

УДК 502.175:628.3:664

ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ СТІЧНИХ ВОД ПІДПРИЄМСТВ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

**О.П. Мітрясова, проф., д.пед.н., Н.О. Богатель, магістрант,
Чорноморський державний університет імені Петра Могили, м. Миколаїв**

Анотація. Запропоновано використовувати у системі контролю за стічними водами підприємства новий інструмент – розрахунок концентрацій забруднюючих речовин шляхом складання матеріального балансу технологічного процесу виробництва, що дасть змогу прогнозувати якісний і кількісний склад стічних вод за обраний проміжок часу та зменшити вплив на навколишнє середовище.

Ключові слова: стічні води, забруднюючі речовини, матеріальний баланс, контроль, управління, підприємства харчової промисловості.

ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ СТОЧНЫХ ВОД ПРЕДПРИЯТИЙ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

**Е.П. Митрясова, проф., д.пед.н., Н.А. Богатель, магистрант,
Черноморский государственный университет имени Петра Могилы, г. Николаев**

Аннотация. Предложено использовать в системе контроля за сточными водами предприятия новый инструмент – расчет концентраций загрязняющих веществ путем составления материального баланса технологического процесса производства, что позволит прогнозировать качественный и количественный состав сточных вод за выбранный промежуток времени и уменьшить воздействие на окружающую среду.

Ключевые слова: сточные воды, загрязняющие вещества, материальный баланс, контроль, управление, предприятия пищевой промышленности.

ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF INCLUDING HEAVY METALS INTO THE PRODUCTS OF TECHNOGENESIS

**E. Mitryasova, Prof., D. Sc. (Ped.), N. Bohatel, M. S.,
Petro Mohyla Black Sea State University Mykolaiv**

Abstract. It is suggested to use a new tool in the sewage water control system of enterprise – estimation of pollutants concentration by compiling the material balance of the production process, to be enable to predict the qualitative and quantitative composition of wastewater within a particular period of time and reduce the impact on the environment.

Key words: wastewater, pollutant, mass balance, control, management, food processing companies.

Вступ

Основним джерелом забруднення поверхневих водних об'єктів є стічні води підприємств. Тому дослідження їх впливу є актуальною задачею.

Аналіз публікацій

Питання екологічної безпеки підприємств харчової промисловості, а саме аспекти якіс-

ного складу стічних вод подано в публікаціях [1–4] та ін. Нині контроль за стічними водами має лише констатуючий характер, тому актуальності набуває удосконалення системи контролю за стічними водами на кожному етапі технологічного процесу з урахуванням правил приймання стічних вод та охорони поверхневих водних об'єктів [5–7]. Система контролю за стічними водами підприємства полягає у складанні матеріального балансу технологічного процесу, визначенні основ-

них забруднюючих речовин, на основі чого проводиться розрахунок мас та концентрацій останніх у стічних водах за певний період. Подібна система дає змогу визначити повну характеристсику впливу підприємства на навколишнє середовище, зокрема на водні ресурси, знати, який внесок має кожний процес на підприємстві у загальне забруднення стічних вод, на основі чого можна приймати рішення щодо, удосконалення певних технологічних процесів виробництва.

Система допомагає визначити концентрації тих речовин у стічних водах, які не визначаються за допомогою інструментальних методів. Повна заміна лабораторного контролю за стічними водами не є метою пропонованої системи, вона може значно доповнити його результати, адже разові проби стічних вод не завжди є показовими.

Мета та постановка завдання

Дослідженням є модернізація системи контролю за стічними водами підприємств харчової промисловості на основі розрахунку масового балансу речовин.

Для досягнення мети розв'язувались такі завдання:

- аналіз технологічного процесу підприємства, складання схеми утворення стічних вод;
- розрахунок концентрацій забруднюючих речовин у стічних водах підприємства на визначений період;
- розробка пропозицій щодо оптимізації системи контролю за стічними водами.

