

УДК 621.3: 622.412

**К.Е. Петрова (магістрант), В.П. Тарасюк (канд. техн. наук, доц.)**

Донецький національний технічний університет, м. Донецьк

кафедра електронної техніки

E-mail: [petrova.katharine@yandex.ru](mailto:petrova.katharine@yandex.ru)**ДОСЛІДЖЕННЯ ВИМІРЮВАЛЬНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ІНДЕКСУ МУЛУ В АЕРОТЕНКУ**

*Аргументовано необхідність оперативного відстеження стану активного мулу в аеротенках як основного середовища, що впливає на якість очищення стічних вод. Показано, що використання оптичного методу дозволяє розробити електронну систему контролю седиментаційних властивостей мулу, яка дає можливість ефективно отримувати дані про зміну мулового індексу. Проведено моделювання схеми первинного перетворювача, що дозволило побудувати залежність концентрації активного мулу від часу осідання та відстані від дна судини.*

**Ключові слова:** біологічне очищення стічних вод, індекс мулу, потік розсіювання, фотоперетворювач.

**Загальний аналіз проблеми та постановка задачі досліджень**

Основне завдання підтримки екологічного благополуччя докiлля при попаданні в нього стічних вод — їх очищення. Застосування методу очищення в кожному конкретному випадку визначається характером забруднення і ступенем шкiдливості домішок. На сьогоднішній день найоптимальніший спiсiб очищення стічних вод — біологічний. В основі методу аеробного очищення лежить робота аеротенка — ємності, що заповнюється стоками, які примусово насичуються киснем. Аеробні бактерії в створених в аеротенках сприятливих умовах починають інтенсивно розмножуватися, утворюючи великі колонії аеробів, флокули, харчуванням для яких є органічні речовини, а продуктами життєдіяльності — вуглекислий газ, вода і стабілізований активний мул [1].

Жорсткі умови експлуатації при недосконалості технологічного режиму призводять до систематичних порушень умов роботи аеротенків. Спроби покращити роботу існуючих споруд шляхом зміни системи впуску стічних вод, збільшення витрати повітря, що подається, додаткової установки аераторів часто виявляються технічно важко здійсненними і призводять до незначних результатів. Тому для покращення роботи аеротенку актуальним є використання електронних комп'ютерних систем контролю та прогнозування умов роботи аеротенку.

**Огляд існуючих досліджень.** Основними напрямками розвитку автоматизації керованих процесів біохімічної очистки стічних вод, які отримали поширення в даний час, є:

- контроль якості води, що поступає (характер забруднення, присутність ПАР, значення  $pH$ , присутність токсинів);
- контроль технологічного процесу очищення (температура, наявність поживних речовин, вміст розчиненого кисню в мулової суміші, муловий індекс та ін.)

Популяції флокулоутворюючих бактерій складають в мулі (90–95)%, їх функціональний стан, активність та адаптивність до екологічних умов аеротенків визначають стійкість та ефективність біохімічного окислення забруднюючих речовин, присутніх у стічних водах. Екологічні умови в аеротенках забезпечуються сукупністю показників, що впливають на стан активного мулу, і визначаються конструктивними особливостями споруд, умовами їх експлуатації і складом стічних вод, що очищаються.

В процесі експлуатації очисних споруд реєструється ряд параметрів, що характеризують якість стічних вод, що очищуються. Це пов'язано з необхідністю комплексного контролю всіх процесів, що впливають на фізіологічний стан організмів активного мулу, а, отже, — на результат очищення. Комплекс параметрів, що характеризують стан активного мулу, отриманих при діагностиці, може бути використаний в системах прогнозування для виявлення причин, що несприятливо впливають на біомасу активного мулу.

Таким чином проблема технологічного контролю за процесом є актуальною, особливо в умовах підвищення інтенсивності використання біологічного методу очищення стічних вод, а оперативне відстеження стану активного мулу дасть можливість прогнозування стану біологічного середовища аеротенків, і як наслідок, ступеня та якості очищення забруднених вод. Тому важливим є розробка електронної системи контролю параметрів активного мулу в аеротенках.

