

## ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ АЕРАЦІЇ НА ПРИРІСТ АКТИВНОГО МУЛУ ПРИ БІОХІМІЧНІЙ ОЧИСТЦІ СТІЧНИХ ВОД НА ГІРНИЧОМУ ПІДПРИЄМСТВІ

*Н. Ю. Познанська, асп., І. В. Рудюк, магістр (НТУУ “КПІ”)*

*Рассмотрены основные загрязнители сточных вод горной промышленности и методы их очистки. Исследован биоценоз активного ила в биологических сооружениях, определено влияние основных внешних параметров среды на прирост активного ила. Разработана математическая модель прироста активного ила в сооружениях биологической очистки сточных вод, выражающая зависимость коэффициента прироста активного ила от основных технологических параметров аэротенка.*

У результаті діяльності гірничодобувних та переробних підприємств утворюються виробничо-технологічні, господарсько-побутові стічні води. Склад і властивості цих вод залежать в основному від продукції, що випускається, і прийнятих технологічних процесів. У середньому в гірничій галузі на власні потреби використовується до 26 млн м<sup>3</sup>/р води, яка в подальшому потребує очистки [1].

Витрата промислових стічних вод на гірничому підприємстві значною мірою залежить від класу збагаченої породи і ступеня її збагачення. Так, витрата води в середньому по гірничій галузі складає при збагаченні породи 0,34 м<sup>3</sup>/т.

Об'єм господарсько-побутових стічних вод на шахтах, кар'єрах і збагачувальних фабриках коливається, залежно від числа працюючих, в межах 50–700 м<sup>3</sup>/добу. Величина стоку від окремих об'єктів змінюється в таких межах: санвузли – 15...22 %, душові – 50...69 %, їдальні – 5...12 %, пральні – 8...20 %, котельні – 0,5...25 % [2].

Основними забруднюючими речовинами стічних вод гірничої промисловості є мінеральні речовини у вигляді частинок ґрунту, піску та розчинених солей, а також органічні речовини у вигляді залишків харчових продуктів, паперу, мила, синтетичних миючих засобів, фізіологічних виділень людей тощо. Вміст завислих речовин у побутових стічних водах також змінюється в широких межах – від 40 до 700 мг/л і більше. Біохімічне споживання кисню (БСК<sub>повн</sub>) становить 25...200 мг/л, а згідно з [3] БСК<sub>повн</sub> не повинно перевищувати 30 мг/л. Хімічне споживання кисню (ХСК) господарсько-побутових стічних вод становить 250 мг/л і більше, що значно перевищує норму (25 мг/л) [3]. Спостерігається досить високий ступінь забруднення стічних вод нафтопродуктами і фенолами (1...5 і 0,1...0,2 мг/л), а також важкими металами. Вміст хлоридів, сульфатів і нітратів не перевищує допустимих норм і становить відповідно 28, 6,5 і 0,6...2,5 мг/л. Відзначається також значне бактеріальне забруднення побутових стічних вод.

При очистці стічних вод гірничого виробництва використовується багато методів: механічні, хімічні, біологічні, фізико-хімічні, а також різні технологічні схеми.

Найефективнішим методом очищення стічних вод гірничого виробництва від розчинених колоїдних і тонкодисперсних органічних забруднень є їх біохімічне окиснення в природних умовах (грунт, ставки) або в спорудах (біофільтри, аерофільтри, аеротенки). Окиснення здійснюється активним мулом, який являє собою складний біоценоз різних організмів, здатних пристосовуватись до певних умов існування – температури, реакції середовища, концентрації та складу забруднювачів [4].

При виборі споруд для біологічного очищення виробничих стічних вод слід враховувати витрату стоків і концентрацію забруднень. Для біологічної очистки стоків застосовуються біологічні ставки зі штучною аерацією. Вони являють собою послідовно працюючі проточні водойми глибиною 3...4 м з співвідношенням ширини і довжини не менш ніж 1:2. Температура стоків, що очищаються, повинна бути не меншою, ніж 6 °C [5].