Запропонована система може використовуватися на будь-якому підприємстві харчової промисловості, проте приклад подаємо для Миколаївського відділення ПАТ «Сан ІнБев Україна», який і став об'єктом дослідження. Предметом дослідження є процес утворення стічних вод означено підприємства.

Реалізація завдань потребувала використання загальнонаукових методів: аналіз, синтез, систематизація та узагальнення у процесі вивчення відповідної літератури з теми дослідження; моделювання, формалізація, порівняння – при складанні схеми розрахунку концентрацій забруднюючих речовин у стічних водах; спостереження – у процесі вивчення технологічної схеми виробництва; а

також методи математичної обробки даних у програмі MS Excel.

Практичні заходи оптимізації контролю стічних вод підприємств харчової промисловості

Сучасна система контролю за стічними водами підприємства в Україні полягає у періодичному відборі проб, проведенні лабораторного аналізу їх складу та інформуванні підприємства про проведені дослідження (рис. 1).

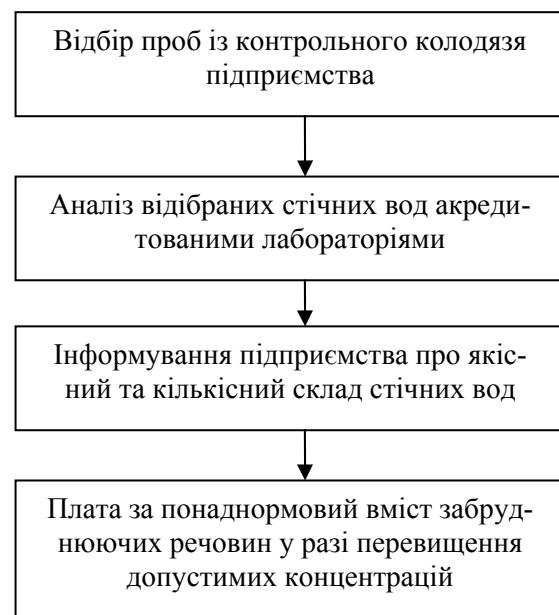


Рис. 1. Існуюча система контролю за стічними водами в Україні

Однак перспектива збалансованого розвитку можлива тоді, коли проводиться не просте вимірювання складу стічних вод, а відбувається контролювання їх складу на кожному етапі виробництва. Така система дає змогу краще представити вплив підприємства на навколишнє середовище, оцінити внесок кожного підрозділу у загальний вплив, контролювати процес утворення стічних вод та управляти виробництвом з метою зменшення впливу на довкілля. На підприємстві з'являється змога прогнозування якісного і кількісного складу стічних вод на будь-який проміжок часу по всіх підрозділах підприємства, що є суттєвим доповненням до лабораторних методів аналізу, які не завжди є показовими, потребують часу, можуть визначити не всі присутні речовини. За умов функціонування очисних споруд біологічного типу, які надзвичайно вимогливі до складу стічних вод, такий контроль набуває особливої важливості.

Аналіз технологічного процесу виробництва пива на Миколаївському відділенні ПАТ «САН ІнБев Україна» показав такі основні точки утворення стічних вод:

1. Приймання ячменю та солоду: використання хімічних речовин та скидання промислових стічних вод не здійснюється.

2. Подрібнення ячменю: використання хімічних речовин та скидання промислових стічних вод не здійснюється.

3. Приготування води для виробництва пива: використовуються хімічні речовини для приведення води до відповідної якості.

