

УДК 628.33

Р.В. Федюн (канд. техн. наук, доц.), Т.В. Найдьонова
ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», м. Донецьк
Кафедра автоматики та телекомунікацій
E-mail: tana08naydyenova@rambler.ru, frv76@list.ru

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ САУ ПРОЦЕСОМБІОХІМІЧНОГО ВОДООЧИЩЕННЯ

Об'єктом управління є аеротенк, де і відбувається істотне споживання електроенергії, очищення води в ньому здійснюється за допомогою мікроорганізмів (активного мулу) та повітря, яке подається потужними компресорами і насосами. Побудова ефективної системи автоматичного управління є неможливою без глибокого дослідження характеристик і процесів, що протікають в об'єкті управління. Для аналізу динаміки САУ проведено моделювання технологічного процесу біохімічного очищення води у різних режимах. Виконаний аналіз динаміки САУ засвідчив, що система реагує адекватно на зміни початкових умов - усі змінні знаходяться в діапазонах їх можливих значень, підтримується необхідне значення подачі повітря і мулу.

Ключові слова: біохімічне водоочищення, аеротенк, стічні води, концентрація мікроорганізмів.

Загальна постановка проблеми

Донецькі очисні споруди являють собою великий комплекс, автоматизація якого останнім часом стала актуальним питанням для комунального підприємства «Донецькміськводоканал». Для забезпечення біохімічної очистки води витрати електроенергії можуть становити до 1 кВт/год на 1 м³ стоків, тому витрати електроенергії безпосередньо залежать від концентрації забруднень, що містяться в стічних водах. До числа найбільш гострих загальних проблем, характерних для більшості споруд біохімічного очищення, можна віднести наступні: велике споживання електроенергії, неякісна очистка води і істотний знос діючих електромашин, внаслідок того, що неефективно використовується енергоємне обладнання, таке як: потужні електродвигуни, компресори, насоси і відбувається збільшення енерговитрат, на біохімічну очистку води, що призводить до неякісного продукту на виході.

Об'єктом управління є аеротенк, де і відбувається істотне споживання електроенергії, очищення води в ньому здійснюється за допомогою мікроорганізмів (активного мулу) та повітря, відповідно, яке подається потужними компресорами і насосами. Побудова ефективної системи автоматичного управління є неможливою без глибокого дослідження характеристик і процесів, що протікають в об'єкті управління. Для аналізу динаміки САУ необхідно провести моделювання технологічного процесу біохімічного очищення води.

Постановка задач дослідження

Для дослідження динаміки системи автоматного управління необхідно вирішити наступні задачі:

1. Розглянути структурну схему САУ;
2. Отримати математичний опис усіх елементів САУ;
3. Дослідити поведінку САУ у різних режимах роботи;

Рішення задач і результати досліджень

Об'єктом управління є процес очищення води в аеротенках. Технологічним середовищем є стічна вода, активний мул, повітря. Керованими величинами є подачі активного мулу і повітря, тобто можливо змінювати їх кількість при подачі в аеротенки. На процес очищення води діють обурюючі фактори, а саме кількість стічних вод, що надходять у аеротенк Q ; обсяг стічних вод в аераторі V ; концентрація забруднюючих речовин у вхідному потоці вод S_i .



Рисунок 1 – Структурна схема САУ

Аналіз структурної схеми САУ (рис. 2.11), а також її роботи, полягає у наступному: на вході САУ задаються дві уставки: перша $Q_{\text{повітря}}$ – уставка подачі повітря, для компресорної установки, а друга уставка $n_{\text{AD'ye}}$ – це частота обертання асинхронного двигуна, що побічно впливає на подачу активного мулу. На основі уставки і значення керованої величини формується сигнал з перетворювача частоти F_i , де $F_i = (F_n, F_k)$, F_n - сигнал для насосної установки, F_k - сигнал для компресорної установки. Сигнали F_n і F_k подаються на двигуни контурів установок, останні впливають на продуктивність компресора і насоса, таким чином, на виході компресорної установки і насосної установки формуються дві інформативні змінні: $Q_{\text{повітря}}$, Q_{il} - витрата повітря, витрата мулу відповідно, які подаються в об'єкт управління.