Для біологічного очищення значних об'ємів виробничих та господарсько-побутових стічних вод найчастіше застосовуються аеротенки, які дозволяють успішно вести процес при надходженні стоків нестабільного складу. Очищення в аеротенку здійснюється при аерації суміші стічної води і активного мулу, що протікає через нього. Активний мул являє собою біоценоз мікроорганізмів-мінералізаторів. Суміш стічної води і мулу (мулова суміш) аерується протягом 6...12 годин, після чого спрямовується у вторинні відстійники, де мул осаджується і повертається в аеротенк. Надлишковий мул, що утворюється в результаті розмноження мікроорганізмів, виводиться із системи.

На сьогодні утилізація надлишкового активного мулу є великою проблемою, оскільки через вміст у ньому фосфатів і важких металів його неможливо використовувати як добрива чи кормові добавки. Надлишковий активний мул накопичується на мулових полях, що потребує значної території. Гниття мулу призводить до забруднення атмосферного повітря, а інфільтрація води, яка міститься в біомасі – до забруднення підземних вод.

Проблему надлишкового активного мулу можна розв'язати регулюванням приросту активного мулу, його седиментаційних і фізико-хімічних властивостей шляхом керованої зміни технологічних параметрів проведення процесу біологічного очищення стічних вод в аеротенках.

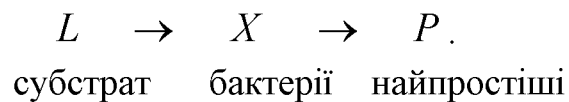
Складність цієї задачі визначається її багатофакторністю, оскільки приріст біомаси залежить від хімічної природи забруднень, виду і віку мікроорганізмів, вмісту в стічній воді кисню, концентрації фосфору та азоту, від температури стічної води і т.д.

Процес біохімічного окиснення може бути розділений на процеси сорбції та окиснення сорбованої речовини, які супроводжуються відновленням сорбційної властивості мікрофлори. В першу чергу розглянемо біологічні процеси росту мікроорганізмів і весь цикл їх життя – від зародження до відводу надлишкового мулу на мулові поля.

Біоценоз активного мулу в основному представлений дванадцятьма видами мікроорганізмів і найпростіших. По екологічним групам мікроорганізми діляться на аеробів і анаеробів, термофілів і мезофілів, галофілів і галофобів. В активному мулі в певних співвідношеннях містяться всі названі групи бактерій, але в залежності від складу стічних вод переважає одна з груп, а решта є супутніми. Тільки основна група бактерій бере участь у процесі очищення стічних вод, а відповідні групи мікробів підготовлюють середовище для існування мікроорганізмів цієї основної групи, забезпечуючи її живильною і ростовою речовиною і утилізуючи продукти окиснення. Біомаса основної фізіологічної групи бактерій, що ведуть процес окиснення, складає в мулах 80...90 %, а решта – біомаса супутніх бактерій і інших організмів [4, 6].

Особливий інтерес становить формування біоценозу активного мулу, оскільки саме від його видового складу залежать такі характеристики мулу, як активність і здатність до відстоювання. При утворенні активного мулу спочатку з'являються бактерії, потім найпростіші. Бактерії виділяють речовини, що стимулюють розмноження найпростіших.

Харчовий ланцюг формування біоценозу активного мулу виглядає так:



Бактерії відрізняються надзвичайно лабільним обміном і їм належить головна роль у процесі видалення з стічної води розчинених органічних речовин. Вони краще, ніж інші мікроорганізми, пристосовуються до несприятливих навколишніх умов і адаптуються до нових джерел харчування, більш стійкі до дії отруйних речовин. Витягаючи і перетворюючи токсичні сполуки, бактерії звільняють від них стічну воду і роблять її більш придатною для життя інших організмів, а перетворюючи розчинену органічну речовину в речовину свого тіла, бактерії роблять його доступним організмам, нездатним до засвоєння розчинених речовин.

Роль найпростіших полягає перш за все в тому, що вони харчуються бактеріями та завислими речовинами, а також сприяють освітленню води, регулюють кількість бактерій і є індикаторами очистки води.

Дослідження з різними видами стічних вод показали, що величину питомого приросту активного мулу в аеротенках можна регулювати в досить широких межах. Основними параметрами процесу біологічної очистки стічних вод, які впливають на приріст активного мулу, є температура стічних вод, рН, маса активного мулу в системі очисних споруд, навантаження на мул, вік активного мулу, концентрація завислих речовин, зольність активного мулу, концентрація розчиненого кисню [7–9].