4. Одержання пивного сусла складається з таких етапів:

– затирання – екстрагування розчинних речовин солоду та несолодженої сировини і перетворення під дією ферментів нерозчинних речовин у розчинні з подальшим введенням їх у розчин;

– фільтрація — відділення пивного сусла від дробини [4]. Отримують сусло і нерозчинні у воді речовини — дробину;

– кип'ятіння сусла з хмелем. Сусло надходить до суслотварного апарата, куди додають хміль і кип'ятять. Під час варіння сусла відбувається його стерилізація, інактивація ферментів, в суслі розчиняються гіркі речовини хмелю, коагулюють білкові речовини [1];

– відділення від хмелю і охолодження [4]. На цьому етапі використовується спеціально підготовлена вода, вода для підігрівання, вода для промивання ємностей і відповідні мийні засоби. Відповідно утворюються стічні води, які містять органічні забруднення.

5. Зброджування сусла відбувається під впливом дріжджів, які живляться цукрами в суслі. У пивоварінні використовують спеціальні раси культурних дріжджів, які зброджують сусло з утворенням спирту і вуглекислого газу [2]. Бродіння проходить у два етапи:

– головне бродіння, яке характеризується інтенсивністю процесу і зброджуванням більшої частини цукрів (мальтози, глюкози, фруктози та інших);

– доброджування, коли молоде пиво охолоджують для кращого осадження дріжджів, під час якого накопичується вуглекислий газ, пиво освітлюється.

На сучасних пивоварних підприємствах бродіння і доброджування пивного сусла про-

дять у закритих циліндро-конічних бродильних апаратах. На відміну від класичної схеми, тут приготування пива відбувається за анаеробних умов. Процес безперервний, економічно вигідніший, оскільки бродіння триває 6 діб, а доброджування – 11–12 діб і менше [1]. На цьому етапі використовується вода для охолодження, вода для промивання ємностей і відповідні мийні засоби. Відповідно утворюються стічні, які містять органічні забруднення, зокрема частки дріжджів, дробини, пива і розчинені компоненти мийних засобів.

6. Готове пиво фільтрують на кізельгурових фільтрах. Для пива, яке розливають у бочки, використовують сепарування:

– якщо в пиві недостатня кількість вуглекислого газу, його додатково перед розливом насичують останнім (карбонізують);

– для підвищення стійкості пива при зберіганні його пастеризують (найчастіше – в скляних пляшках). На цьому етапі використовується вода та засоби для миття, утворюються стічні води, що містять компоненти використаних засобів та органічне забруднення [2].

7. Підготовка тари і розлив пива: вода для миття тари із використанням агресивних мийних речовин. У стічні води потрапляють стічні води, насичені різними агресивними речовинами, із залишками етикеток, скла тощо.

8. Відділення контролю якості пива: тут використовується ряд хімічних речовин, які необхідні для визначення показників якості готового продукту, сусла, солоду, води тощо. У стічні води потрапляють незначні забруднення дуже низької концентрації.

9. Відділення логістики: неякісне пиво зливається у каналізацію, що означає високе органічне забруднення.

10. Допоміжні виробництва: вода також використовується на господарсько-побутові потреби.

Проведений аналіз дає змогу визначити основні підрозділи, що забруднюють стічні води: відділення пивоваріння, в т.ч. фільтрації, пакування та логістики. Тому необхідно вивчати, які засоби використовуються у даних підрозділах, і які забруднюючі речовини потрапляють до складу стічних вод.

Так, відділення пивоваріння використовує ряд хімічних речовин та засобів. На етапі варіння пива: розчин нітратної кислоти HNO_3 ; розчин ортофосфатної кислоти H_3PO_4 ; розчин натрій гідроксиду NaOH ; P3-stabicip OXI; P3-topactive 200; на етапі бродіння та фільтрації пива: розчин нітратної кислоти HNO_3 ; розчин натрій гідроксиду NaOH ; P3-oxonia active 150; P3-topax 66; P3-oxonia; P3-trimeta DUO; хлорантоїн; P3-anseп CIP. Означені речовини потрапляють у стічні води разом із органічним забрудненням: частки відпрацьованих дріжджів; втрати екстракту; втрати пива; частки кізельгуру; часки дробини.