**Метою роботи** є дослідження вимірювального перетворювача для електронної системи контролю індексу мулу, оскільки порушення в режимі експлуатації споруд в першу чергу позначається на утворенні пластівців активного мулу та їх осіданні. При погіршенні седиментаційних характеристик мулу він погано відділяється від очищеної води і вимивається у вторинні відстійники.

**Рішення задачі.** За визначенням, індекс мулу — величина, зворотна концентрації мулу в мулової фазі після півгодинного відстоювання (1):

$$I = \frac{V_{0.5}}{d}, \text{ см}^3/\text{г} \quad (1)$$

де  $V_{0.5}$  — доза мулу за об'ємом,  $\text{см}^3/\text{дм}^3$ ;  $d$  — доза мулу за масою,  $\text{г}/\text{дм}^3$ . [1]

Присутність в аналітичному виразі (1) дози мулу за об'ємом вказує на перевагу використання вимірювального пристрою у вигляді судини свідомо відомого обсягу, в якому необхідний розрахунок дози мулу  $V$  проводився б безконтактним способом для уникнення збовтування досліджуваної проби. [2] Поставленій вимозі задовольняє оптичний метод аналізу каламутних середовищ, заснований на вимірюванні інтенсивності поглиненого ними світла, — турбодиметрії, що лише в незначній мірі поступається аналітичним методам. Переваги методу полягають в його надзвичайній чутливості й швидкості.

Робота присвячена дослідженню вимірювального перетворювача для системи контролю індексу мулу, що реалізує оптичний метод аналізу каламутних середовищ, а саме фотоперетворення розсіяного від часток мулу світла. Суть методу, що застосовується в системі обґрунтовано в роботі [2]. Запропоновано структурну схему системи контролю індексу мулу в аеротенку, яку представлено на рис. 1.

Основний принцип функціонування електронної системи полягає у визначенні каламутності по всій довжині дослідженої судини із мулом по зміні інтенсивності світла, розсіяного під будь-яким кутом. На рисунку 1 позначено: ПВЗ — пристрій вибору та зберігання, МКПС — мікропроцесорна система.

Блоки освітлення та фотоприймачів представляють собою вимірювальну частину електронної системи контролю індексу мулу. Блок освітлення — ланцюг зміщення світловипромінюючого діода для освітлення проби. Блок фотоприймачів складається з лінійки фотодіодів, розташованих вздовж судини з пробєю. Кожен з фотодіодів ввімкнений до однакових перетворювачів розсіяного світла у вихідну напругу.

Принцип роботи пристрою вимірювальної частини системи з використанням розсіяного світла представлений на рис. 2. Приймач  $E$  (фотодіод) знаходиться за пробєю на оптичній вісі приладу, вимірює загасання світіння, викликане розсіюванням світла, тобто визначає каламутність проби.