Параметри, що визначають умови існування мікроорганізмів, можна розділити на регульовані і нерегульовані. До регульованих параметрів належать: навантаження на активний мул (кількість забруднень у міліграмах по БСК на 1 м беззольної речовини мулу на добу), кисневий режим, період аерації, вік мулу (відношення маси беззольної речовини активного мулу в системі до такої

ж маси надлишкового мулу, виведеного з системи за добу) тощо. Температурний режим, сезонність належать до нерегульованих параметрів, негативний вплив яких ліквідується оперативними засобами (зміною співвідношення об'ємів аеротенка та регенератора, віку мулу, кисневого режиму) [10, 11].

Коефіцієнт приросту  $Y$  за своїм фізичним змістом виражає приріст активного мулу в системі, віднесений до одиниці перероблених органічних забруднень по БСК<sub>5</sub>, за винятком завислих речовин, що надходять. Цей коефіцієнт широко використовується у практиці біологічної очистки стічних вод і є основним параметром при розрахунку кількості надлишкового активного мулу.

Розглянемо вплив технологічних параметрів і якості стічних вод на коефіцієнт приросту  $Y$ , який розраховується, як відомо, за виразом [9]

$$Y = \frac{Pr - B_{зав}}{\Delta L}, \quad (1)$$

де  $Pr$  – приріст активного мулу, мг/дм<sup>3</sup>;  $B_{зав}$  – концентрація завислих речовин у стічній воді, що надходить в аеротенк, мг/дм<sup>3</sup>;  $\Delta L$  – одиниця перероблених органічних забруднень по БСК<sub>5</sub> (зниження БСК<sub>5</sub> стічних вод у процесі біологічної очистки), мг/дм<sup>3</sup>.

Розглянемо вплив загальної кількості активного мулу в системі на коефіцієнт приросту  $Y$ . У реальних умовах зміна маси активного мулу може досягатися різними способами: зміною об'ємів очисних споруд (аеротенків, відстійників, камер активного мулу, транспортних каналів тощо), варіацією концентрації активного мулу і коефіцієнта рециркуляції, регенерацією мулу.

На рис. 1 наведена залежність коефіцієнта приросту від маси активного мулу в системі очисних споруд. Видно, що збільшення загальної маси активного мулу в очисних спорудах приводить до помітного зменшення коефіцієнта  $Y$ . Так, при зміні маси активного мулу в системі від 100 до 2500 т значення  $Y$  знаходиться в діапазоні від 0,7 до 0,4.

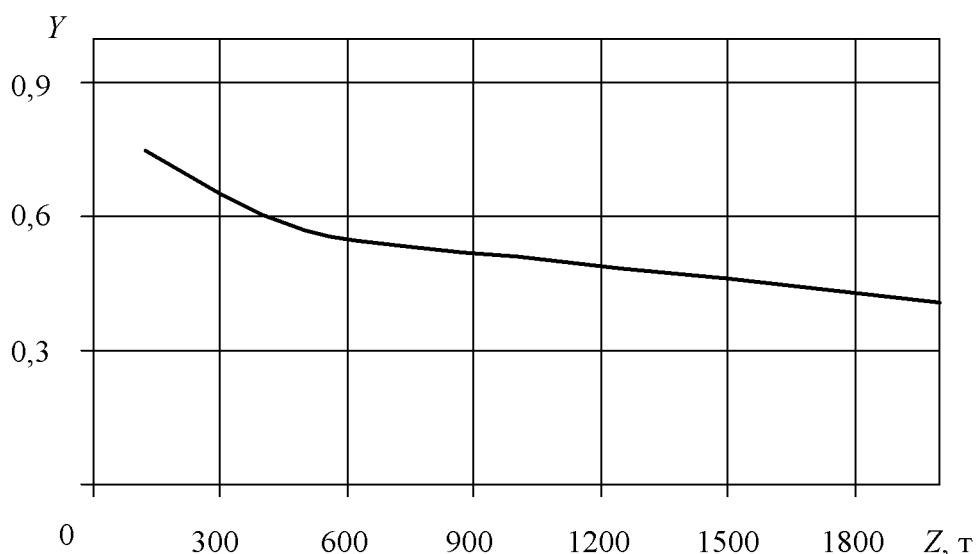


Рис. 1. Залежність коефіцієнта приросту активного мулу  $Y$  від загальної кількості активного мулу  $Z$  в системі біологічної очистки

Проаналізуємо цю залежність у більш загальному вигляді, використовуючи показники впливу маси активного мулу. Скористаємося показником навантаження на мул  $F$ , який являє собою відношення величини вилученого БСК<sub>5</sub> в одиницю часу  $\Delta S$  до маси активного мулу  $Z$ . Відомо, що оптимальне значення навантаження на мул  $F$  становить в середньому 130...150 мг/(г·добу). При цьому значення  $Y$  оцінюється на рівні 0,477...0,486.