Відділ пакування продукції використовує такі засоби та речовини: розчин ортофосфатної кислоти H_3PO_4 ; розчин нітратної кислоти HNO_3 ; розчин натрій гідроксиду NaOH ; P3-oxonia active; P3-topax686; P3-topax 56; P3-stabilon WT; P3-oxonia; P3-stabilon plus; P3-topactive 200; P3-topactive DES; DryExx; P3-polix XT; P3-lubodrive; P3-oxonia active 150; P3-anseп CIP. Відділення логістики проводить регулярні зливи некондиційної продукції. При цьому до уваги не беремо ті речовини, якими користуються в лабораторії контролю якості продукції, оскільки вони використовуються в незначних кількостях, концентрація їх у стічних водах мала, а в процесі хімічної реакції вони перетворюються на інші речовини. Те саме стосується і відділу підготовки води.

За даними підприємства про ті засоби, які використовуються, було вивчено їх хімічний склад за допомогою паспортів безпечності хімічної продукції. Так, наприклад, засіб для миття P3-topax56 характеризується таким складом: H_3PO_4 – 25–30%, 2-(2-бутоксиетокси) етанол – 2–5%, НПАР (алкіламіноксиди) – 2–5%, P – 9,6%, N – 0,18%, ХСК – 170 мг O_2 /г. Аналогічні дані отримуємо по всіх засобах; для розрахунку обираємо усереднені значення вмісту кожної речовини.

Для модернізації контролю за складом стічних вод складено технологічну схему виробництва із зображенням основних етапів, детально розглянувши утворення стічних вод (рис. 2). На виході стічні води будуть насичені тими речовинами, які використовувалися на підприємстві в конкретний проміжок часу. Окрім того, з відділення пивоваріння у стічні води потрапляють залишки пива, дріжджів, кізельгуру, дробини та екстракту, їх

склад може дещо відрізнятись, однак, для розрахунку використовуємо усереднений їх склад, приведений до вмісту Нітрогену, Фосфору та ХСК.

Аналізуючи склад засобів, що використовуються на підприємстві, склад органічних забруднень, а також Правила приймання стічних вод у комунальну каналізацію [6, 7], для того, щоб контролювати склад стічних вод, обираємо такі показники:

– ХСК – цей показник наведено для усіх засобів, що використовуються, а також для органічних забруднень. Він є інтегральним і найінформативнішим показником забруднення вод підприємствами саме харчової промисловості [3];

– фосфати входять до складу деяких засобів;

– ПАР входять до складу деяких засобів;

– вміст нітрогену розраховуємо за нітратною формою, оскільки до складу деяких засобів входить нітратна кислота. Нітроген в амонійній і нітритній формі, що регламентуються Правилами, саме у сполуках не міститься, але він є у складі органічних речовин, і потім може переходити в амонійну, нітратну і нітритну форми. На підставі цього враховуємо загальний вміст Нітрогену.

Контроль за якісним складом стічних вод підприємства складено за таким алгоритмом:

1) Визначення маси забруднюючої речовини за формулою:

$$m_{3P} = w \cdot m_3 = \frac{M_{3P/c}}{M_c} \cdot w_{c/3} \cdot m_3, \text{ г} \quad (1)$$

де $M_{3P/c}$ – молярна маса забруднюючої речовини у сполуці, г/моль, M_c – молярна маса сполуки, г/моль, $w_{c/3}$ – масова частка сполуки, що містить забруднюючу речовину, у засобі, m_3 – маса засобу, що використовується, г.

2) Визначаємо сумарну масу конкретної забруднюючої речовини по відділеннях та загальною по усьому підприємству за формулою

$$\Sigma m_{3P} = \Sigma m_{3P_1} + \Sigma m_{3P_2} + \Sigma m_{3P_3} \quad (2)$$

де Σm_{3P_1} , Σm_{3P_2} , Σm_{3P_3} – загальна маса конкретної забруднюючої речовини для певного відділення, що складається з маси забруднюючої речовини у кожному засобі при пакуванні, пивоварінні у технологічному циклі.

