 3.5.3 Базові одиниці вимірювання

У межах Simba для основних одиниць вимірювання задано фіксовані величини. Так, час загалом обчислюється в днях в десяткових числах. Отже час 1 означає 1 d (день) = 24 год. Для того, щоб відповідно враховувати коротші інтервали, потрібно використовувати кількість розрядів після коми (0,5 = 12 год.).

Об'єм потоку обчислюють в м<sup>3</sup>/день і так його і потрібно налаштувати. Переведення наявних виробничих даних в цю одиницю вимірювання можна попередньо виконати в програмі Excel або використати блок перерахунку (unitConv в Signals&Systems/Signal).

Концентрації вказані в г/м<sup>3</sup> = мг/л. Також тут потрібно виконати відповідне перерахування виробничих даних, щоб, наприклад, вміст твердих речовин в аеротенку, який переважно вказують на практиці в г/л, врахувати в моделі в правильній одиниці вимірювання.

### 3.5.4 Фракціонування на вході

Першим важливим кроком під час створення моделі є розподіл вимірних параметрів, як ХПК і кисень на фракції (параметри режиму) моделі. Це відбувається через блок-конвертер i2asm3 (influent to asm3) з бібліотеки WWTP. За кольором можна побачити, що зліва потрібно підключити чорний сигнал типу Tur influent, а справа – синій сигнал типу asm3. Інші вказівки містяться в довіднику.

Налаштування блоку (потрібно два рази клацнути кнопкою миші) зазвичай не потрібно узгоджувати. Зверху зліва можна вибрати, чи йдеться про попередньо очищені чи про сирі стічні води на вході до очисної споруди.

### 3.5.5 Блоки

У правій частині вікна програми знаходиться також і бібліотека блоку. З наявних там елементів основні будуть у подальшому коротко висвітлені.

#### **Influent**

Ці елементи схеми необхідні для опису ситуації на вході до очисної споруди. Важливими є блоки Const і FromXLS. Перший використовується для незмінного входу. Другий блок має доступ до файлу в Excel, який містить відповідні виробничі дані у правильному форматі. При цьому потрібно дотримуватись такої послідовності колонок:

1. Час в днях (див. розділ **Ошибка! Закладка не определена.**)
- 2.-5. Концентрації і об'єми потоків відповідно до вектору influent (чорні лінії, див. розділ **Ошибка! Закладка не определена.**)

Для типового добового ходу в переліку програми є файл DynTG\_hsg\_1\_0.xlsx. У ньому можна налаштувати добовий хід за власними даними стосовно маси забруднення і обсягів на вході.

Потім файл потрібно скопіювати у ту ж папку, що і модель Simba. Загалом це стосується всіх використаних додаткових файлів в Excel, інакше під час процесу моделювання вони не будуть знайдені і надійде повідомлення про помилку. Значення налаштувань в діалоговому вікні блоку FromXLS-Blockes можна почитати в довіднику.

Для додаткової динаміки за незмінної ситуації на вході до очисної споруди чи добового ходу можна використовувати елементи схеми з нижньої бібліотеки HSG. Цим можна поррахувати тижневі зміни, дощові періоди чи весь цикл різних фаз з різними тоннажами забруднення.

### **Flows&General**

Ця бібліотека містить різні каналізаційні трубопроводи (однак без врахування фактичної гідравліки, тобто йдеться про ідеальний водотік, у якому тече все, що скидають). Крім того, є один насос та розподільчий канал і з'єднання. За допомогою вимірювання потоку можна визначити сигнальний вектор, наприклад, для застосування при автоматичному регулюванні.

Додатково у цій бібліотеці ще є два обов'язково необхідні блоки temperature і zero, які потрібно додавати до кожної програмної моделі. При цьому температуру можна налаштувати, а блок zero не можна міняти.

### **ICA&Signal**

Ця бібліотека містить різні додаткові елементи. В джерелі даних знаходяться такі блоки, як const (вихідні дані по незмінних показниках, може бути також багато, див. незмінний вхід) або імпульсовий генератор (pulse), яким можна зобразити процес включення/відключення.

Математичні обчислювальні блоки (Math) для виконання обчислень, напр., для регулювань так само є в наявності, як і сигнальні блоки (вимірювальні прилади, перемикачі), які дозволяють відтворити багато більш реалістичну роботу очисної споруди. Серед таких елементів схеми, як регулятори також є багато корисних блоків, при чому, напевно, найбільш використовуваним є пропорційно-інтегральний регулятор.

### **WWTP**

Ця бібліотека містить основні блоки для:

- фракціонування на вході,

- аеротенків і
- обробки мулу.

Відповідна документація міститься в довіднику. Крім того, є багато прикладів в папці програми Simba Classroom®, де можна побачити застосування цих блоків, це також можна довідатись з нижче наведених прикладів.

### 3.5.6 Інтеграція даних

Як попередньо описувалось для бібліотеки `influent` (притік), дані можна вводити безпосередньо з Excel. Це підходить, наприклад, для вимірювання об'ємного потоку, концентрації кисню або температури стічних вод. Так само, дані можна інтегрувати безпосередньо в модель для порівняння із показниками моделювання (наприклад, аналізи із аеротенка або стоку). Проте, для виведення результатів пропонується робити це окремо, як описано в розділі 19.

### 3.5.7 Проведення моделювання

Тривалість моделювання, тривалість запису

Після побудови моделі та інтеграції необхідних даних можна розпочинати моделювання. Для цього необхідно в інтерфейсі програми у верхньому куті зліва внести час старту і завершення, а тоді натиснути зелений трикутник для старту. У пункті меню «моделювання/опції» (Simulation / Options) можна зробити деталізовані налаштування стосовно запису даних. Щоб отримати точнішу інформацію, звертайтеся до довідника.

Індикатор показує хід моделювання. Залежно від складності моделі моделювання може сповільнюватись. Загалом прості моделі очисних споруд при моделюванні в межах одного року вже через кілька хвилин отримують готові підрахунки.

Результати моделювання автоматично зберігаються у вигляді файлу в папці моделі і відразу доступні при наступному завантаженні. Залежно від обраної тривалості запису і періоду моделювання, файл може стати досить об'ємним. Не потрібно визначати інформацію для збереження, адже усі стани всіх елементів системи в кожній моделі зберігаються автоматично.

### 3.5.8 Відображення результатів та їх оцінка

Для візуалізації та аналізу результатів наявні різні можливості.

Натиснувши мишку на будь-який елемент моделі, Ви отримаєте справа, у розділі «результати», актуальні показники для цього елемента. Це можуть бути результати підрахунків і настройки. За допомогою регулятора посередині зверху можна прокрутити зображення через актуальний перебіг моделювання.

Для візуалізації результатів у вигляді діаграми в нижній частині програмного вікна розташований монітор, який може показувати усі результати імітації, наявні в моделі. Також і для цього потрібно вибрати елемент (реактор, витік із реактора). У залежності від обраного блоку, права панель вікна монітора показує наявні показники. Відповідно до вибору, весь часовий ряд цієї вимірюваної величини відображається у діаграмі. Більш детальну інформацію можна знайти в довіднику.

Так як цей тип зображення не постійний, діаграми часових рядів можна також налаштувати наперед і зберігати разом із моделлю. Для цього потрібно у вікні монітора зліва вибрати кнопку «додати графік часових рядів» (Add time series plot). Тоді створюється нова вкладка, у якій при натисканні на зелений знак «плюс» справа на моніторі можуть бути інтегровані усі доступні показники і сигнали, а також дані зі зовнішніх файлів Excel. Через те, що існують різні можливості комплексного характеру, рекомендуємо використовувати довідник. Такий підхід можна також застосовувати для подальшої обробки даних в Excel, тому що, натиснувши на «файл» (File) справа у «графіку часових рядів» («time series plot»), усі зображені результати зберігаються у Excel.

### 3.6 ІНТЕГРАЦІЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПІДРАХУНКІВ У ТЕХНОЛОГІЧНОМУ МОДЕЛЮВАННІ

При технологічному моделюванні необхідно використовувати показники найбільших об'єктів споживання електроенергії на очисній споруді. При цьому доцільно обмежитись лише об'єктами із динамічною поведінкою, а константне споживання додати як окремий рахунок. Динамічним навантаженням на очисних спорудах є:

- насоси
- повітродувки
- агрегати зневоднення (центрифуги)
- теплоелектростанції

Найпростіший спосіб - закласти приблизне споживання енергії, пропорційно до продуктивності подачі (наприклад, пропускний об'єм насоса). Тоді кожен регулюючу змінну потрібно помножити на коефіцієнт перерахунку для електроенергії. Однак, оскільки багато агрегатів

характеризуються нелінійним споживанням електроенергії, потрібно використовувати більш комплексний спосіб перерахунку. Для цього у бібліотеці ICA & Signal / Math існує блок пошуку lookUp. У ньому можна задати графічну характеристику будь-якого агрегату, на основі чого буде здійснено підрахунок коректних показників споживання струму. Існує також можливість, при ступеневому розташуванні насосів або повітродувов відтворити це розташування безпосередньо із окремими агрегатами. Однак, тут потрібно мати відповідні дані замірів, щоб зробити належне пристосування.