Стан об'єкта управління характеризують три концентрації:

- C_{kis} - концентрація розчинного кисню;
- S - концентрація забруднювачів;
- C_x - концентрація мікроорганізмів.

Проаналізуємо поведінку САУ у різних режимах. Враховується, що для налаштування моделі були обрані початкові умови:

$$q_o = 900 \frac{\text{М}^3}{\text{ХВ}};$$

$$C_o = 2 \frac{\text{МГ}}{\text{Л}}.$$

Початкові умови, пов'язані з конструкцією аеротенку, що вказані у таблиці 1.

Виконаємо моделювання динамічного режиму об'єкта управління - аеротенку без подач повітря та мулу, але з заданими початковими умовами, такими що концентрації на виході не будуть дорівнювати нулю. Для того, щоб перевірити адекватність реакції об'єкта управління [2, 3].

Схема моделювання САУ наведена на рис. 2.

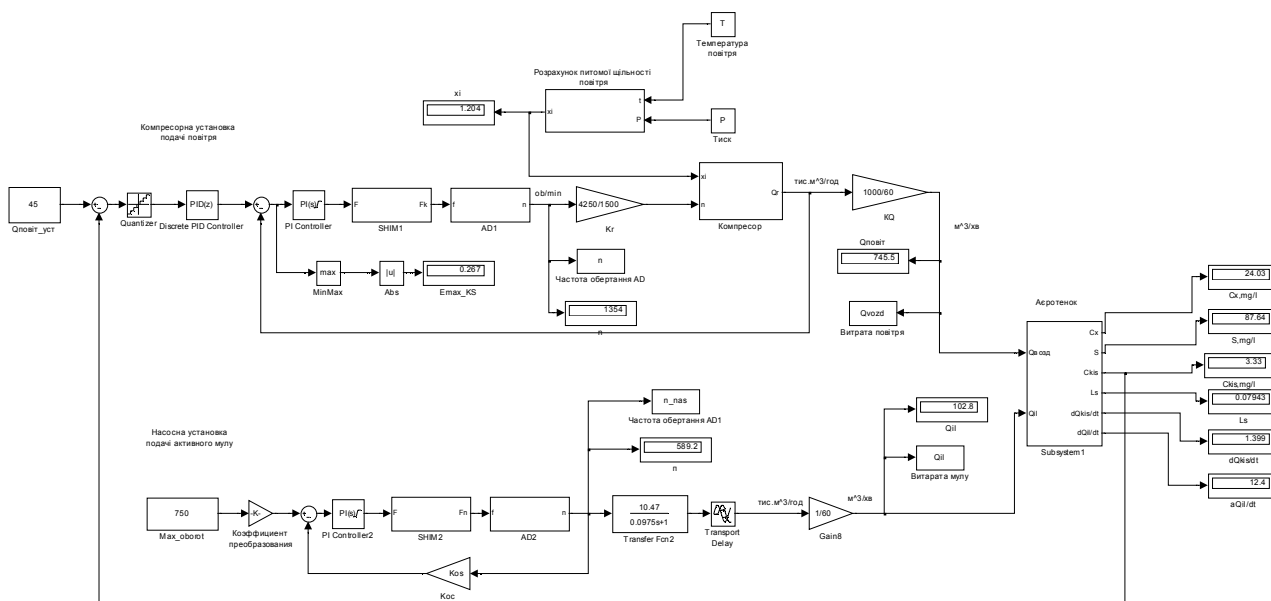


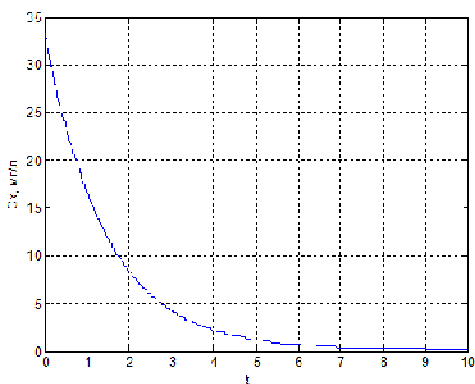
Рисунок 2 – Схема моделювання САУ очисними спорудами

Результати моделювання наведені на рис. 3, 4.