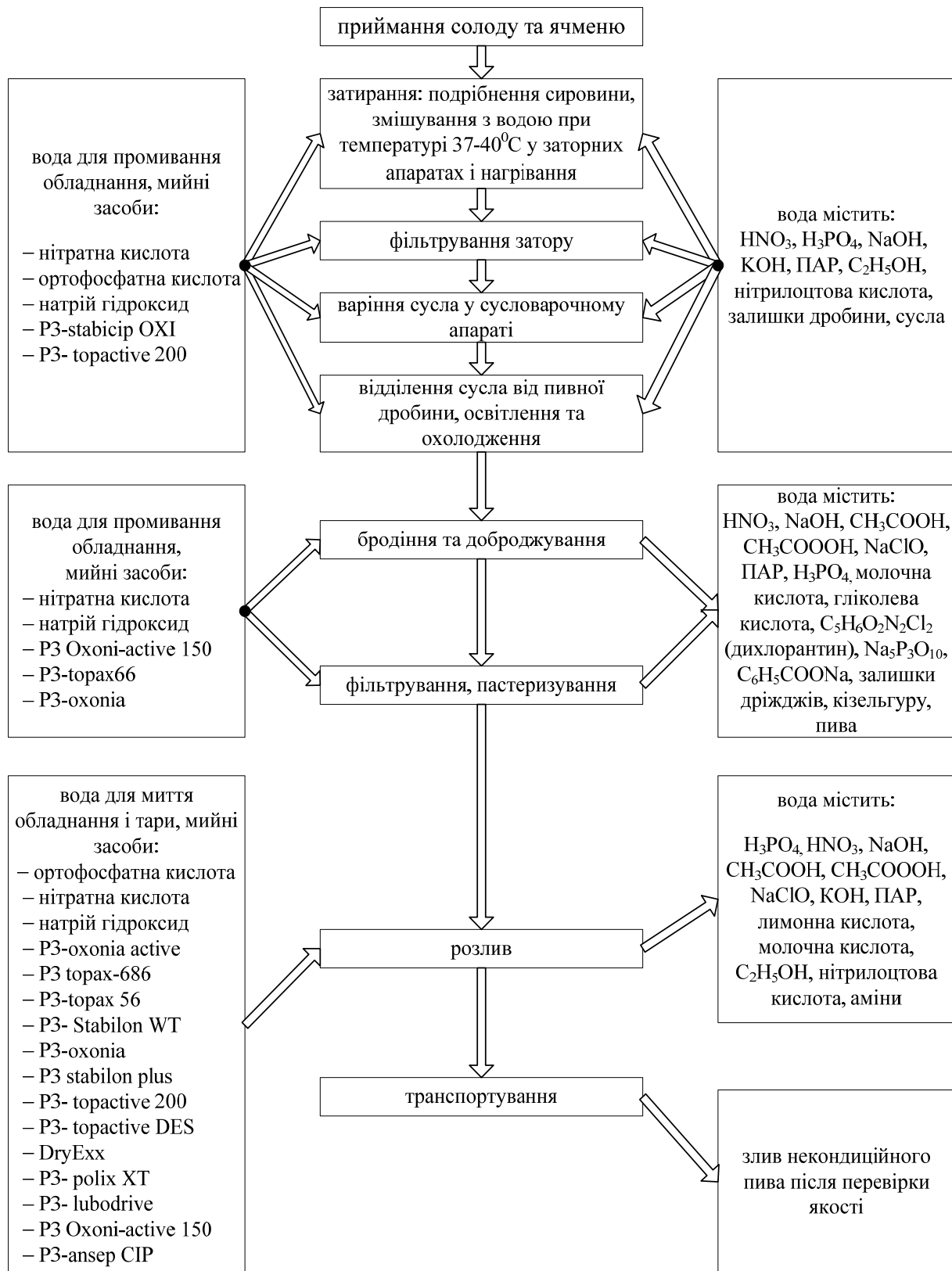


Рис. 2. Схема утворення стічних вод Миколаївського відділення ПАТ «САН ІнБев Україна»