### 3.7 ПРИКЛАД ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДИКИ

Для повного опрацювання і застосування методики важливе значення має наявність необхідних даних та інформації про очисну споруду. З метою вивчення роботи очисних споруд у залучених водоканалах у містах Червоноград, Львів та Івано-Франківськ перед оглядом очисної споруди було надано список необхідних даних.

Для взяття проб ,на вході до очисної споруди‘, ,на виході з первинного відстійника‘ і ,на виході з очисної споруди‘ проведено опитування відповідних параметрів згідно з Таблиця 3.

Таблиця 3: параметри основних потоків маси

Параметр	Одиниця вимірювання	Скорочення
Кількість потоку	м <sup>3</sup> /день	Q
Хімічна потреба в кисні	мг/л	ХПК
Біологічна потреба в кисні	мг/л	БПК <sub>5</sub>
Амонійний азот	мг/л	NH <sub>4</sub> -N
Нітратний азот	мг/л	NO <sub>3</sub> -N
Нітритний азот	мг/л	NO <sub>2</sub> -N
Завислі речовини	мг/л	AFS
Загальний фосфор	мг/л	P
Ортофосфат	мг/л	PO <sub>4</sub> -P
Температура	°C	T

Для характеристики стадії аерації опитування параметрів відбувалось за Таблиця 4.

Таблиця 4: параметри для аеротенку

Параметр	Одиниця вимірювання	Скорочення
Вміст твердої речовини	г/л	TS
Об'єм мулу	мл/л	VSV
Концентрація кисню	мг/л	O <sub>2</sub>

Температура	°C	T
-------------	----	---

Якщо є багато паралельних коридорів і проби беруться окремо для кожного з них, то їх потрібно окремо записувати.

Залежно від виду і обсягу обробки мулу для створення і корегування моделі важливі ще параметри, наведені у Таблиця 5.

Таблиця 5: параметри для обробки і утилізації мулу

Параметр	Одиниця вимірювання	Скорочення
<i>Сирий осад з первинного відстійника</i>		
Кількість мулу	м <sup>3</sup> /день	Q
Сухий осад	г/л або %	TR
Прокалювання	% з TR	GV
<i>Надлишковий мул з вторинного відстійника</i>		
Кількість мулу	м <sup>3</sup> /день	Q
Сухий осад	г/л або %	TR
Прокалювання	% з TR	GV
<i>Після зневоднення</i>		
Кількість мулу	м <sup>3</sup> /день	Q
Сухий осад	г/л або %	TR
Прокалювання	% з TR	GV

Усі дані за мінімальний період в 1-2 роки потрібно зберігати, як денні показники, в електронній формі. Тут себе оправдали програми обчислення електронних таблиць, оскільки водночас із збором та реєстрацією даних можна робити різні аналізи даних, перевіряти їх достовірність і складати діаграми.

Для обчислення динамічного споживання електроенергії головних споживачів електроенергії необхідні не лише технічні дані агрегатів (технічний паспорт, графічні характеристики), а і їх робочий час. Оскільки у більшості випадків робочий час безпосередньо не зазначено, потрібно на місці провести бесіди із обслуговуючим персоналом і отримати від них інформацію про робочий час агрегату.

Для проведення моделювання потрібен повний пакет даних. Якщо у більшості випадків для кількості стічних вод на вході кожного дня визначають середній показник, то аналізи не є



наявними для кожного дня. Тому потрібно виконати поповнення цих даних. Простий і практикуючий метод базується на припущенні незмінного тоннажу забруднення.

Припускають, що протягом тривалого періоду часу внаслідок досить стабільної кількості мешканців і скидів з промислових підприємств на вході до очисної споруди поступає завжди один і той ж самий тоннаж забруднення.

Передумовою методу є факт відсутності екстреного скиду стічних вод за умов сухої погоди. У випадку значної кількості опадів слід перевірити, чи відбувається зниження обчислених цим методом тоннажів забруднення, які через водоскидні спорудження для змішаної води надходять в водоприймальний басейн для попереднього очищення стічних вод.

За стабільного тоннажу забруднення чинне рівняння  $F = Q * c = \text{const}$ .

з кількістю на вході  $Q$ , концентрацією  $c$  і тоннажем забруднення  $F$ .

За допомогою наявних показників по концентрації обчислюють середній тоннаж забруднення на вході. Для всіх днів без показників концентрації виконується обчислення концентрації на вході за допомогою перетвореного рівняння

$$c_{\text{обчислено}} = F/Q = F * Q^{-1}$$

Таким шляхом отримують достовірну концентрацію на вході на кожен день в період проведення спостереження.

Передані дані слід перевірити на їх достовірність і порівняти з досвідом, літературними джерелами чи з показниками з інших досліджень, щоб заздалегідь проаналізувати можливі проблеми.

Окрім усього необхідного набору даних, потрібно мати схему технологічного процесу очисної споруди, розміри всіх відстійників і наявних трубопроводів, водотоків і агрегатів (насоси, повітродувки, мішалки, центрифуги тощо). Тепер можна створити першу версію моделі, яка становитиме основу для подальшого обговорення.

Після того необхідно оглянути очисну споруду. При цьому, окрім огляду, потрібно з'ясувати питання, які впливають з аналізу даних, а також з документації очисної споруди.

Із здобутими у результаті цього знаннями можна приступати до створення моделі актуального стану. Підтвердження узгодження моделі та вимірюваних даних відбувається шляхом порівняння між замірами і моделюванням показників на виході і концентрацій твердих речовин в аеротенку. Дуже часто не всі виробничі налаштування (як, наприклад, продуктивність насосів) наявні у формі вимірюваних величин. Тоді потрібно звернутись до досвіду обслуговуючого

персоналу чи до досвіду керуючого інженера, щоб вільно вибрати доцільне налаштування для цього агрегату і цим самим реалізувати балансування моделі.

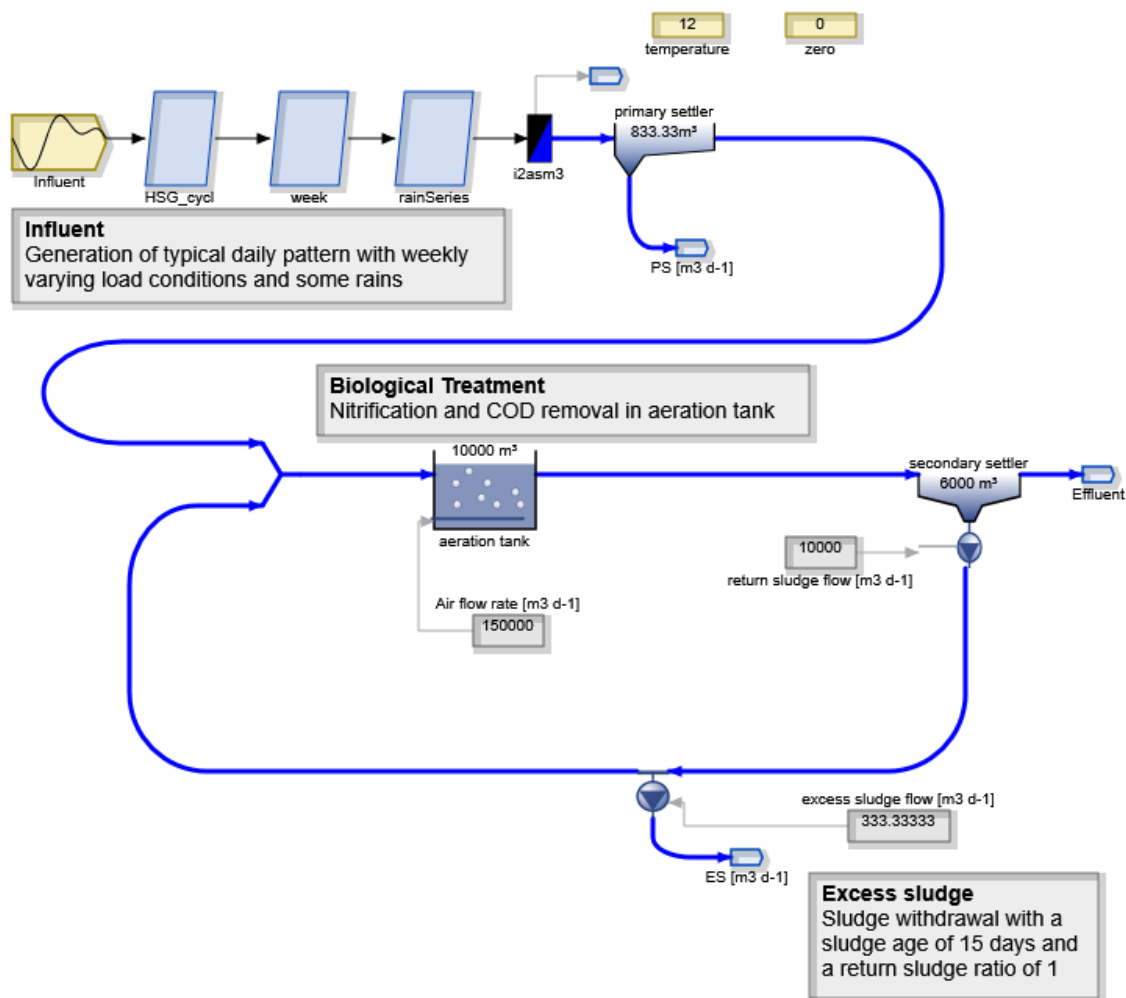
Загалом цей крок обробки даних спричинить найбільші затрати у рамках такого опрацювання проекту. Крім цього, слід врахувати, що не всі відхилення між вимірюваними величинами і результатами моделювання можна буде усунути у всіх точках очисної споруди. Ці неточності можна буде перевірити проведенням додаткових замірів і потім усунути.