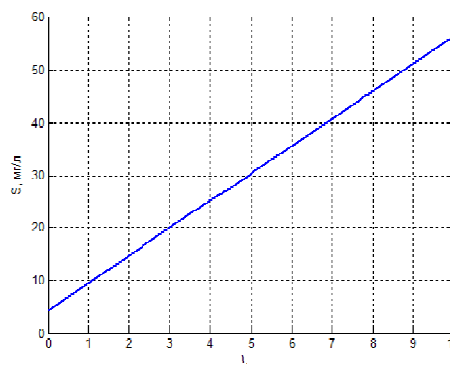
Таблиця 1

Умови моделювання аеротенку

№	Символьне позначення	Назва	Значення	Одиниця виміру
1	k_{1_0}	Коригуючий коефіцієнт	14	-
2	k_2	Коригуючий коефіцієнт	19,125	-
3	q_o	Номінальна та мінімальна кількість вхідного потоку в даний аеротенк. Обране значення	900 - 11250 900	$m^3 / хв$
4	C_0	Початкова концентрація розчинного кисню	2	мг/л
5	V_a	Номінальний обсяг стічних вод в аераторі	230	m^3



а)



б)

Рисунок 3 – а) концентрація мікроорганізмів активного мулу в аеротенку, $C_{x_{act}} = 0,1748$ мг/л; б) концентрація забруднень в аеротенку, $S_{act} = 57,27$ мг/л

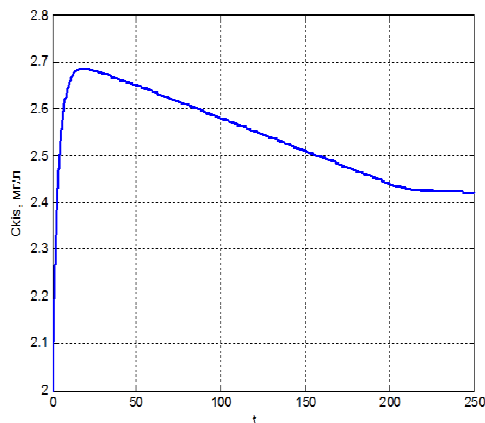


Рисунок 4 – Концентрація розчиненого кисню в аеротенку, $C_{\text{кис}_\text{вст}} = 2,421 \text{ мг/л}$

Виходячи з отриманих графіків можна зробити висновки, при відсутності подачі мулу і повітря, з початковими значеннями q_0 і C_0 виходить, що концентрація мікроорганізмів в аеротенку $C_{\text{хвст}} \rightarrow 0$, що вірно, оскільки:

а) мікроорганізми гинуть без кисню, потрібного для їх життєдіяльності;

б) зменшення C_x обумовлено тим, що активний мул (мікроорганізми) в аеротенку, теж не подаються.

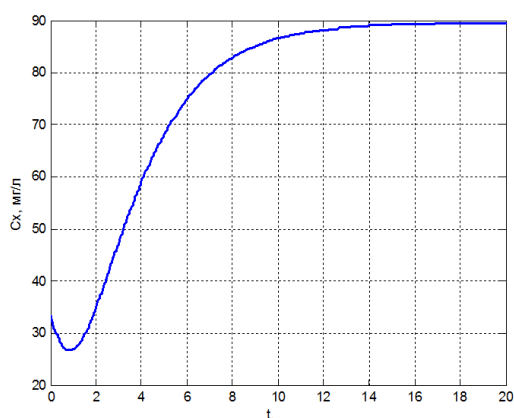
в) відповідно, концентрація забруднень в аеротенку збільшується, так як, будучи речовиною яким харчуються мікроорганізми, а їх концентрація $C_{\text{хвст}} \rightarrow 0$, тому $S_{\text{вст}} \rightarrow \infty$.