3) Визначаємо концентрацію забруднюючої речовини

$$c(ЗР) = \frac{\sum m(ЗР) \cdot 1000}{V(CB)}, \text{г/м}^3 \quad (3)$$

де $\sum m(ЗР)$ – сумарна маса забруднюючих речовин по всім сполукам, кг; $V(CB)$ – об'єм стічних вод за певний проміжок часу, м³.

Приклад розрахунку концентрації фосфатів (об'єм стічних вод 14779 м³)

$$c(PO_4^{3-}) = \frac{482,97 \text{ кг} \cdot 1000}{14779 \text{ м}^3} = 32,67 \text{ г/м}^3$$

Показник ХСК нормується у г О₂/м³, а для речовин наводиться у мг О₂/г, тому для приведення до однієї розмірності користуємося такою формулою

$$ХСК_{заг} = \frac{\sum ХСК(ЗР)}{V(CB) \cdot 1000}, \text{г О}_2 / \text{м}^3 \quad (4)$$

$$ХСК_{заг} = \frac{4305448520}{14779 \cdot 1000} = 2913,22, \text{г О}_2 / \text{м}^3$$

Аналогічно розрахунок проводиться для нітратів, загального нітрогену і ПАР.

4) Для того, щоб прогнозувати рівень забруднення і приймати відповідні рішення, для кожної речовини визначаємо плановий обсяг її використання, а також можемо порівняти планову норму використання із її реальним обсягом. Такий інструмент дає змогу швидко знайти основні джерела забруднення, ті відділення, які перевищують норми використання і вжити заходів щодо оперативного реагування для зменшення впливу на довкілля.

Визначаємо не лише фактичний обсяг використання засобів, а і запланований. Для визначення планової маси використання певного засобу використовуємо формулу

$$m_{пл.} = норма \cdot V_{план.пр.} \quad (5)$$

де *норма* – норма використання конкретного засобу, кг/гЛ; $V_{план.пр.}$ – об'єм продукту, що заплановано випустити, гЛ.

5) Для прогнозування концентрації забруднюючих речовин у стічних водах, можна проводити подібний розрахунок за планови-

ми обсягами продукції. Розрахунок проводиться аналогічно вище зазначеному.

6) Одержання узагальнених даних, де зазначено масу забруднюючих речовин по відділеннях, їх загальну масу та концентрацію. Одночасно її можна порівняти з наведеними значеннями допустимих концентрацій. Оскільки розрахунок проводиться за допомогою пакету MS Office, то запропоновану форму розрахунку можна використовувати для будь-якого періоду. Фактично це програма із примітками, набором формул є інструментом для контролю за складом стічних вод.

Для того щоб показати дієвість подібного розрахунку демонструємо отримані дані у вигляді графіку. На рис. 3 наведено розрахункове ХСК для обраного періоду із зазначенням об'єму продукції. Такий розрахунок необхідний, щоб здійснювати контроль відповідності допустимим концентраціям, щоб не орієнтуватися на разові аналізи, які часто бувають неточними, для прийняття рішень і внесення змін до технологічних процесів, для адаптації технологічного процесу виробництва до нових вимог, для кращого представлення загальної картини діяльності підприємства.

З метою оптимальної роботи очисних споруд встановлюються обмеження за органічним навантаженням. Так, максимальне щодобове навантаження становить 14 000 кг ХПК/добу для очисних споруд досліджуваного підприємства. Враховуючи об'єм анаеробного реактора, визначається і обмеження на одиницю об'єму стічних вод – 8,64 кг ХПК/м³. Цей показник також можна заздалегідь розрахувати. У розрахунку маємо дані про концентрацію ХСК у г/м³.