Усі робочі кроки, виконані до цього становлять лише попередні роботи на шляху до опрацювання необхідних питань, бо тільки зараз модель актуального стану можна використовувати, щоб опрацювати інші проблеми, як це викладено в попередніх і буде на прикладі показано в наступних розділах. Оскільки моделювання актуального стану очисної споруди становить вагомий крок в процесі опрацювання, потрібно з відповідною ретельністю поставитись до наявних даних та інформації.

## 3.8 ПРИКЛАДИ ДЕЯКИХ ЗАДАЧ МОДЕЛЮВАННЯ

### 3.8.1 Демонстраційна установка

Як приклад, для демонстрації різних способів моделювання очисних споруд було створено демонстраційну установку, яка за своєю структурою відповідає українській очисній споруді (див. Малюнок 5).



Малюнок 5: демонстраційна модель установки у Simba Classroom

Система має первинну обробку із середнім показником гідравлічної затримки 2 години. Потім стічні води поступають в аеротенк, у який через повітродувки із константною кількістю повітря надходить кисень. Зворотній потік мулу становить  $10.000 \text{ m}^3 / \text{за добу}$ , що відповідає середній кількості подачі. Таким чином, отримуємо співвідношення рециркуляції приблизно 1. Вік мулу встановлюється шляхом виведення надлишкового мулу. При існуючому співвідношенні повернення мулу і специфікації віку мулу 15 днів отримуємо зазначену суму.

Щоб інтегрувати в модель значною мірою реалістичну картину подачі стічних вод, не маючи конкретних даних, було розроблено для наявних компонентів моделі динамічну формулу подачі. Виходячи із денних параметрів (блок подачі/ influent ), накладаємо на ці дані ще тижневі параметри (блок тижня/ week ), а також послідовність різних навантажень (блок циклу HSG) і деякі поступлення змішаних вод (блок дощові серії/ rain series). Цикл охоплює 6 тижнів, і таким чином, може відображати 42 дні. При моделюванні протягом більш тривалого періоду, весь цей загальний цикл повторюється автоматично. Для обкатки моделі, починаючи із базового стану

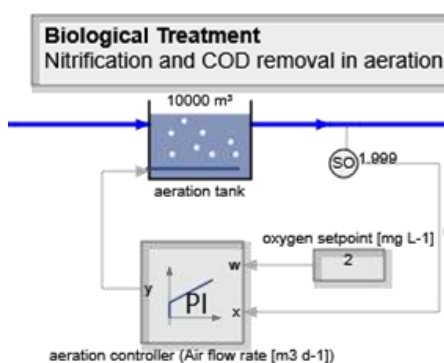
(який відповідає очисній станції в новобудові без стічних вод), потрібен період як і в реальних установках - 2-3 віка мулу для досягнення статичного стану.

Ця демонстраційна модель стає основою для подальших можливих розробок установки у рамках різних сценаріїв. Вони використовуються в цьому звіті як приклади основних способів моделювання очисних споруд. Усі показані моделі можуть використовуватись як готовий набір моделювання для власних тестів, наприклад, за допомогою демо-версії Simba Classroom.

Таким чином, можна безпосередньо випробувати, якими будуть наслідки від доповнень до моделі або від змін попередньо заданих параметрів.

### 3.8.2 Інтеграція регулювання кисню

Перша значна зміна початкового стану відбувається внаслідок інтеграції автоматичного регулювання аерацією. Необхідні компоненти моделі показано на Малюнок 6.



Малюнок 6: регулювання аерації в аеротенку

Поряд із киснево-вимірювальним приладом, який встановлюється на виході з аеротенку (в змішувальному тенку (в реакторі безперервної дії з мішалкою, CSTR)) концентрація на виході відповідає концентрації в реакторі. Крім того, виникає потреба у регуляторі. Бібліотека блоків містить ПІ-регулятор, який має не лише показники кисню на вході, але і поточний показник із киснево-вимірювального приладу. Вихід із блоку являє собою кількість повітря, яка може бути приєднана до аеротенка. При налаштуванні параметрів регуляційного блоку необхідно у Controler gain (у «посиленні контролю») внести об'єм тенку із коефіцієнтом 30, а також максимальний обсяг повітря (максимальне значення/ maximal value) як верхню межу аераційної системи. Якщо останній показник не відомий, тоді просто налаштовується достатньо високе значення. За допомогою тестів моделювання можна перевірити, чи регулятор функціонує належним чином, чи концентрація кисню зберігається цілком незмінною на рівні заданої величини.

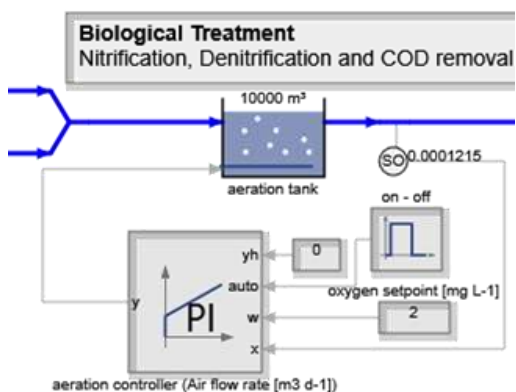
### 3.8.3 Інтеграція денітрифікації

Для інтеграції денітрифікації є дві основні можливості.

1. Робота системи в якості переривчастої нітрифікації / денітрифікації
2. Робота системи в якості попередньої денітрифікації

#### Переривчаста Н / ДН

У даному випадку відбувається включення і виключення аерації. Завдяки цьому нітрифікація і денітрифікація проходять у різний час. Виключення може здійснюватися за допомогою часового перемикача. При наявності онлайнних вимірювальних приладів для амонію і / або нітрату, перемикання фаз аерації регулюється за допомогою цих пристроїв. За певних обставин це дає можливість зекономити енергію аерації, тому що таким чином вводиться лише стільки кисню, скільки потрібно для окислення амонію.



Малюнок 7: перервний режим регулювання аерації у аеротенку

Доповнення до моделі показані на Малюнок 7. Модуль регулятора при цьому розширюється шляхом збільшення поля параметра (натисніть на сірий трикутник в діалозі параметрів), щоб перемикати на ручний/автоматичний режим роботи. Перемикання відбувається за допомогою блоку імпульсів (бібліотека ICA&Signal/Source). Параметризація цього блоку описується у довіднику. Для даного прикладу виявилось доцільним налаштування тривалості циклу (нітрифікація-денітрифікація) на 3 години і частки аерації - на 60%.

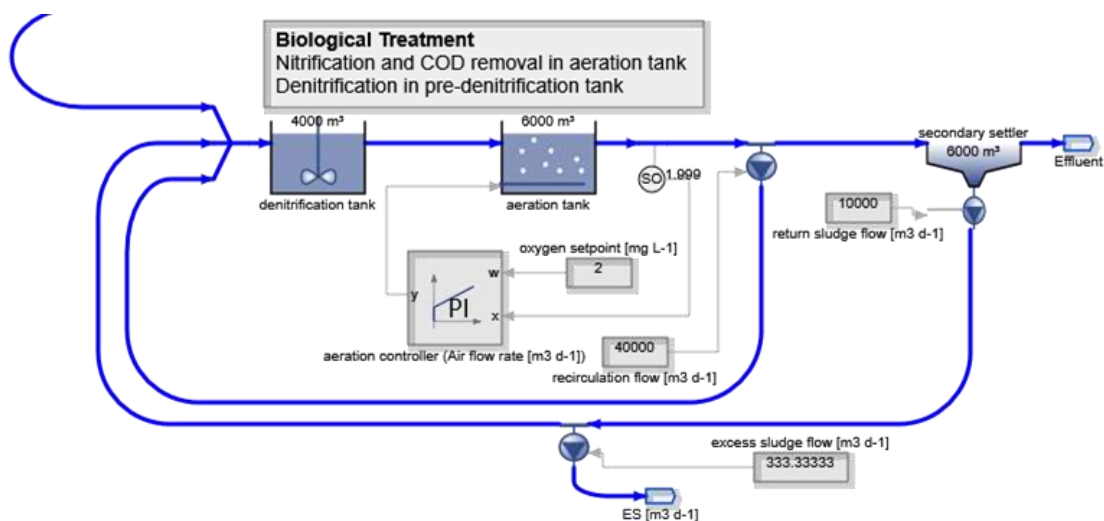
Отримані концентрації в аеротенку проілюстровано на Малюнок 8.