На рис. 2 представлена графічна залежність коефіцієнта приросту  $Y$  від навантаження на мул  $F$ .

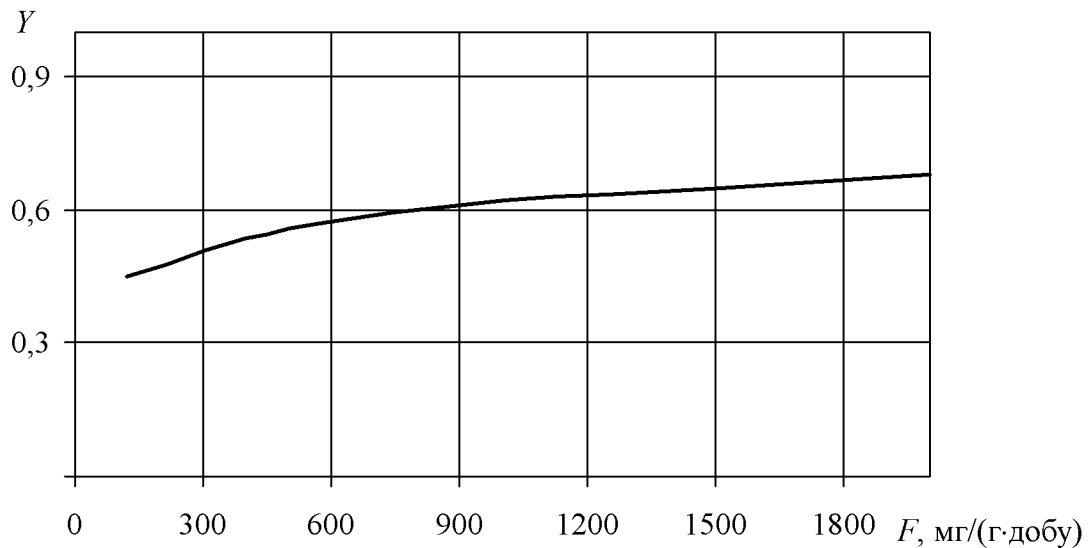


Рис. 2. Залежність коефіцієнта приросту активного мулу  $Y$  від навантаження на мул  $F$

Залежність на рис. 2 відображає ріст коефіцієнта приросту  $Y$  зі збільшенням навантаження на мул, особливо значущий в області низьких навантажень.

Досить часто в теорії і практиці очистки стічних вод коефіцієнт приросту пов'язують з віком активного мулу. Технологічно цей показник можна оцінити як середній час перебування активного мулу в системі. Тому для віку активного мулу застосовують вираз

$$\tau = \frac{Z}{R}, \quad (2)$$

де  $\tau$  – вік активного мулу, діб;  $Z$  – загальна кількість активного мулу в системі, т;  $R$  – маса надлишкового активного мулу, виведеного з системи, т/добу.

Залежність коефіцієнта приросту від віку активного мулу показана на рис. 3. Очевидно, що вік активного мулу досить сильно впливає на коефіцієнт приросту  $Y$ . У діапазоні значень  $\tau = 2...8$  діб, найбільш характерному для очисних споруд, коефіцієнт приросту змінюється від 0,526 до 0,443.

Чим більший приріст активного мулу, тим більше утворюється надлишкового активного мулу, тим швидше змінюється весь мул в аеротенку, тим менший його вік. При повній очистці міських стічних вод вік мулу становить 6...8 днів. При очистці висококонцентрованих стічних вод він може зменшуватись до 2...3 днів. Молодий швидкоростучий мул характеризується активним

обміном і високою інтенсивністю мінералізації забруднень. Старий мул, навпаки, малоактивний, процес очистки з ним стічних вод протікає менш інтенсивно.