Виходячи з вище сказаного

$$\text{Навантаж. ХСК} = \frac{c \cdot ХСК}{1000}, \text{кг/м}^3 \quad (6)$$

де ХСК – ХСК конкретних стічних вод, що надходять на очищення, г/м³; 1000 – коефіцієнт переведення г в кг.

Запропонована система розрахунку концентрацій забруднюючих речовин є додатковим ефективним інструментом контролю за стічними водами підприємства, дає змогу виявляти ті процеси, що здійснюють найбільше забруднення.

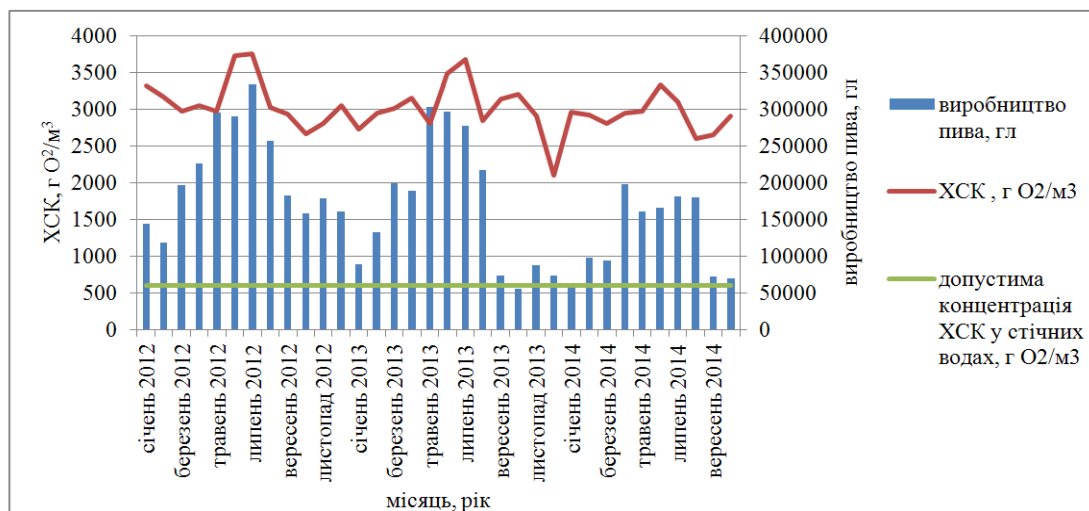


Рис. 3. Розрахункове ХСК стічних вод за певний період

Схематично таку систему подано на рис. 4.

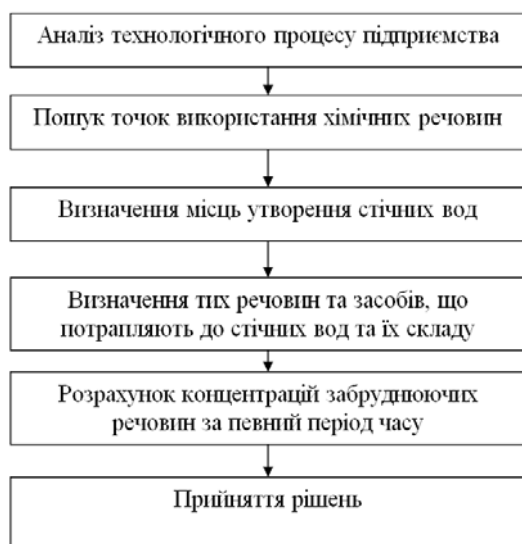


Рис. 4. Система контролю утворення стічних вод підприємства

Отже, схема наведена на рис. 4, дозволяє вчасно приймати рішення щодо зменшення впливу на навколишнє середовище шляхом зміни або вдосконалення виробничого процесу, заміни деяких засобів, оперативного реагування очисних споруд на забрудненні стічні води.