Малюнок 8: приклад перебігу змін концентрації у аеротенку

Тут чітко видно, як на початку аерації амоній окислюється до нітрату, а після виключення аерації - нітрати денітрифікуються, у той час як через подачу у тенк знову поступає новий амоній.

### Первинна денітрифікація

При первинній денітрифікації аеротенк ділиться на попередню зону без аерації та зону із аерацією. За допомогою вуглецю, який поступає на вході і легко розкладається, відбувається денітрифікація нітрату. Щоб подати нітрат у цей тенк, додатково до зворотного мулу із вмістом нітрату інтегрується внутрішня рециркуляція, яку потрібно було б запустити за допомогою 4-кратної подачі, щоб досягнути максимальної денітрифікації. Окислення амонію відбувається тоді у вторинній нітрифікації. Необхідні зміни відображено на Малюнок 9.



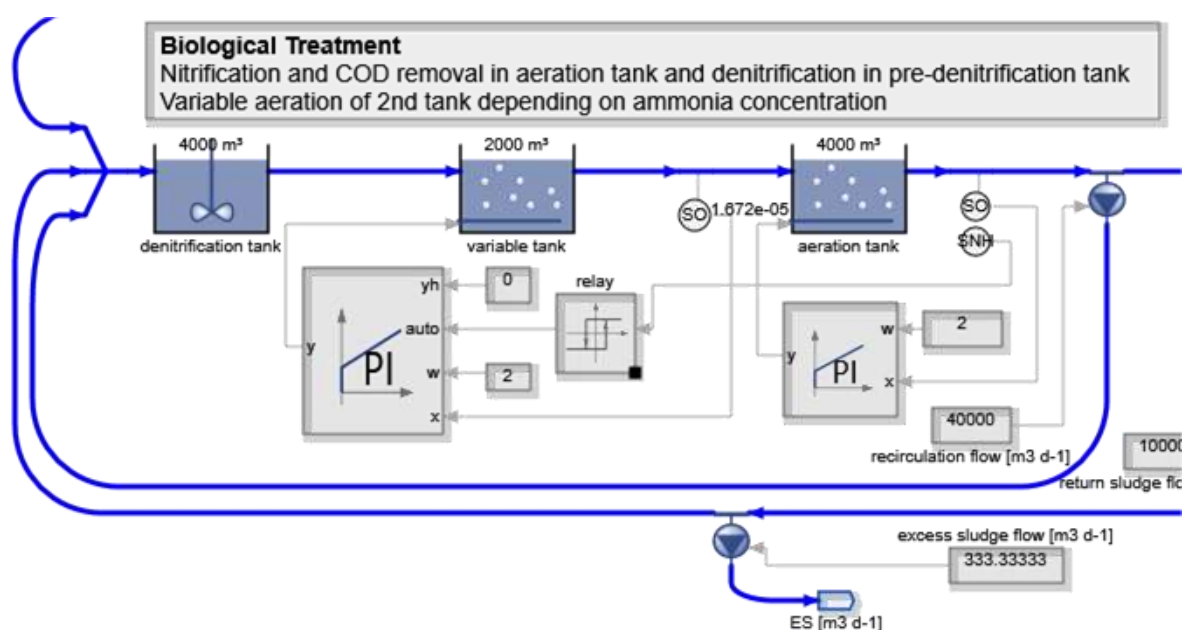
Малюнок 9: інтеграція первинної денітрифікації

У якості компонента для денітрифікації може використовуватись аеротенк із аерацією (із потоком повітря від 0 м<sup>3</sup> / день на відповідному вході) або спеціально передбачений для цього блок із бібліотеки WWTP (станції очистки стічних вод). Загальний обсяг аеротенку 10.000 м<sup>3</sup> було розділено у співвідношенні 40:60 на денітрифікацію і нітрифікацію.

### 3.8.4 Аеротенки із змінною аерацією

Для аеротенків із складнішими структурами або задля оптимізації споживання енергії, доцільно за допомогою відповідних вимірювальних приладів та регулювання вводити лише стільки кисню, скільки дійсно необхідно для нітрифікації та окислення вуглецю. Через коливання у завантаженні на подачі та через інші фактори впливу, як напр., температура стічних вод,

змінюються вимоги щодо необхідної кількості повітря, а також щодо обсягу аеротенка, у якому потрібно провести аерацію. Наступний приклад моделі показує один із варіантів експлуатаційного режиму, під час якого відбувається змінна аерація частин аеротенку. Для цього було розділено аеротенк із аерацією у попередній моделі і оснащено регулюванням аналогічно до переривчастої ДН. Перша менша частина проходить аерацію тільки тоді, коли концентрація амонію перевищує порогове значення. Для цього потрібно інсталиувати додатковий вимір амонію в аеротенку. Підключення чи відключення аерації в змінній частині аеротенку здійснюється за допомогою блоку реле (ICA & Signal / Control), у який може вводитись показник для вмикання і вимикання, а також видача (0 або 1 для вкл. / викл). Усе це підключається до регулятора, і в залежності від концентрації амонію вмикає його або вимикає.



Малюнок 10: розширене регулювання аерації за допомогою перемінної аерації частини аеротенку

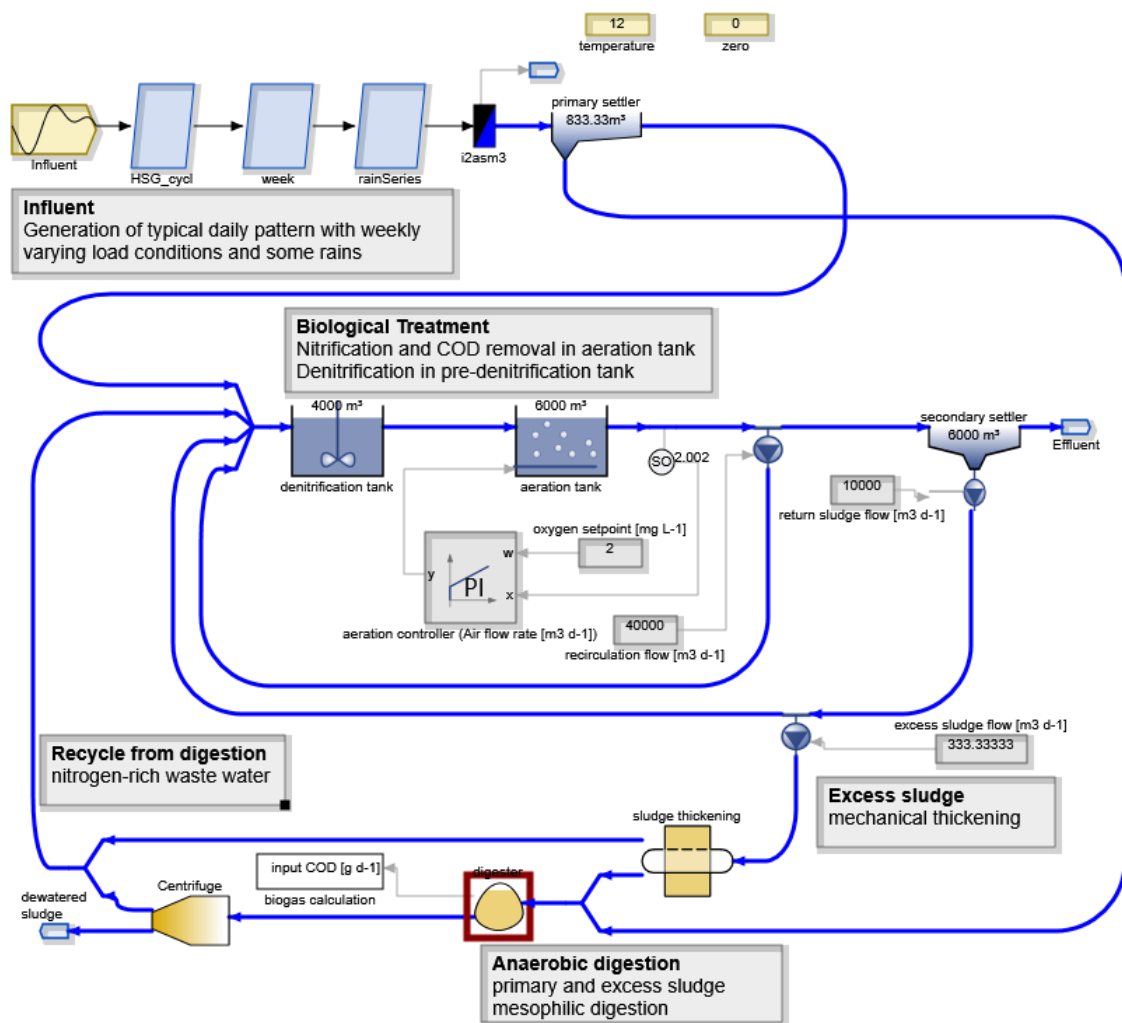
За допомогою такого регулювання при при значних коливаннях у навантаженні і при достатньому об'ємі тенка можна зекономити енергію на аерацію. Модель в даному випадку являє собою прекрасну можливість для перевірки ефективності цього заходу, перш ніж робити, інвестиції, наприклад, у нові прилади вимірювання і регулювання.