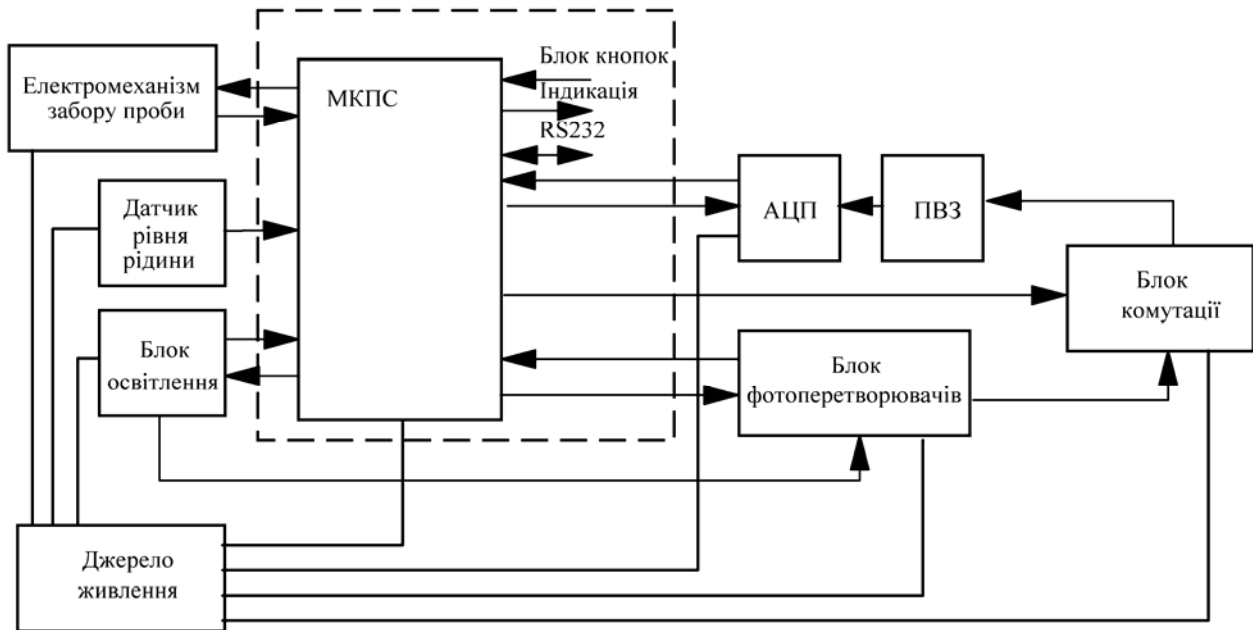


Рисунок 1 — Структурна схема електронної системи контролю індексу мулу

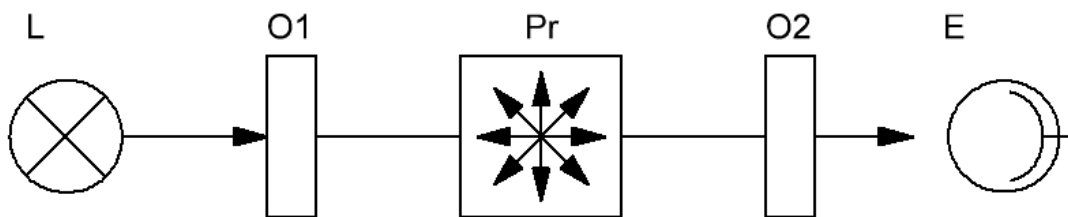


Рисунок 2 — Принцип вимірювальної частини приладу з використанням розсіяного світла:  
*L* — джерело світла (світловипромінюючий діод); *O1*, *O2* — перший та другий об'єктиви;  
*Pr* — проба; *E* — приймач (фотодіод)

Потік випромінювання на вході в перший об'єктив встановлюється з урахуванням коефіцієнта введення потоку випромінювання

$$\Phi_{вх\ об1} = \Phi_{вих\ СВД} \cdot k_{вв\ о1}, \quad (2)$$

де  $\Phi_{вх\ об1}$  — потік випромінювання на вході першого об'єктива;  $\Phi_{вих\ СВД}$  — потік випромінювання на виході з світловипромінюючого діода;  $k_{вв1}$  — коефіцієнт введення потоку випромінювання в перший об'єктив.

Потік випромінювання на виході з першого об'єктива (на вході в пробу) з урахуванням коефіцієнта пропускання об'єктива і коефіцієнта введення сигналу в пробу

$$\Phi_{вих\ об1} = \Phi_{вх\ об1} \cdot T_o \cdot k_{вв\ пр}, \quad (3)$$

де  $\Phi_{вих\ об1} = \Phi_{вх\ пр}$  — потік випромінювання на виході з об'єктива (вході проби);  $T_o$  — коефіцієнта пропускання об'єктива;  $k_{вв\ пр}$  — коефіцієнт введення потоку випромінювання в пробу.

До середи активного мулу застосовні закони полідисперсних суспензій з різноманітними розмірами частинок, істинна кількість яких встановити неможливо. При цьому на концентрацію, розмір часток у пробі впливає вік мулу, характер забруднення, ступінь аерації, місцезоташування забору проби щодо початку або кінця коридору аеротенках.

Інтенсивність пучка світла, що розповсюджується в поглинаючому середовищі активного мулу, описується рівнянням Бугера-Ламберта-Бера:

$$I_{np} = I_{ex\ np} \cdot e^{-k_\lambda \cdot d \cdot C}, \tag{4}$$

де  $I_{ex\ np}$  — інтенсивність вхідного випромінювання;  $k_\lambda$  — коефіцієнт поглинання, який пов'язаний з показником поглинання  $k$  залежністю  $k_\lambda = \frac{4\pi k}{\lambda}$ , де  $\lambda$  — довжина хвилі;  $d$  — товщина шару, діаметр судини;  $C$  — концентрація мулу.