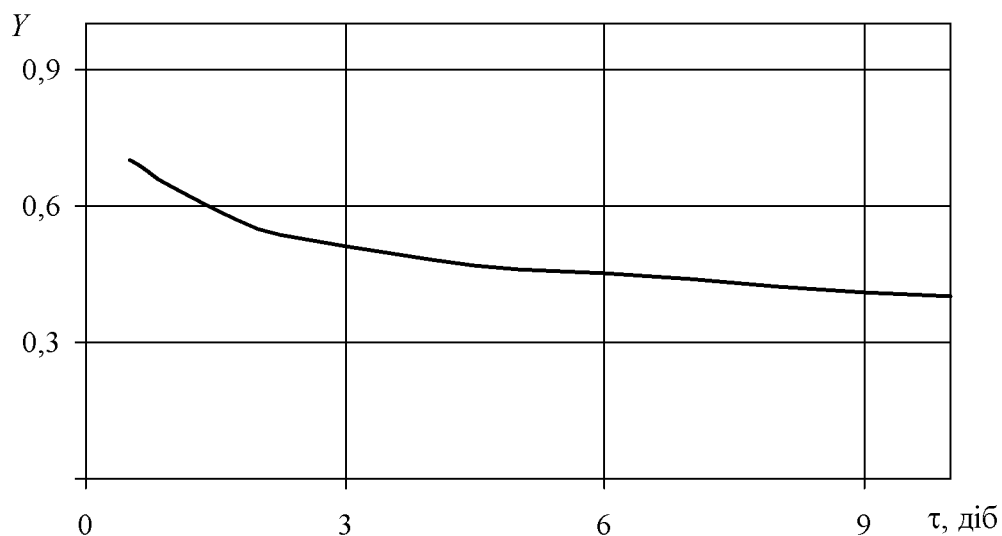


Рис. 3. Залежність коефіцієнта приросту активного мулу  $Y$  від віку активного мулу  $\tau$

Одним з основних факторів, що визначають інтенсивність біохімічного окиснення органічних речовин, є безперервне і повне забезпечення мікроорганізмів активного мулу киснем. Недостача кисню призводить до порушення обміну речовин у бактеріальних клітинах і зниження швидкості окиснення забруднень. Вважається, що для нормальної життєдіяльності мікроорганізмів активного мулу достатня мінімальна концентрація розчиненого кисню 1...2 г/м<sup>3</sup>. Одночасно система аерації повинна забезпечувати достатню інтенсивність перемішування мулової суміші для створення необхідної частоти відновлення поверхні пластівців, що збільшує швидкість дифузії субстрату і кисню до бактеріальних клітин. Для насичення стічної води киснем проводять процес аерації, розбиваючи повітряний потік на бульбашки, які по можливості рівномірно розподіляють у стічній воді. З бульбашок повітря кисень абсорбується водою, а потім переноситься до мікроорганізмів [5, 12].

З підвищенням концентрації кисню в стічній воді швидкість споживання його збільшується. Однак це відбувається тільки до певної межі. Концентрація кисню у воді, при якій швидкість його споживання стає сталою і не залежить від подальшого підвищення концентрації, називається критичною ( $c_{кр}$ ). Критична концентрація менша від рівноважної концентрації  $c_p$  і залежить від природи мікроорганізмів і температури середовища.

Питома витрата кисню залежить в основному від ступеня очищення стічних вод і може змінюватися в досить широкому інтервалі. Наприклад, при підвищенні ефективності очищення по БСК<sub>5</sub> з 50 до 95 % питома витрата кисню зростає від 0,4 до 1,8 кг/кг БСК<sub>5</sub>. Питома витрату можна також змінювати залежно від режиму роботи аеротенків у межах 0,9...2,2 кг/кг БСК<sub>повн</sub>. При

очищенні міських і ряду промислових стічних вод та їх сумішей рекомендується приймати таку питому витрату кисню: при повному біологічному очищенні – 1,1 БСК<sub>повн</sub>, при неповному – 0,9 кг/кг БСК<sub>повн</sub>.

При збільшенні концентрації активного мулу в аеротенку зростає кількість кисню, що витрачається на ендогенне дихання мікроорганізмів. Потреба в кисні складається з витрати кисню на окиснення органічних речовин і на ендогенне дихання мікроорганізмів. Потреба в кисні, кг/год, визначається за формулою

$$M = (L_a - L_t) Q z, \quad (3)$$

де  $L_a$  і  $L_t$  – БСК неочищених і очищених стічних вод, кг/м<sup>3</sup>;  $Q$  – витрата стічних вод, м<sup>3</sup>/добу;  $z$  – питома витрата кисню, м<sup>3</sup>/кг БСК<sub>повн</sub>.