### 3.8.5 Розширення за допомогою обробки мулу

Значним розширенням станції очистки стічних вод слід вважати запровадження фази обробки мулу з анаеробною стабілізацією мулу. Для цього у бібліотеці Simba Classroom також є необхідні блоки. Закладена модель гниття являє собою при цьому лише дуже спрощений підхід. Подробиці щодо цього можна прочитати в довідниках.

Для інтеграції гниття необхідні різні фази попередньої обробки, значною мірою – це згущення первинного та надлишкового мулу на вміст твердої речовини в обсязі 3 - 5% або 5-7%. За допомогою такого вмісту твердих речовин зазвичай запускається процес гниття. При цьому тривалість становить 20-30 днів, хоча можна вважати, що при мезофільному гнитті (37-40 ° C) приблизно після 20 днів більша частина сполук, придатних до анаеробного розщеплення, вже перетворились на біогаз.

У прикладі моделі попередньої денітрифікації інтегровано відповідний процес бродіння.



Малюнок 11: приклад установки із фазою бродіння

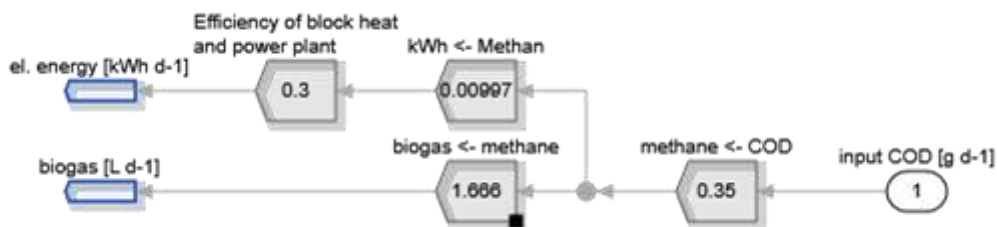
Первинний мул за допомогою налаштування вже зазнав достатнього ущільнення в первинній обробці до 3,5%. Надлишковий мул ущільнюється стрічковим згущувачем механічним шляхом приблизно до 6%, і змішаний необроблений мул транспортується до бродіння. Час перебування триває трохи більше 20 днів. У вікні параметрів бродіння було збільшено попередньо задану



константу часу до 15, щоб встановити достовірну норму розщеплення для мезофільного гниття.

Після цього відбувається зневоднення зброженого мулу. Збагачений азотом фільтрат знову повертають на відновлення. Це основна зміна у біологічній стадії при інтеграції бродіння, що у будь-якому випадку має враховуватись при загальному розгляді системи, інакше режим бродіння призведе до перевищення контрольних показників азоту у процесі очистки.

Компонент бродіння, крім потоку мулу, видає також інформацію про вироблений біогаз. Вихід має при цьому одиницю ХПК г / д, а не те, що вказано у довіднику - г / м<sup>3</sup> метану. Кількість біогазу у вигляді потоку ХПК у подальшому можна безпосередньо перевести в інший розрахунок. Приклад цього у підсистемі на Малюнок 12.



Малюнок 12: підрахунки з біогазом

Вхідна величина «ХПК-тонаж» (праворуч) спочатку переводиться в обсяг метану, з тим, щоб пізніше за допомогою умовної концентрації метану перевести цю величину у потік обсягу біогазу, а з другого боку – перевести в електричну енергію через показник теплотворності метану і умовний ККД блокової теплової електростанції. Цей підхід також може застосовуватись для інших підрахунків в рамках моделі.

### 3.8.6 Інші варіанти регулювання

Крім вищевказаних способів регулювання на очисних станціях існують і інші способи автоматизації роботи установки, що дає можливість позитивно впливати на процеси:

#### Регулювання потоку зворотного мулу

В очисних спорудах із подачею мішаних вод через опади підвищується гідравлічне навантаження, і як наслідок - відбувається переміщення активного мулу у вторинний відстійник. Якщо насос зворотного потоку мулу працює постійно, потрібно лише декілька годин, щоб цей мул знову повернути в аеротенк.

Протягом цього часу через брак біомаси знижується нітрифікація. Цей недолік можна компенсувати за допомогою регулювання потоку зворотного мулу пропорційно до припливу вод. Для цього сигнал подачі повинен бути підключений до насосу зворотного шламу через регулятор. Результати можуть бути протестовані в моделі.

### **Регулювання внутрішньої рециркуляції**

При застосуванні методу попередньої денітрифікації кількість повернутого нітрату визначає досягну продуктивність конверсії. При постійній кількості зворотного потоку бувають періоди, коли потенціал денітрифікації не використовується у ДН-ємкості, тому що повертається недостатньо нітрату, і навпаки. Якщо у потоці ДН-ємкості інстальовати нітратний зонд, то цим можна регулювати внутрішню рециркуляцію. Це відбувається до тих пір, поки зростає рециркуляція і на виході ДН-ємкості можна виміряти лише трохи нітрату. Саме в цьому зворотному потоці максимально використовується потужність ДН, подальше збільшення споживає лише більше енергії.

### **Регулювання дози коагулятора**

У системах із хімічною елімінацією фосфату за допомогою осадження солей заліза або алюмінію, може мати місце додавання у константній кількості або в залежності від вимірюваного online-значення фосфату на виході системи (або на виході в аеротенку). В останньому випадку, вводиться лише така доза коагулянта, яка необхідна для елімінації фосфату.

### **Загальна інформація**

Кожен тип регулювання, на відміну від нерегульованих варіантів, вимагає більших затрат на вимірювальну техніку. Тому необхідно заздалегідь визначити, чи додаткові інвестиції і експлуатаційні витрати (наприклад, для обслуговування та догляду за вимірювальними приладами) не переважають зекономлені витрати, напр., на електроенергію чи коагулянт. Тут є можливість у порівняльному моделюванні двох варіантів визначити досить точний масштаб економії при динамічних умовах, наближених до реальності.

## 4 РЕЗУЛЬТАТИ ПРОЕКТУ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО РЕАЛІЗАЦІЇ В УКРАЇНІ

### 4.1 ПОКРАЩЕННЯ БАЗИ ДАНИХ (РОБОЧИЙ ЖУРНАЛ)

#### 4.1.1 Загальна інформація

Метою ведення робочого журналу є централізований збір даних, який уможливить аналіз експлуатаційного стану і виявлення експлуатаційних проблем. Державний контроль за дотриманням граничних показників на виході очисної споруди – це не мета робочого журналу. Тому, і кількість, і якість зібраних даних мають відображати робочий стан системи і окремі етапи обробки. Обсяг доцільних даних, як правило, залежить від конфігурації станції очистки стічних вод. Оскільки конфігурації установок на практиці рідко бувають ідентичними, розробка універсального робочого журналу неможлива. Таким чином, кожний робочий журнал потрібно адаптувати до місцевих умов. У переважній більшості це можливо із незначними корективами загального взірця. З цієї причини в рамках проекту ZAK.UA, як приклад, було створено такий журнал на базі Excel.

Цифровий робочий журнал є прикладом збору і запису даних, важливих для роботи установки, і включає в себе узагальнене відображення фаз процесу. Залежно від конкретної конфігурації системи, включаючи місця взяття забору, необхідно провести адаптацію даних для репрезентативного відображення експлуатаційного стану. Наступний виклад було зроблено для того, щоб допомогти цілеспрямовано провести індивідуалізацію та здійснити записи відповідно до необхідної якості і кількості. Даний виклад базується на досвіді авторів стосовно догляду, оптимізації та аналізу роботи багатьох очисних споруд в Німеччині та на інформації і досвіді, зібраних в рамках проектів в Україні. Що стосується технічного і економічного значення записів, було зроблено лише необхідні для розуміння пояснення. Малюнок 13 ілюструє спрощену технічну схему умовної очисної споруди, чий експлуатаційний стан може бути задокументовано за допомогою електронного робочого журналу.

Малюнок 13: спрощена схема очисної споруди

## 4.1.2 Характер і обсяг записаних даних

### Об'ємні потоки

Об'ємні потоки повинні бути задокументовані на кожен день у вигляді суми або середньодобового показника. Для притоку стічних вод потрібно додатково записувати максимальне погодинне значення кожного дня. Документування об'ємних потоків в ідеалі включає в себе всі існуючі насоси. Особливо важливими є наступні об'ємні потоки:

- притік чи витік
- потік зворотного мулу
- надлишковий мул
- первинний мул
- мул для утилізації

Оскільки об'ємні потоки мають суттєве значення для врахування усіх фракцій, бажано проводити їхнє якомога точне визначення.

### Аналіз притоку

Відбір проб і аналіз подачі стічних вод здійснюється до і / або після первинної обробки. Для обох точок відбору проб ідеально вибирати місця з повним перемішуванням. Спосіб відбору проб може спричинити помилки, викликані неправильним визначенням фракції частинок. Неправильне визначення на вході твердих речовин або ХПК на основі відбору проб може призвести до помилки в 30% і вище. В ідеалі, відбір проводиться як щоденна 24-годинна, змішана проба. Залежно від розміру установки і басейну (роздільна каналізація), можна

зменшити відбір щонайменше до одного разу в тиждень (в різні дні тижня) в крайньому випадку також як вибірковий контроль.