З рівняння Бугера-Ламберта-Бера (4) оптична щільність мулу:

$$D(k_\lambda, d, C) = \ln \frac{I_{ex\ np}}{I_{np}} = k_\lambda \cdot d \cdot C, \tag{5}$$

де  $k_\lambda$  являє собою суму коефіцієнтів поглинання окремих спектральних ліній складових мулу.

Щільність мулу пов'язана з коефіцієнтом пропускання проби наступним рівнянням:

$$T(k_\lambda, d, C) = e^{-D(k_\lambda, d, C)}. \tag{6}$$

Оскільки активний мул являє собою дисперсну систему з безліччю дисперсних фаз, частки відчувають вплив молекул середовища. Крива осадження полідисперсної суспензії показана на рис. 3. На рисунку позначено  $q_1$  — кількість найбільшої фракції з розміром частинок від  $r_{MAX}$  до  $r_1$ , %;  $\tau_1$  — час осідання фракції  $q_1$ ;  $q_2$  — кількість фракцій з розміром часинок від  $r_1$  до  $r_2$ , %;  $\tau_2$  — час осідання фракції  $q_2$ ;  $q_3, q_4$  аналогічно  $q_1, q_2$ . Крива осідання активного мулу як залежність об'єму, що займає осад, від часу осідання є седиментаційною характеристикою, що приведено на рис. 4.

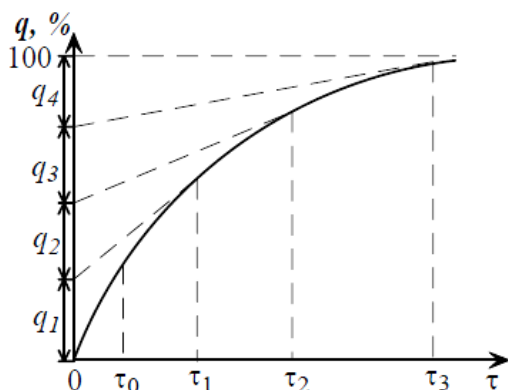


Рисунок 3 — Крива осідання полідисперсної суспензії

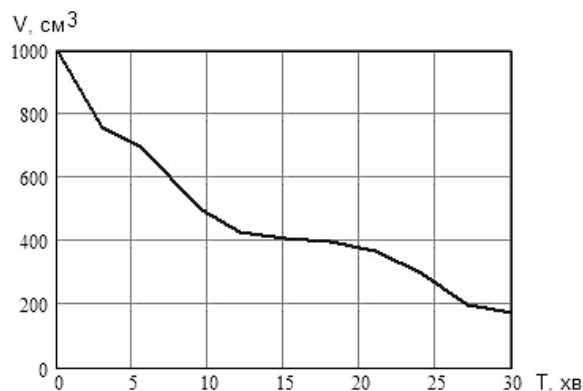


Рисунок 4 — Задовільна седиментаційна характеристика активного мулу.

Крива осідання полідисперсної суспензії на рис. 3 та експериментально отримана у [3] седиментаційна характеристика активного мулу на рис. 4 не є прямими і не мають зламів, найчастіше це плавні лінії. Це вказує на те, що система безперервна динамічна. Осідання мулу рівномірне і плавне. До того ж швидкість осідання крупних пластівців мулу (фракція  $q_1$  у порівнянні з фракцією  $q_2$  на рис. 4) швидше, тому вони утворюють осад на дні судини. В такому разі розсіяне світло у нижчих шарах значно менше, ніж у верхніх. Більш того, коли для нижніх шарів інтенсивність розсіяного світла зменшується, у верхніх навпаки збільшується завдяки осідання більш легких фаз суспензії та, як слід, зменшення мутності. Таким чином концентрація мулу, що впливає на інтенсивність розсіювання світла, в конкретному вибраному об'ємі  $\Delta V$  залежить від часу осідання та відстані від дна судини. В ідеальному випадку приймаємо характер осідання від часу і відстані  $C(h, t)$  експоненціальним.