г) концентрація кисню, також зменшується, так як подачі повітря немає. Таким чином, можна сказати, що складена математична модель адекватна.

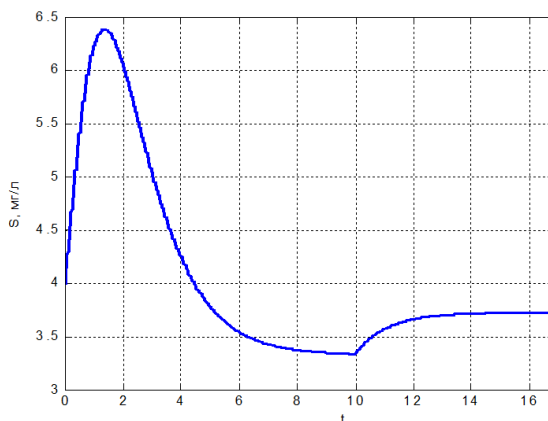
Перевіримо як впливає на САУ і об'єкт управління зміна збурюючих факторів.

Проведемо моделювання динамічного режиму САУ, де збільшиться потік стічних вод. Потік стічних вод має значення $Q = 5 \cdot 10^3 \text{ м}^3/\text{год}$, нехай він збільшиться до значення $Q \rightarrow 1,5 \cdot 10^4 \text{ м}^3/\text{год}$. Перевіримо як відпрацює САУ цю зміну збурюючого фактору.

Результати моделювання наведені на рис. 5, 6, 7.



а)



б)

Рисунок 5 – а) концентрація мікроорганізмів активного мулу в аеротенку, $C_{\text{хвст}} = 89,51 \text{ мг/л}$;

б) концентрація забруднень в аеротенку, $S_{\text{вст}} = 3,723 \text{ мг/л}$

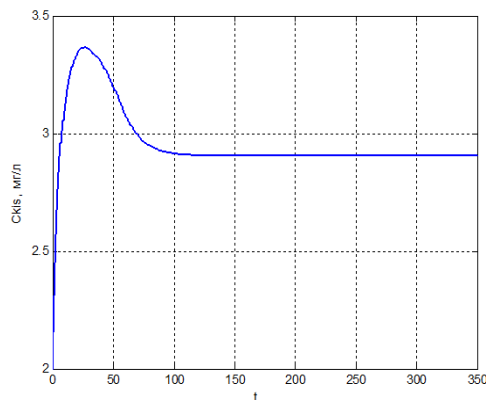


Рисунок 6 – Концентрація розчиненого кисню в аеротенку, $C_{kis_{гсм}} = 3,464$ мг/л

Виходячи з отриманих результатів, можна зробити наступні висновки, що система відпрацьовує різку зміну кількості стічних вод:

а) концентрація мікроорганізмів в аеротенку збільшується, що пов'язано з наростаючою кількістю забруднень, отже, результат моделювання - є адекватною реакцією на збільшення кількості стічних вод;

б) помітно збільшилася концентрація забруднень в аеротенку, коли різко збільшився потік стічних вод, але значення концентрації забруднювань не вийшло за межі можливого діапазону (7-11 мг/л);

в) навантаження на мул допустиме до 70 мг/г·БПК, на рис. 6 б) чітко видно, що утворився пік обумовлений збільшенням кількості стічних вод;

д) швидкість споживання кисню теж у межах можливого до 3 мг/г·БПК.