Прикладом урахування цієї витрати може служити формула Емде

$$M_0 = 0,5L_a + 0,1X_1, \quad (4)$$

де  $M_0$  – потреба в кисні на біологічне очищення 1 м<sup>3</sup> стічних вод, кг/м<sup>3</sup>;  $X_1$  – кількість активного мулу, що приймає участь у процесі очищення, кг/м<sup>3</sup>.

З цієї формули випливає, що зі збільшенням маси активного мулу в системі аераційних споруд зростає питома витрата кисню на очищення 1 м<sup>3</sup> стічних вод.

Вплив концентрації розчиненого кисню на коефіцієнт приросту показано на рис. 4. Збільшення концентрації розчиненого кисню приводить до зниження коефіцієнта приросту активного мулу. Однак це зниження незначне – приблизно 8 % при збільшенні концентрації розчиненого кисню з 0,1 до 4 мг/л.

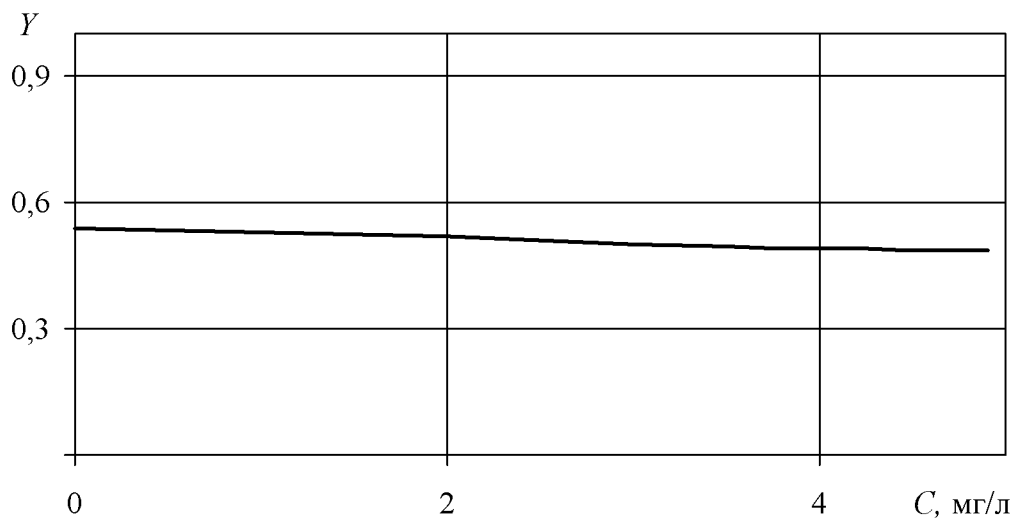


Рис. 4. Залежність коефіцієнта приросту активного мулу  $Y$  від концентрації розчиненого кисню  $C$

Таким чином, найбільший вплив на зміну коефіцієнта приросту  $Y$  справляють такі параметри: загальна кількість активного мулу в системі очисних споруд, навантаження на активний мул і його вік. Зниження коефіцієнта приросту  $Y$  викликають такі фактори: зменшення питомого

навантаження на мул; збільшення віку активного мулу (або підвищення загальної кількості мулу в системі очисних споруд), зменшення вмісту завислих речовин, що надходять, зменшення зольності активного мулу і збільшення концентрації розчиненого кисню в системі.

На основі аналізу графічної залежності коефіцієнта приросту активного мулу  $Y$  від навантаження на мул  $F$  (рис. 1) було отримано емпіричну залежність

$$Y = 0,26F^{0,125} . \quad (5)$$

Показник навантаження на активний мул  $F$  розраховується за формулою

$$F = \frac{(L_{\text{вх}} - L_{\text{вих}}) \cdot Q}{a_{\text{м}} \cdot V}, \quad (6)$$

де  $L_{\text{вх}}$  – величина БСК<sub>5</sub> стічних вод на вході в аеротенк, мг/м<sup>3</sup>;  $L_{\text{вих}}$  – величина БСК<sub>5</sub> стічних вод на виході з очисних споруд, мг/м<sup>3</sup>;  $a_{\text{м}}$  – доза активного мулу, г/м<sup>3</sup>;  $V$  – об'єм аеротенка, м<sup>3</sup>.