На рис. 5 зображено сімейство характеристик залежності концентрації активного мулу в седиментаційній судині від часу та відстані від дна, що отримано нами шляхом моделювання відповідних характеристик у системі MathCad. За концентрацію на момент початку осадження ( $t=0$ ) прийнято  $C=2$  мг/л (за всім об'ємом проби),  $h_{16} > h_{15} > \dots > h_0$ . Для  $t>0$  концентрація визначається за об'ємом осаду та освітленої води, тому у нижніх шарах проби концентрацію зростає і перевищує 2 мг/л, а у верхніх навпаки зменшується.

Аналітично залежність концентрації від часу має вигляд (7) для верхніх шарів та (8) для нижніх:

$$C(t, a) = \frac{C_M}{e^{t \cdot a}}, \tag{7}$$

$$C(t, a) = C_M - \frac{C_M}{e^{t \cdot a}}, \tag{8}$$

де  $C_M$  — концентрація мулу за всім об'ємом седиментаційної судини;  $a$  — коефіцієнт, що враховує коефіцієнт поглинання та висоту від дна судини,  $a = f(k, h)$  — лінійна функція.

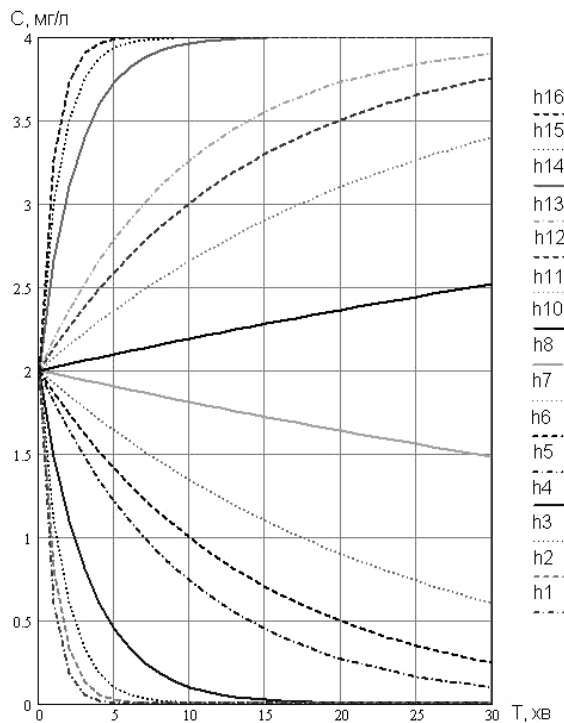


Рисунок 5 — Залежність концентрації активного мулу від часу та висоти від дна судини

Згідно оптичного методу аналізу каламутних середовищ потік випромінювання на вході в другий об'єктив визначається як потік, що вийшов з проби, з урахуванням коефіцієнта пропускання другого об'єктива, дорівнюючого коефіцієнту пропускання першого об'єктива  $T_o$ , та коефіцієнта пропускання проби  $T(k_\lambda, d, C)$ :

$$\Phi_{вх\ об2}(C) = \Phi_{вих\ об1} \cdot T(k_\lambda, d, C) \cdot T_o, \tag{9}$$

де  $\Phi_{вх\ об2}$  — потік випромінювання на вході в другий об'єктив;  $\Phi_{вих\ пр}$  — потік випромінювання на виході з проби.

Потік випромінювання, що надходить на фотоприймач, встановлюється з урахуванням коефіцієнта введення оптичного сигналу  $k_{вв}$  в системі лінза-фотодіод:

$$\Phi_{вх\ фп}(C) = \Phi_{вх\ об2}(C) \cdot k_{вв}. \tag{10}$$

Залежність фотоструму від світлового потоку визначається як добуток струмового чутливості фотодіода до світлового потоку  $S_I$  й потоку випромінювання, що надходить на вхід фотоприймача:

$$I_{\phi n} = \Phi_{\text{вх}} \phi_n(C) \cdot S_I, \quad (11)$$

У запропонованій системі фотоприймачем є фотодіод, ввімкнений у вхідний ланцюг перетворювача (див. рис. 6).