Хімічний аналіз повинен включати, щонайменше, параметр ХПК, NH<sub>4</sub>-N і P<sub>total</sub>. Крім того, доцільним є також визначення фільтрованих речовин, осаджувальних речовин і загального вмісту нітрогену (TKN). Так як фракції фосфору у процесі біологічної обробки стічних вод зазнають різних змін, аналіз оPO<sub>4</sub>-P не є необхідним. Якщо відомо, що скидання стічних вод містить нітрат чи нітрит, або у випадку інфільтрації ґрунтових вод із вмістом нітрату в систему каналізації доцільно робити аналізи на NO<sub>3</sub>-N і NO<sub>2</sub>-N. У комунальних стічних водах, які не мають додаткового впливу, концентрації нітратів і нітритів не значні.

### **Аналіз мулу**

Аналіз мулу має важливе значення, зокрема, щодо оцінки робочого стану і верифікації маси забруднення речовинами. Як правило, взяття проб проводиться в якості вибіркового зразка. Якість проб первинного мулу, як правило, неточна і зокрема при переривчастій подачі первинного мулу залежить від моменту відбору проб. Верифікація відбувається, по можливості, із поступленням фракцій твердих речовин на первинну чистку і з фракціями твердих речовин на обробці мулу чи його утилізації. Для кожного аналізу твердих речовин потрібно визначати втрати при прожарюванні.

Контроль порівняльного обсягу мулу в ідеалі здійснюється кожного дня. Для визначення концентрації твердих речовин мулу в аеротенку достатньо брати проби приблизно один раз в тиждень. Рекомендується визначати пов'язані із цим втрати при прожарюванні. Для експлуатаційного контролю і встановлення виведеного надлишкового мулу рекомендується щоденне визначення концентрації твердих речовин в надлишковому мулі чи у зворотному мулі.

### **Аналіз на виході**

На виході із очисної споруди в ідеалі кожен день потрібно відбирати 24-годинні проби, щоб зробити аналіз на параметри осаджувальних твердих речовин, ХПК, NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N.

### **Різне**

Потрібно фіксувати документально щодня, щотижня або щомісяця застосування полімерних флокулянтів для ущільнення мулу і його зневоднення, коагулянтів (солі заліза і алюмінію), зовнішніх джерел вуглецю і енергії. Те саме стосується і поступлення фекалій та утилізації мулу. У цьому випадку утилізація мулу на мулових майданчиках, як це прийнято в Україні, як правило, створює труднощі в тому, що в більшості випадків немає жодного обліку про кількість чи фракції.

Особливі експлуатаційні події, такі, як несправність або технічне обслуговування агрегатів, машин, зондів і т.д., потрібно задокументувати. Це стосується також перелаштувань в операції очищення, наприклад, коригування налаштувань регулятора, увімкнення чи вимкнення рециркуляційних потоків.

#### 4.1.3 Рекомендації стосовно індивідуалізації робочого журналу

Як пояснювалося вище, робочі журнали повинні представляти експлуатаційний стан, щоб забезпечити цільовий аналіз експлуатаційних даних. На багатьох установках конфігурація системи в порівнянні з прикладом, показаним тут, набагато складніша. Робочий журнал не повинен мати таку ж складність у всіх зонах, як у існуючої системи.

Доречно, наприклад, вести документацію щоденного показника порівняльного обсягу мулу для кожної лінії обробки на очисній станції. Оскільки рівномірного розподілу стічних вод і зворотного мулу на лініях на практиці не буває, можуть виринати істотні відмінності між лініями обробки. На відміну від цього, не має сенсу проводити аналіз на вході кожної лінії обробки, так як розподіл по лініях не спричиняє жодних істотних змін в стічних водах.

Наступний приклад пов'язаний із системою автоматизованого регулювання. Для кожного циклу регулювання потрібно фіксувати добовий середній показник вимірювального елемента (наприклад, кисневий датчик) і пов'язаний із циклом регулювання цільовий показник (наприклад, цільова концентрацією кисню) у робочому журналі. При цьому, залежно від обладнання, для різних зон можуть бути наявні різні вимірювальні елементи або цільові значення

У кінцевому рахунку, кожна установка повинна знайти компроміс між обсягом і затратами збору даних, ступенем деталізації зібраних даних, що дозволило б зробити надійний аналіз робочого стану.

#### 4.1.4 Пояснення до зразка робочого журналу в Excel

У рамках даного звіту було розроблено зразок робочого журналу на основі Excel. Елементи можна знайти в Таблиця 6

Таблиця 6: зведення усіх важливих параметрів для робочого журналу очисної споруди

Групування	Параметри	Одиниця
Загальні дані	Дата	
	День тижня	
	Опади	мм

Погода	Погода	
	Температура повітря мін.	°С
	Температура повітря макс.	°С
Заг. притік стічних вод	Рівень води у водоймі	см
	рН-показник мін.	
	рН-показник макс.	
	Електропровідність	μS/см
	Температура стічних вод	°С
	Піковий стік	м <sup>3</sup> /год.
	Денний стік	м <sup>3</sup> /д
	Мінімальний стік при сухій погоді	м <sup>3</sup> /год.
	Вивезення грубих відходів з Решітки	т
	Вивезення піску	т
Притік стічних вод. Первинна очистка	Осаджувальні речовини	мл/л
	Фільтровані речовини	мг/л
	БПК5	мг/л
	ХПК	мг/л
	TKN Загальний нітроген за Кьельдалем	мг/л
	NH <sub>4</sub> -N	мг/л
	TP (заг. фосфор)	мг/л
	орО <sub>4</sub> -P	мг/л
Мул до первинної очистки	Кількість мулу	м <sup>3</sup> /д
	Концентрація твердих речовин	г/л
	Втрата при прожарюванні	%
Відведення мулу із первинної очистки	Кількість мулу	м <sup>3</sup> /д
	Концентрація твердих речовин	г/л
	Втрата від прожарювання	%
Мулова вода	Кількість мулової води	м <sup>3</sup> /д
	Концентрація твердих речовин	мг/л
	ХПК	мг/л
	NH <sub>4</sub> -N	мг/л
	TP (заг. фосфор)	мг/л
Притік / біологія	Осаджувальні речовини	мг/л
	Фільтровані речовини	мг/л
	БПК 5	мг/л
	ХПК	мг/л
	TKN Загальний нітроген за Кьельдалем	мг/л
	NH <sub>4</sub> -N	мг/л
	TP (заг. фосфор)	мг/л
орО <sub>4</sub> -P	мг/л	
Аеротенк	Концентрація твердих речовин	г/л
	Активний мул	
	Втрата від прожарювання	%
	Концентрація твердих речовин	г/л
	Зворотній мул	
	Відведення надлишкового мулу	м <sup>3</sup> /д

	Кількість зворотного мулу	м <sup>3</sup> /д
	Кількість рециркуляції	м <sup>3</sup> /д
	Порівняльний муловий обсяг	мл/л
	Муловий індекс	мл/г
	Вміст кисню мін.	мл/л
	Вміст кисню макс.	мг/л
	Задані параметри кисню	мг/л
	Температура	°С
На виході очисної споруди	Осаджувальні речовини на виході	мл/л
	Глибина видимості у вторинному відстійнику	см
	Середній рН - показник	
	Фільтровані речовини	мг/л
	БПК5	мг/л
	ХПК	мг/л
	NH 4 -N	мг/л
	NO3 -N	мг/л
	NO2 -N	мг/л
	оPO4-P	мг/л
	TP (заг. фосфор)	мг/л
Поступлення	Фекалії із вакуумного вантажного пристрою	м <sup>3</sup> /д
Обробка мулу	Рідкий мул для ущільнення	м <sup>3</sup> /д
	Концентрація твердих речовин	г/л
	Рідкий мул	
	Кількість ущільненого мулу	м <sup>3</sup> /д
	Концентрація тв. реч. Ущільнений мул	г/л
	Відведення мулу після зневоднення	т/д
Інша інформація	Добавляння полімерів	т/д
	Добавляння коагулянтів	т/д
	Енергоспоживання повітродувки	мВт г/д
	Інші потреби енергоспоживання	мВт г/д
Примітки та інші експлуатаційні моменти		

Цей перелік відображає ідеальний стан, який забезпечує докладне збалансування і моніторинг станції очистки стічних вод. Його безпосереднє застосування, звичайно, в нинішніх українських реаліях здійснити дуже складно. Проте, настійно рекомендується, щоб якомога більше з наведеного вище застосовувати і постійно працювати над покращенням ситуації щодо запису необхідних даних.

У зразку файлу збережено окремі таблиці для всіх місяців. Вписані показники автоматично об'єднуються в таблицю за весь рік. Це може стати основою для створення власних оцінок або



графічного представлення. Крім того, на цій основі легко можна здійснити подальші розширення.

## 4.2 ДОСЛІДЖЕННЯ, ПОВ'ЯЗАНІ ІЗ ФРАКЦІЯМИ

Для завантаження очисної станції важливе значення мають проведені через неї гідравлічні обсяги і фракції оброблених речовин. Не лише кількість стічних вод, але й їхні фракції впливають на споживання енергії очисної споруди.