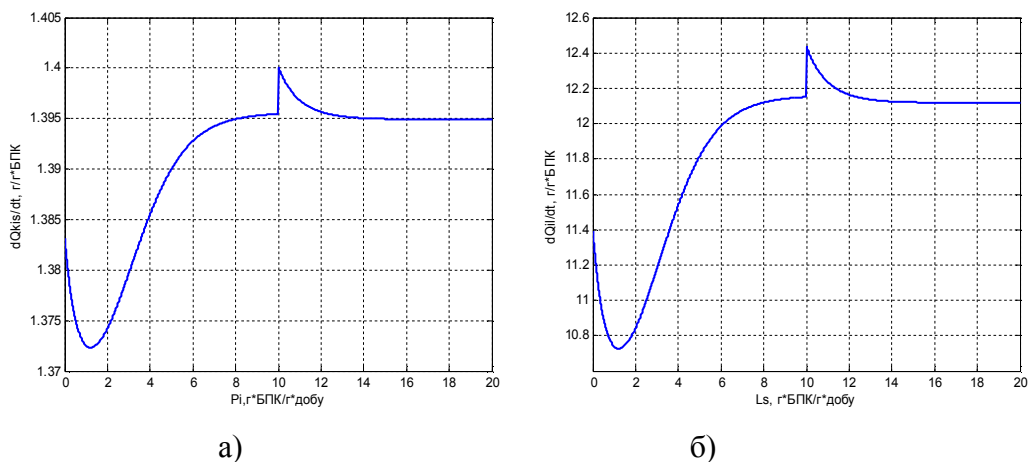
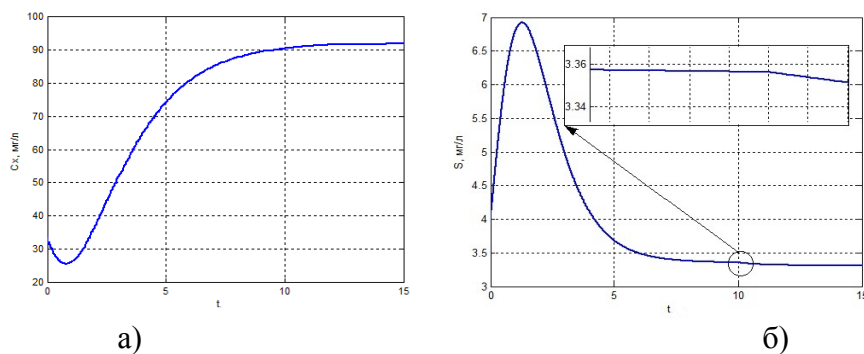


Рисунок 7 – а) швидкість споживання кисню, $\frac{dQ_{kis}}{dt} = 1,375$ мг/г · БПК ; б) масове навантаження

$$\text{на мул, } \frac{dQ_{il}}{dt} = 12,12 \text{ мг/г · БПК}$$

Проведемо моделювання динамічного режиму САУ, де зменшиться об'єм стічних вод в аераторі. Об'єм стічних вод в аераторі має значення $V = 230 \text{ м}^3$, нехай він зменшиться до значення $V \rightarrow 180 \text{ м}^3$.

Результати моделювання наведені на рис. 8.



а)

б)

Рисунок 8 – а) концентрація мікроорганізмів активного мулу в аеротенку, $C_{x_{ест}} = 91,82$ мг/л;

б) концентрація забруднень в аеротенку, $S_{ест} = 3,311$ мг/л

Результат моделювання показав, що зміна об'єму стічних вод в аераторі не дає великих змін на величини, які описують стан об'єкту:

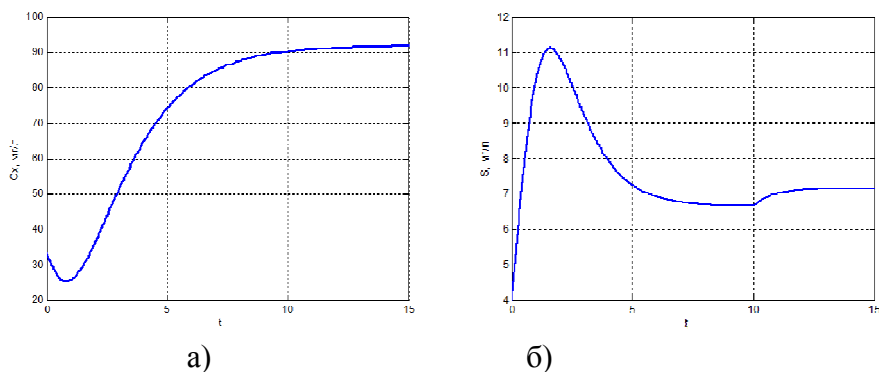
а) концентрація мікроорганізмів в аеротенку трохи збільшилася;

б) концентрація забруднень в аеротенку зменшилася, що обумовлено збільшенням концентрації мікроорганізмів.