Напругу на виході перетворювача визначаємо як

$$U_{\text{фв вих}}(C) = I_{\phi n}(C) \cdot 10^{-6} \cdot R_6 + \frac{E_{\text{зм1}} \cdot R_5}{R_5 + R_4}, \quad (12)$$

де  $I_{\phi n}(E)$  — залежність фотоструму від освітленості фотоприймача;  $R_6$  — опір в ланцюзі зворотного зв'язку підсилювача;  $E_{\text{зм1}}$  — напруга зміщення;  $R_4, R_5$  — дільник напруги в ланцюзі зміщення.

Для фотодіода, який має залежність фотоструму від світлового потоку лінійного характеру, напруга на виході перетворювача, описаного рівнянням (12), також має лінійний характер [4], [5].

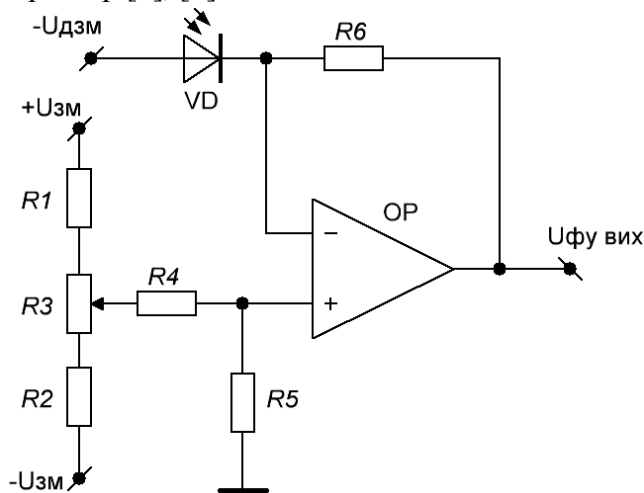


Рисунок 6 — Схема перетворювача на операційному підсилювачі

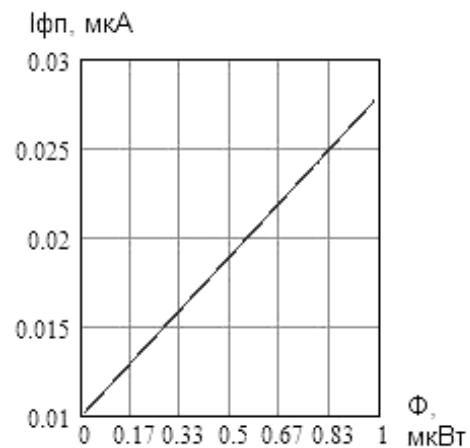


Рисунок 7 — Залежність фотоструму фотодіода SFH 229FA від світлового потоку, що надходить до вікна

Згідно розрахункам та апроксимації залежність фотоструму фотодіода SFH 229FA (див.рис.7) від світлового потоку параметри схеми перетворювача мають наступні значення: коефіцієнт підсилення операційного підсилювача  $K_U = 10^5$ . Опір зворотного зв'язку  $R_6 = 470 \text{ Ом}$ ,  $R_5 = 100 \text{ Ом}$ ,  $R_4 = 910 \text{ Ом}$ . Змінний опір  $R_3 = 470 \text{ Ом}$ ,  $R_1 = R_2 = 390 \text{ Ом}$ .

Оскільки концентрація мулу змінюється за експоненціальним законом від часу на поточній висоті судини, побудовано сімейство характеристик фотоструму фотодіода від концентрації мулу для  $t$  від 0 до 15 хв. з шагом 2,5 хв. (див. рис. 8) у верхніх та середньому шарах седиментаційної судини. При цьому рисунку а) відповідають характеристики осідання на максимальній висоті від дна судини (для верхнього фотодіода з блоку фотодіодів), рисунку б) — характеристики, отримані для середини судини. На рис. 8 видно, що фотострум змінюється незначно, а швидкість його зміни також зменшується зі збільшенням часу відстоювання та об'ємом, що займає осад.