Проектування очисних споруд в Німеччині здійснюється за параметрами забруднення, так як в кінцевому рахунку розмір аеротенку визначається продукуванням надлишкового мулу в поєднанні з обсягом седиментації. При цьому гідравлічне навантаження на установку відображається в параметрах вторинного відстійника, а на обсяг аеротенка впливає лише опосередковано.

Тому в Німеччині питоме відображення різних параметрів і характеристик навантаження здійснюється не на основі гідравлічного потоку через очисну станцію, а на основі питомого забруднення в розрахунку на мешканця, що переважно пов'язано із ХПК (див. Таблиця 2).

Було виявлено, що у зв'язку із поширеним в Україні іншим підходом щодо середнього гідравлічного навантаження, виникають проблеми порозуміння в комунікації. Цей короткий приклад моделювання має на меті це проілюструвати. Є два сценарії з однієї і тієї ж станції очистки стічних вод (вік мулу 15 днів, попередня обробка 2 години часу перебування, кількість підключеного населення 50.000). При цьому обидві системи розрізняються в гідравлічній швидкості подачі. У випадку А питома кількість стічних вод на мешканця становить 200 л / (Е \* d). Це спричиняє кількість подачі 10.000 м<sup>3</sup> / добу.

В іншому випадку В, по суті, менше сторонньої води і нижчий показник питомого споживання води населенням - тільки 125 л / (Е \* d), а на вході припустімо обсяг подачі аналогічно 10.000 м<sup>3</sup> / д. Це, однак, може бути спричинено 80.000 мешканців.

У третьому випадку С припустімо 50.000 мешканців із споживанням води 125 л / (Е \* d). Тоді загальна кількість подачі становитиме 6250 м<sup>3</sup> / д.

Тоннаж забруднення ХПК, азоту і фосфору у випадках А і С однаковий, оскільки кількість мешканців не змінилась, у той час як у випадку В він збільшується на 60%. Розрахунок маси забруднення на вході здійснюється з кількості населення і даних, наведених у Таблиця 2.

Станція очистки стічних вод працює з нітрифікації і попередньої денітрифікації, при чому повернення мулу відбувається при коефіцієнті зворотного потоку 1. Внутрішню рециркуляцію

налаштовано на 4-кратну кількість подачі. Подача генерується аналогічним чином, як і в прикладах в розділі 24 на основі добового циклу у доповненні зі змінним циклом, вкл. тижневі протоки і дощові води.

Таблиця 7: зведені результати моделювання сценаріїв стосовно маси забруднення

Концентрації на виході						
Прикла д	Мешканці	Притік [м <sup>3</sup> /д]	Амоніум	Нітрат	Подача повітря	Приклад
<b>A</b>	50.000	10.000	100%	100%	100%	<b>A</b>
<b>B</b>	80.000	10.000	117%	155%	<b>159%</b>	<b>B</b>
<b>C</b>	50.000	6.250	101%	147%	97%	<b>C</b>

Порівняння результатів кожного прикладу із прикладом А наведено в Таблиця 7. Хоча випадки А і В мають один і той же обсяг стічних вод на вході, вони сильно різняться споживанням енергії, напр., для повітрорудки, яка збільшується майже на 60%. Це не рідкість, що населені пункти можуть мати різні умови подачі стічних вод, як це показує аналіз німецьких очисних споруд.

Якщо провести лише єдине порівняння на основі обсягу очищених стічних вод і пов'язаного із цим споживання енергії, роботу експлуатаційника у випадку В можна було б оцінити негативно через його нібито високе питоме споживання енергії. Тому посилення на оброблений тоннаж забруднення є більш доцільним, адже у прикладі В було оброблено на 60% більше тоннажу забруднення. Крім того, якщо взяти до уваги, що у прикладі В було ще більше затрат при очищенні стічних вод задля досягнення тих же показників на виході, що і в прикладі А, то витрати з точки зору споживання енергії стають ще вищими, а оцінка установки - ще більш негативною.

Слід особливо зазначити, що порівняння очисних споруд принципово повинно проводитись на основі тоннажності забруднення. Тому очисні споруди Німеччини класифікуються відповідно до тоннажу забруднення на вході у так званому еквіваленті мешканців (EW), який визначається шляхом ділення тоннажу ХПК на вході на питому масу забруднення в розрахунку на мешканця на вході в розмірі 60 г ХПК (E\*d). Безпосереднє переведення на український спосіб підрахунку на основі кількості води не можливий. У рамках роботи над проектом було показано, що це призводить до непорозуміння і ускладнює комунікацію.

Звичайно, гідравлічна кількість обробки, також впливає на споживання енергії, як це можна побачити по різних рівнях накачування у прикладах А і С. Тому в Німеччині підведення енергетичного балансу проводиться більш детально. При цьому враховуються фактори впливу, пов'язані і з тоннажністю забруднення, і з обсягом.

Для оцінки ефективності використання енергії існує робочий лист DWA (Німецької асоціації водного господарства, стічних вод і відходів) 216 (2015). У цьому документі наводиться метод розрахунку, з допомогою якого обчислюється питоме споживання електроенергії для кожної очисної станції при теоретично ідеальних умовах. Цей показник пізніше порівнюється із фактичним споживанням, і відповідно до цього - вживаються заходи. Наприклад, якщо якась очисна установка має дуже несприятливий рельєф місцевості, і стічні води доводиться перекачувати на великі перепади висот, це береться до уваги, щоб у порівнянні зі схожою установкою, але із більш сприятливим розташуванням по висоті, не доводилось вдаватись до несправедливої негативної оцінки. Схожі підходи існують і в Україні (див розділ 41).

#### 4.3 ВСТАНОВЛЕННЯ ГРАНИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ СКИДАННЯ СТІЧНИХ ВОД ІЗ ВРАХУВАННЯМ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОСНОВ

За допомогою моделі можна перевірити, яку ефективність очищення матиме очисна станція із заданою конфігурацією резервуара і існуючим навантаженням забруднення при подачі. Таким чином можливо оцінити будь-яку існуючу очисну станцію. У випадку, якщо відсутні дані забруднення на вході, можна їх визначити через кількість підключень мешканців і показники, які відомі з досвіду.

Крім того, можна теоретично перевірити дані про потужність насосів в системі (наприклад, повернення шламу, рециркуляція) шляхом симуляції за допомогою моделі та теоретичних даних, визначення на основі цього відповідності потоків твердих речовин у реальності та у моделюванні. Якщо це не вдається, можна повторними тестуваннями виявити, який агрегат мав би мати іншу потужність, щоб забезпечити муловий баланс.

Це також стосується дотримання необхідного віку мулу для досягнення показників амонію і нітрату на виході. Довести це можна, коли при наявному об'ємі резервуара не вдається дотриматись потрібного віку мулу. Таким чином вдається безпосередньо виявити, чи очисна установка навіть за ідеальних умов аерації взагалі спроможна нітрифікувати і, відповідно, досягати граничних показників для амоніума.

#### 4.4 ВИЗНАЧЕННЯ ПИТОМОГО СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Розрахунок допустимого споживання енергії для української очисних споруд здійснюється відповідно до належних стандартів, які розділяють енергоспоживання повітродувки і подачі стічних вод. В принципі, це відповідає підходу, прийнятому в німецькій стандартизації (DWA A 216, 2015).

Витяг із:

МЕТОДИКИ розрахунку норм питомих витрат паливно-енергетичних ресурсів на підприємствах водопровідно-каналізаційного господарства

$$W_{\text{оч}} = (q_{\text{air}} \times Q_{\text{ст}} \times N \times K) / P, \text{ кВт} \cdot \text{год},,$$

де:  $q_{\text{air}}$

питомі витрати повітря для очищення стічних вод в аеротенках, куб.м/куб.м стічних вод (беруться за технологічним регламентом експлуатації аеротенків у межах 5,0 - 12,0 куб.м/куб.м);

Розрахунок потреби повітря і необхідної електричної енергії становить здійснюється через питому потребу повітря, що залежить від обсягу: 5-12 м<sup>3</sup> повітря / м<sup>3</sup> стічних вод. Такий підхід жодним чином не враховує фактично необхідну кількість повітря, яка в значній мірі залежить від місцевих або питомих характеристик. Таким чином, система аерації (тип елементів аерації, вік, умови установки) так само як і локальні властивості стічних вод (вміст солей або поверхнево-активних речовин) впливає на введення кисню такою ж мірою, як і необхідний вік мулу та тоннаж забруднення компонентами стічних вод, які потрібно окислити (див. приклад в розділі 38.) Настійно рекомендується переглянути існуючу практику розрахунку допустимого споживання енергії для того, щоб прийти до рішення, яке буде відповідати дійсним умовам очищення стічних вод. Динамічне моделювання очисних споруд може бути цінним інструментом для аргументування, а також для розгляду доцільних показників споживання електроенергії.

#### 4.5 ВРАХУВАННЯ ОБРОБКИ ТА УТИЛІЗАЦІЇ МУЛУ

Відповідно до актуальних даних в Україні майже немає комунальних очисних споруд з анаеробною стабілізацією мулу. Проте це мета багатьох керівників очисних споруд збудувати у найближчому майбутньому саме таку очисну споруду і експлуатувати її. Головні причини, які з цим пов'язані, це можливе покращення енергетичної ефективності і пов'язані з цим економічні переваги.