в) концентрація кисню суттєво не змінилася.

Проведемо моделювання динамічного режиму САУ, де концентрація забруднень збільшиться у вхідному потоці. Концентрація забруднень у вхідному потоці має значення $S_i = 70$ м³/л, нехай вона збільшиться до значення $S_i \rightarrow 170$ м³/л.

Результати моделювання наведені на рис. 9, 10, 11.

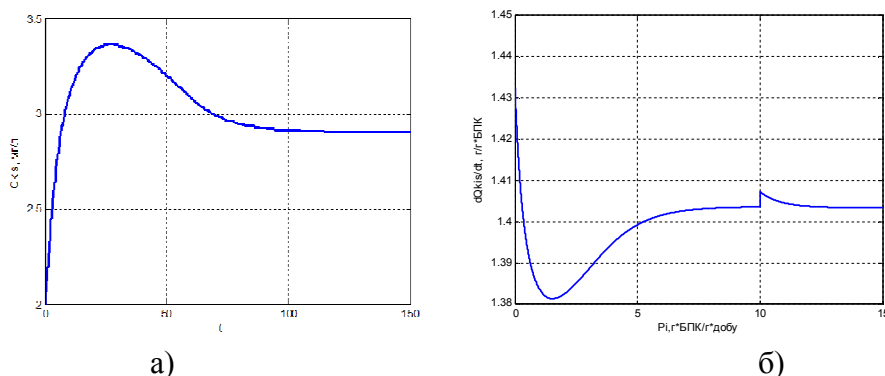


а)

б)

Рисунок 9 – а) концентрація мікроорганізмів активного мулу в аеротенку, $C_{x_{ест}} = 91,86$ мг/л; б)

концентрація забруднень в аеротенку, $S_{ест} = 7,156$ мг/л



а)

б)

Рисунок 10 – а) концентрація розчиненого кисню в аеротенку, $C_{kis_{ест}} = 2,904$ мг/л; б) швидкість

споживання кисню, $\frac{dQ_{kis}}{dt} = 1,403$ мг/г · БПК

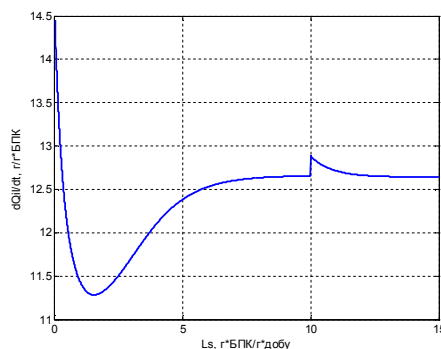


Рисунок 11 – Масове навантаження на мул, $\frac{dQ_{II}}{dt} = 12,64$ мг/г · БПК

Результат моделювання показав, що зміна концентрації забруднень у вхідному потоці впливає на величини, які описують стан об'єкту:

- а) концентрація мікроорганізмів в аеротенку трохи збільшилася;
- б) концентрація забруднень в аеротенку збільшилася, що обумовлено збільшенням концентрації забруднень у вхідному потоці;
- в) концентрація кисню суттєво не змінилася, але трохи зменшилася, що обумовлено збільшенням кількості мікроорганізмів;
- г) зрозуміло, якщо концентрація мікроорганізмів збільшилась, то швидкість споживання кисню теж збільшилось;
- д) масове навантаження на мул не змінилось [4].

Таким чином, САУ стійка до дії збурюючих факторів на об'єкт управління.