Із результатів, приведених на рис. 8. слідує, що при зміні концентрації мулу по довжині судини, а значить й індексу мулу, в діапазоні від 0 до 2 мг/л струм фотодіода змінюється в незначних межах (1.0–1.8 нА). Вихідна напруга перетворювача для цих концентрацій змінюється від 4.7 до 4.8 В. З урахуванням власних шумів перетворювача на вході порядку 0.01мВ і коефіцієнта

перетворення підсилювача (біля  $10^8$  А/В) порогова чутливість складає 0.01 мг/л, що задовольняє технічним вимогам до системи. Максимальна вихідна нупруга складає 0,1 В, що забезпечує динамічний діапазон підсилювача без перемикання мережі вимірювання.

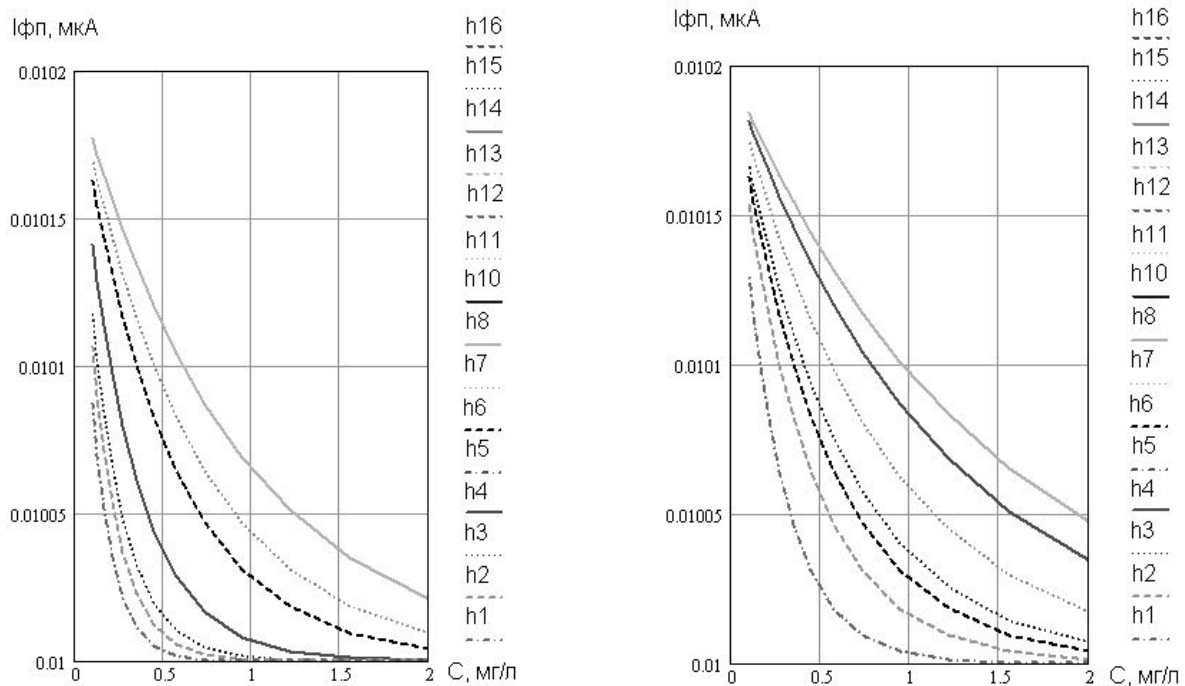


Рисунок 8 — Сімейство характеристик фотоструму фотодіода від концентрації мулу для  $t=0, 2.5..15$  с  
а) на максимальній висоті від дна судини; б) на середині судини

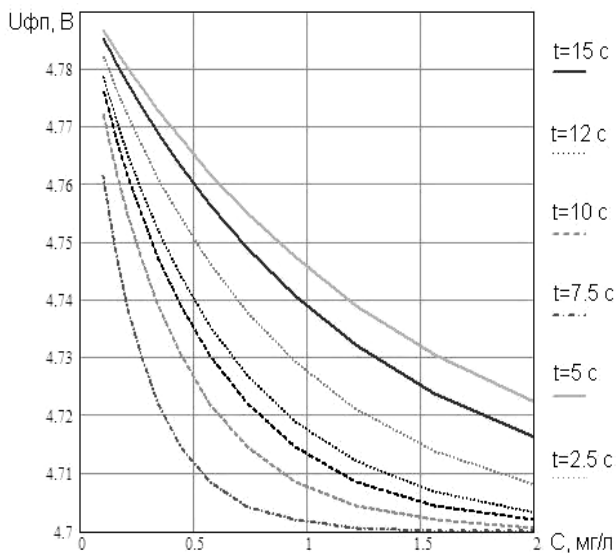


Рисунок 9 — Залежність напруги на виході фотоперетворювача від концентрації мулу

Залежність напруги на виході фотоперетворювача від концентрації мулу зображено на рис. 9 для  $t$  від 0 до 15 хв. з шагом 2,5 хв. у верхніх шарах проби.