Окрім використання енергії біогазу, як інструменту рефінансування, в інших країнах та в Німеччині зменшення частки мулу – це важлива причина для спорудження та експлуатації установок для зброджування мулу. Завдяки зменшенню маси твердих речовин в діапазоні 30 % у такій ж мірі зменшуються витрати на утилізацію шламів очисних споруд.

На даний час цей аспект не відіграє в Україні жодної ролі, тому що, наскільки ми поінформовані, при загальному звичному тривалому зберіганні шламу очисних споруд на мулових майданчиках в околицях очисних споруд не припадає жодних витрат на утилізацію. Однак це також становить фінансову проблему, бо тоді амортизація інвестицій в зброджування може бути врахована тільки через отримання енергії і тому потрібно ставити багато довший час амортизації.

Як, наприклад, показано у розділі 29, анаеробну обробку мулу можна також інтегрувати в модель. Зміни, які виникають у результаті цього, для біологічного ступеню (шляхом зворотного навантаження технологічної води) і стосовно залишку мулу можна цим самим дуже добре кількісно оцінити і проаналізувати у загальному контексті.

#### 4.6 ПРИДАТНІ ВИПАДКИ ЗАСТОСУВАННЯ

Представлену у цьому звіті методику аналізу даних очисних споруд шляхом проведення динамічного моделювання можуть у найрізноманітніший спосіб застосовувати, як експлуатуючі організації, так і управлінські структури. У цьому розділі представлені деякі основні можливості або ж підсумовані повторно, оскільки в інших розділах даного звіту на них уже було звернено увагу.

##### **Переобладнання чи створення біологічного ступеню очистки:**

Багатьом очисним спорудам в Україні на даний час притаманний застарілий стан з будівельної і технічної точки зору. Також зрозуміло, що для проведення реконструкції чи для нового будівництва у розпорядженні будуть лише обмежені фінансові засоби. Тому слід дуже детально перевірити, які інвестиції зможуть принести найбільшу користь. З допомогою наявних на всіх очисних спорудах виробничих даних та з використанням описаної методики можливо внести в модель реальні умови та можливості актуального стану. Поетапно це потім можна розширювати чи міняти, щоб порівняти можливі варіанти переобладнання чи розширення.

У зв'язку з цим можна також перевірити, як можна реалізувати поетапне створення біологічного ступеню очистки. Так само в моделі можна аналізувати вплив на роботу різних неполадок (частини відстійника або агрегати відключені). А це все може бути предметом загального менеджменту на випадок аварій.

##### **Оптимізація експлуатації**

Після доведення очисної споруди до належного технічного стану, також і в щоденній роботі виникають різні питання, на які можна дати відповідь за допомогою моделювання. Для оптимізації експлуатації предметом детальних спостережень стають такі питання:

- покращення показників на виході з очисної споруди,
- зростання безпеки в експлуатації і
- зменшення енергоспоживання.

Ці цілі можна розглядати, як окремо, так і в загальному контексті.

### **Тренінги для обслуговуючого персоналу**

Окрім забезпечення технічного і будівельного покращення очисної споруди, також і обслуговуючий персонал повинен бути в стані належним чином та ефективно працювати з модернізованою спорудою. Так, на основі моделі можна перевірити, які зміни в експлуатації установки можуть привести до яких наслідків. Моделюючи неполадки, як наприклад, виведення елементів з експлуатації, модель можна використати, щоб розробити доцільні стратегії для швидкого регульованого переходу до нормального режиму роботи.

### **Інтеграція обробки мулу**

Як вже описано в розділах 19 і **Ошибка! Закладка не определена.**, модель дуже добре підходить для спостереження за впливом процесу зброджування у загальному комплексі очисної споруди. Досліджувати можна експлуатаційні параметри для роботи процесу зброджування, а також і можливості зростання ефективності.

### **Визначення доцільних з технологічної точки зору завдань**

Інструмент ZAK може знайти застосування не лише з боку експлуататорів очисних споруд, а також з боку адміністративної сторони. Наприклад, щоб в басейнах річок дотримуватись розумних граничних норм по скидах, на основі розрахунку в моделі можна перевірити, чого саме за актуально наявної виробничої потужності очисної споруди взагалі можна досягти і які потрібно здійснити розширення чи оновлення, щоб досягти бажаного стану. З цього також можна зробити висновок про можливість управління фінансовими заходами.

Одночасно результати можна використовувати для проведення консультацій і обговорень з іншими локальними водоканалами і в діалозі працювати над покращенням екологічної ситуації.

#### 4.7 ПЕРСПЕКТИВИ

Зібрана у даному звіті інформація повинна бути поштовхом і базою для ведення дискусій щодо інтеграції описаних технік і методів на практиці в Україні у сфері водовідведення і водопостачання. Протягом опрацювання виявилось, що не завжди можливе застосування методів у щоденній інженерній практиці через інші сфери завдань. Для моделювання також потрібно значною мірою заглибитись в технічні передумови. Тому було б доцільно з української сторони спільно поєднати досвід і застосування. Це може бути співпраця на рівні вищих навчальних закладів та кооперація з Українською асоціацією підприємств водопровідно-каналізаційного господарства «Укрводоканалекологія».

Укладачі звіту готові до співпраці на цих рівнях. Форма співпраці повинна б активно базуватись на позиціях і потребах української сторони.

## 5 ВИСНОВОК

Результати проекту ZAK.UA показують, що динамічне моделювання очисних споруд можливе і доцільне також і за складних рамкових умов в Україні. При цьому бажано поступово розширити базу даних розглянутих очисних споруд, щоб у майбутньому мати можливість проведення чіткого аналізу робочого стану споруди і детальної перевірки можливих сценаріїв. Моделювання дозволяє не лише оптимізацію наявних процесів і майбутніх плануваль, а й веде до прозорого управління роботи установки, що стосується технологічних можливостей очистки стічних вод. Тому метод ZAK і його результати підприємства водопровідно-каналізаційної галузі можуть використовувати перш за все, як засіб представлення технічних і економічних вимог до відповідної очистки стічних вод власному персоналу, а також державним управлінням, владі і громадськості.

Даний звіт дає огляд порядку дій для виконання аналізу очисних споруд шляхом тривалого спостереження за наявними даними методом балансування. Для цього створюють технологічну модель очисної споруди і з допомогою наявних даних підтверджують, що результати моделі значною мірою відповідають реальним вимірюваним величинам. Таким чином в моделі відображається актуальний стан очисної споруди. Ця модель становить основу для подальшого динамічного моделювання очисної споруди, щоб дослідити найрізноманітніші питання і

---

сценарії. При цьому рекомендації і приклади у звіті задумані, як стимули до власних спроб. Приклади створені за допомогою програмного забезпечення Simba#water () і за допомогою демо-версії їх можна самостійно перевірити.

У рамках звіту були окреслені можливості, які можуть допомогти експлуататорам очисних споруд оптимізувати роботу споруд, а також настановити на ідеї щодо розширення їхньої роботи. Окрім цього, описаний підхід дасть можливість управлінням вищого рангу з технологічної позиції оцінити, яким чином певні регуляторні заходи можуть впливати на роботу, витрати і не в останню чергу на показники на виході з очисної споруди.

Автори мають надію, що цей звіт буде подальшим кроком на шляху до сучасної інфраструктури водопровідно-каналізаційного господарства України. Автори дадуть охоче відповіді на питання стосовно загального порядку виконання робіт, а також на конкретні питання.



## 6 СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

Ahnert M., Alex J., Dürrenmatt D.J., Langergraber G., Hobus I., Schmuck S., Spring V. (2015). Dynamische Simulation als Bestandteil einer Kläranlagenbemessung nach DWA-A 131. KA Korrespondenz Abwasser, Abfall 62 (7) 615-624.

Alex J., Ahnert M., Dürrenmatt D.J., Langergraber G., Hobus I., Schmuck S., Spring V. (2015). Voraussetzungen für eine dynamische Simulation als Bestandteil einer Kläranlagenbemessung nach DWA-A 131. KA Korrespondenz Abwasser, Abfall 62 (5) 436-446.

DWA (2015). "DWA-Arbeitsblatt A 131: Bemessungen von einstufigen Belebungsanlagen." DWA, Hennef.

DWA (2015). "DWA-Arbeitsblatt A 216: Energiecheck und Energieanalyse – Instrumente zur Energieoptimierung von Abwasseranlagen." DWA, Hennef.

Gujer, W., Henze, M., Mino, T., van Loosdrecht, M. (1999). Activated Sludge Model No. 3. Water Science and Technology, 39(1), 183-193.

Henze, M., Gujer, W., Mino, T. and van Loosdrecht, M. (2000) Activated sludge models ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3. , IWA Scientific and Technical Report No.9, IWA Publishing, London, UK.

Rieger, L., Koch, G., Kuhni, M., Gujer, W. and Siegrist, H. (2001) The EAWAG Bio-P module for activated sludge model No. 3. Water Research 35(16), 3887-3903.