Висновки

1. Отримано математичний опис об'єкту управління і усіх елементів САУ, у вигляді розробленої структурної схеми об'єкту управління, яка відображає залежності змінних в аеротенку.
2. Проаналізована структурна схема САУ з врахуванням усіх інформаційних змінних, та збурюючих факторів.
3. Виконано аналіз динаміки САУ. Аналіз засвідчив, що система реагує адекватно на зміни початкових умов - усі змінні знаходяться в діапазонах їх можливих значень, підтримується необхідне значення подачі повітря і мулу.

Список використаної літератури

- 1) Брагинский Л.Н. Моделирование аэрационных сооружений для очистки сточных вод / Л.Н. Брагинский, М.А. Евилевич. – Л.: Химия, 1980. – 144 с.
- 2) Федюн Р.В. Принципы построения динамической модели процесса биохимической водоочистки / Р.В. Федюн, В.А. Попов, Т.В. Найденова // Наук. праці ДонНТУ. Серія «Обчислювальна техніка та автоматизація». – 2010. – Вип.18(169). – С. 172-179.
- 3) Активный ил [Электронный ресурс] Биологическая очистка сточных вод. – Режим доступа: <http://www.ecoenergo.com.ua/articles-17.html>.

Надійшла до редакції:
31.03.2013

Рецензент:
д-р техн. наук, проф. Скобцов Ю.О.

Р.В. Федюн, Т.В. Найденова

ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет»

Исследование динамики САУ процессом биохимической водоочистки. Объектом управления является аэротенк, где и происходит существенное потребление электроэнергии. Очистка воды в нем осуществляется с помощью микроорганизмов (активного ила) и воздуха, который подается мощными компрессорами и насосами. Построение эффективной системы автоматического управления является невозможным без глубокого исследования характеристик и процессов, которые протекают в объекте управления. Для анализа динамики САУ необходимо провести моделирование технологического процесса биохимической очистки воды в разных режимах. Выполненный анализ динамики САУ показал, что система реагирует адекватно на изменение начальных условий - все переменные находятся в диапазонах их возможных значений, поддерживается необходимое значение подачи воздуха и ила.

Ключевые слова: биохимическая водоочистка, аэротенк, сточные воды, концентрация микроорганизмов.

R.V. Fedyun, T.V. Naydyenova

Donetsk National Technical University

Research of the Dynamics of Automatic Control System of the Process of Biochemical Water Treatment. The control object is an aerotank, where considerable power consumption takes place. Water treatment in it is done by microorganisms (activated sludge) and air supplied by powerful compressors and pumps. An efficient automated control system is impossible without a thorough study of characteristics and processes which take place in the control object. To analyze ACS dynamics we need to simulate the process of biochemical water treatment in different modes. There was the conducted design of the dynamic mode of object management - to the aerotank without the serves of air and silt, but with the set initial conditions, such that concentrations on an output will not equal a zero. It is possible to draw conclusion coming from the got results, that concentration of microorganisms in an aerotank in default of serves to the silt and air, with initial values approaches a zero, that right. It is tested as a change of revolting factors influences on ACS and management object. The design of the dynamic mode of ACS is for this purpose conducted with the increase of stream of flow waters. The design of the dynamic mode of ACS is conducted at diminishing volume of flow waters in an aerator. A design result rotined that the change of volume of flow waters in an aerator did not give large changes on sizes which describe the state of object. The design of the dynamic mode of ACS with the increase of concentration of contaminations in an input stream rotined that a change the concentration of contaminations in an input stream influenced on sizes which describe the state of object: the concentration of microorganisms in an aerotank was a bit increased; the concentration of contaminations in an aerotank was increased, that is conditioned the increase of concentration of contaminations in an input stream; the concentration of oxygen did not change substantially, but a bit diminished, that is conditioned the increase of amount of microorganisms; clearly, if the concentration of microorganisms was increased, speed of consumption of oxygen increased also; the mass loading did not change on a silt. Thus, ACS bar to operating of revolting factors on the object of management. The dynamics analysis has shown that the system reacts adequately to the change of initial conditions (all the variables are within the range of their possible values, air and sludge are supplied as required).

Keywords: biochemical water treatment, aerotank, sewer waters, concentration of microorganisms.