З урахуванням виразу (6) залежність (5) прийме вигляд

$$Y = 0,26 \left( \frac{(L_{\text{вх}} - L_{\text{вих}}) \cdot Q}{a_{\text{м}} \cdot V} \right)^{0,125} . \quad (7)$$

Ця залежність являє собою математичну модель приросту активного мулу в спорудах біологічної очистки стічних вод і виражає залежність коефіцієнта приросту активного мулу від основних технологічних параметрів аеротенка.

Усі параметри, що входять до виразу (7), крім дози активного мулу, є сталими, тобто нерегульованими. Тому для зменшення приросту активного мулу доцільно змінювати його дозу. При збільшенні дози активного мулу коефіцієнт приросту активного мулу зменшуватиметься.

Необхідну дозу активного мулу рекомендується розраховувати, виходячи з величини рекомендованого навантаження на активний мул – 130...200 мг/(г·добу).

Приріст активного мулу, що відповідає коефіцієнту приросту, розраховується за формулою

$$\text{Пр} = Y \cdot \Delta L + B_{\text{зав}} \text{ [мг/дм}^3\text{]}. \quad (8)$$

### Висновки

Проведені дослідження показали, що існує можливість регулювання приросту активного мулу і його фізико-хімічних властивостей шляхом керованої зміни технологічних параметрів процесу біологічного очищення стічних вод в аеротенках. Основними параметрами процесу біологічної очистки стічних вод, які впливають на приріст активного мулу, є: температура стічних вод, рН, маса



активного мулу в системі очисних споруд, навантаження на мул, вік і зольність активного мулу, концентрація розчиненого кисню.

Розроблено математичну модель приросту активного мулу в спорудах біологічної очистки стічних вод, яка виражає залежність коефіцієнта приросту активного мулу від основних технологічних параметрів аеротенка. Для зменшення приросту активного мулу рекомендовано збільшувати дозу активного мулу таким чином, щоб навантаження на нього було оптимальним.

Подальші дослідження будуть спрямовані на проведення активного і пасивного експериментів на реальному об'єкті і обробку отриманих даних.

1. *Долина Л. Ф.* Сточные воды предприятий горной промышленности и методы их очистки. – М.: Недра, 2000.

2. *Праховский Э. В.* Охрана водных ресурсов на шахтах и разрезах. – М.: Недра, 1992. – 191 с.

3. *Загальний перелік ГДК і ОБРВ шкідливих речовин для води рибогосподарських водойм (№ 12-04-13 від 09.08.1990 р.).*

4. *Голубовская Э. К.* Биологические основы очистки воды. – М.: Высшая школа, 1978. – 268 с.

5. *Синев О. П.* Интенсификация биологической очистки сточных вод. – К.: Техніка, 1983. – 110 с.

6. *Родионов А. И. и др.* Техника защиты окружающей среды. – М.: Химия, 1989. – 512 с.

7. *Сооружения для очистки сточных вод и обработки осадков: Сб. науч. тр. / ВНИИ водоснабжения, канализации, гидротехнических сооружений и инженерной гидрогеологии.* – М., 1987. – 130 с.

8. *Рижов Г. М., Познанська Н. Ю.* Визначення та дослідження чинників впливу на приріст активного мулу при біохімічній очистці стічних вод // Мінеральні ресурси України. – № 1. – 2004. – С. 44–46.

9. *Коровін Л. К.* Аеробна стабілізація активного мулу (теорія і практика). – М.: Лісова промисловість, 1990. – 128 с.

10. *Эксплуатация систем водоснабжения, канализации и газоснабжения: Справочник / Под ред. В. Д. Дмитриева, Б. Г. Мишукова.* – 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Стройиздат. – 1988. – 383 с.

11. *Эксплуатация систем водоснабжения и канализации: Учеб. в помощь по спец. «Водоснабжение, канализация, рациональное использование и охрана водных ресурсов» / М. И. Алексеев, Б. Г. Мишуков, В. Д. Дмитриев и др.* – М.: Высшая школа, 1993. – 272 с.

12. *Моделирование аэрационных сооружений для очистки сточных вод / Л. Н. Брагинский, М. А. Евилевич, В. И. Бегачев и др.* – Л.: Химия, 1980. – 144 с.