### Висновки

1. Аргументована необхідність оперативного відстеження стану активного мулу в аеротенках як основного середовища, що впливає на якість очищення стічних вод.
2. Показано, що використання оптичного методу дозволяє розробити електронну систему контролю седиментаційних властивостей мулу, яка дає можливість ефективно отримувати дані про зміну мулового індексу
3. Визначено порогову чутливість і діапазон зміни концентрації мулу, що складають відповідно 0.01 мг/л та від 0 до 2 мг/л.
4. Проведено моделювання схеми первинного перетворювача, що дозволило побудувати залежність концентрації активного мулу від часу осідання та відстані від дна судини.

## Список використаної літератури

1. Жмур Н.С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками / Н.С. Жмур. — М.: АКВАРОС, 2003. — 512 с.
2. Петрова Е.Э. Обоснование структурной схемы электронной системы контроля илового индекса в аэротенке / Е.Э. Петрова, В.П. Тарасюк // Сборник Интернет - конференції «Інформаційні і керуючі системи в промисловості, економіці та екології», 2011», 20 листопада — 31 грудня 2011 р. — Технологічний інститут Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля (м. Сєвєродонецьк), 2011. — Электронные данные. — Режим доступа: URL: [http://193.108.240.69/moodle/file.php/1/conf3/Statji/SISTEMY\\_KONTROLYA\\_ILOVOGO\\_INDEKSA.doc](http://193.108.240.69/moodle/file.php/1/conf3/Statji/SISTEMY_KONTROLYA_ILOVOGO_INDEKSA.doc) — Дата доступа: декабрь 2011.
3. Ельцов С.В. Физическая и коллоидная химия / С.В.Ельцов, Н.А. Водолазская. — Х.: ХНУ им. В.Н. Каразина, 2005. — 216с.
4. Хламов М.Г. Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни “Електронні системи” / М.Г. Хламов. — Донецьк: ДонНТУ, 2006.
5. Ишанин Г.Г. Источники и приёмники излучения: пособие по решению задач / Г.Г. Ишанин, Н.К. Мальцева, В.Л. Мусяков. — СПб.: СПбГУ ИТМО, 2006. — 85 с.
6. Измерения в промышленности: справочник / под редакцией П. Профоса. — М.: “Металлургия”, 1990. — 384 с.

Надійшла до редакції:  
23.02.2012р.

Рецензент:  
д-р техн.наук, проф. Зорі А.А.

***E.E. Petrova, V.P. Tarasyuk. Investigation of the Converter for Electronic Sludge Index Control System in the Aeration Tank.** We proved the necessity of operative tracking of activated sludge in the aeration tanks as the main medium, which affects the quality of wastewater treatment. The necessity of developing a sludge index monitoring system, reflecting the sedimentation properties of the sludge is considered.*

***Keywords:** biological wastewater treatment, sludge index, leakage flux, photovoltaics.*

***Е.Э. Петрова, В.П. Тарасюк. Исследование измерительного преобразователя электронной системы контроля индекса ила в аэротенке.** Аргументирована необходимость оперативного отслеживания состояния активного ила в аэротенках как основной среды, которая влияет на качество очищения сточных вод. Показано, что использование оптического метода позволяет разработать электронную систему контроля седиментационных свойств ила, которая дает возможность эффективно получать данные об изменении илового индекса. Проведено моделирование схемы первичного преобразователя, что позволило построить зависимость концентрации активного ила от времени оседания и расстояния от дна сосуда.*

***Ключевые слова:** биологическая очистка сточных вод, индекс ила, поток рассеивания, фотопреобразователь.*

© Петрова К.Е., Тарасюк В.П., 2012