Висновки

Основною проблемою підприємств харчової, зокрема пивоварної промисловості є споживання великої кількості води і утворення забруднених різними сполуками стічних вод.

До останніх потрапляють органічні рештки: дробина, кізельгур, дріжджі, залишки пива тощо, а також компоненти тих засобів, що використовуються на підприємстві під час технологічних.

Нині система контролю за стічними водами підприємств має констатуючий характер; досліджуються разові проби на виході з підприємства з періодичністю раз на тиждень, що є не зовсім коректною підставою у плані прийняття рішень. Впровадження системи контролю за стічними водами виробництва шляхом розрахунку концентрацій забруднюючих речовин виконує низку функцій:

- ілюстративну, оскільки демонструє всі технологічні процеси виробництва і надає повну характеристику загального впливу підприємства на навколишнє середовище;

- контролюючу, оскільки розрахунок показує, на якому етапі технологічного процесу утворюються найбільша кількість стічних вод, який підрозділ підприємства є найбільшим забруднювачем; у результаті отримуємо відомості у реальному часі, а не разові концентрації забруднюючих речовин;

- прогнозуючу: за даними про норми використання засобів і про заплановану кількість продукції можливо прогнозування якісного і кількісного складу стічних вод на виході з кожного відділення і з підприємства загалом;

- управлінську, адже на підставі аналізу одержаних даних про ті процеси, що здійснюють найбільший внесок у забруднення, можна

приймати оперативні рішення щодо зменшення впливу на навколишнє середовище;

– інформативну: надаються дані про концентрації речовин, зокрема тих, що не контролюються лабораторними методами.

Для перевірки ефективності запропонованої системи контролю проведено визначення якісного і кількісного складу стічних вод Миколаївського відділення ПАТ «САН ІнБев Україна» за такими показниками: ХСК, нітрати, загальний Нітроген, фосфати, ПАР. Запропонована система не має за мету замінити лабораторний інструментальний аналіз скидів, а є додатковим ефективним інструментом контролю за стічними водами підприємства, який може бути використано для будь-якого іншого виробництва.

За умов функціонування локальних очисних споруд біологічного типу постає необхідність точного контролю якісного і кількісного складу стічних вод, що надходять на очищення, тому наведена систему контролю адаптовано для щодобових оперативних розрахунків концентрацій забруднюючих речовин у стічних водах. Це дає змогу приймати оперативні рішення щодо управління скидами та значно зменшує навантаження на навколишнє середовище.

Література

1. Колотило Д.М. Технологічні процеси галузей промисловості / Д.М. Колотило, А.Т. Соколовський, С.В. Гарбуз та ін. – К.: КНЕУ, 2003. – 380 с.
2. Кунце В. Технология солода и пива. Перев. с нем. / В. Кунце. – С.Пб.: Профессия, 2001. – 912 с.
3. Муравьев А.Г. Руководство по определению показателей качества воды полевыми методами / А. Г. Муравьев. – С.Пб.: Крисмас+, 2004. – 152 с.
4. Ковалевская Л.П. Общая технология пищевых производств / Л.П. Ковалевская. – М.: Колос, 1993. – 384 с.
5. Водний кодекс України : станом на 26 квіт. 2014 р. / Верховна Рада України. – К. : Відомості Верховної Ради України, від 13 черв. 1995 р., № 24, ст. 189.
6. Постанова «Правила охорони поверхневих вод від забруднення зворотними водами» : станом на 30 жовт. 2013 р. / КМУ. – Офіц. Вістн. України, від 16 квітня 1999 р., № 13, стор. 34.
7. Правила приймання стічних вод у комунальну каналізацію м. Миколаєва. – Миколаїв: Миколаївська міська рада. Виконавчий комітет, 2003. – 29 с.

Рецензент: Н.В. Внукова, професор, к.геогр.н., ХНАДУ.

Стаття надійшла до редакції 27 серпня 2015 р.