

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**



**НАУКОВІ ПРАЦІ  
ДОНЕЦЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО  
ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ**

*Серія: “Обчислювальна техніка  
та автоматизація”*

*№ 1(26) 2014*

Донецьк  
2014

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**НАУКОВІ ПРАЦІ  
ДОНЕЦЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО  
ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ**

*Серія: “Обчислювальна техніка  
та автоматизація”*

*Всеукраїнський науковий збірник*

*Заснований у липні 1998 року*

*Виходить 2 рази на рік*

*№ 1(26) 2014*

Донецьк  
2014

УДК 681.5: 658.5: 621.3

Друкується за рішенням Вченої ради державного вищого навчального закладу «Донецький національний технічний університет» (протокол № 6 від 20.06.2014).

У збірнику опубліковано статті науковців, аспірантів, магістрів та інженерів провідних підприємств і вищих навчальних закладів України, в яких наведено результати наукових досліджень та розробок, виконаних у 2013-2014 роках згідно напрямків: автоматизація технологічних процесів, комп'ютерні інформаційні технології, інформаційно-вимірювальні системи, електронні і мікропроцесорні прилади.

Матеріали збірника призначено для викладачів, наукових співробітників, інженерно-технічних робітників, аспірантів та студентів, що займаються питаннями розробки і використання автоматичних, комп'ютерних і електронних систем.

**Засновник та видавець** – Донецький національний технічний університет.

**Редакційна колегія:** О.А. Мінаєв, чл-кор. НАН України, д-р техн. наук, проф., головний редактор; Є.О. Башков, д-р техн. наук, проф., заступник головного редактора; Є.Б. Ковальов, д-р техн. наук, проф., відп. секретар випуску; Ахім Кінле д-р техн. наук, проф.; Іван Тауфер д-р техн. наук, проф.; А.А. Зорі, д-р техн. наук, проф.; О.Г. Воронцов, д-р техн. наук, проф.; Ю.О. Скобцов, д-р техн. наук, проф.; Н.І. Чичикало, д-р техн. наук, проф.; М.М. Заблодський, д-р техн. наук, проф.; В.В. Турупалов, канд. техн. наук, проф.; К.М. Маренич, канд. техн. наук, проф.; О.В. Хорхордін, канд. техн. наук, доц.; М.Г. Хламов, канд. техн. наук, доц.; Б.В. Гавриленко, канд. техн. наук, доц.

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації: серія КВ № 7376 від 03.06.2003.

Збірник включено до переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук (затверджено постановою президії ВАК України № 1-05/5 від 01. 07. 2010 р., надруковано в бюлетені ВАК №7, 2010).

Збірник включено до бібліографічної бази даних наукових публікацій Російський індекс наукового цитування (РІНЦ) ([http://elibrary.ru/title\\_about.asp?id=38108](http://elibrary.ru/title_about.asp?id=38108))

## ЗМІСТ

Стор.

<b>Розділ 1 Автоматизація технологічних процесів</b>	5
<b>Борисов А.А.</b> Применение FF-, FB-, MFC-AGC регуляторов в концепции управления приводами клетей прокатного стана по мощности.	6
<b>Воротникова З.Е.</b> Формирование и использование архивной базы данных в системе «советчик оператора доменной печи»	14
<b>Суздаль В.С., Тавровский И.И., Соболев А.В., Кобылянский Б.Б.</b> Система с параметрической инвариантностью для процессов кристаллизации	24
<b>Лапта С.С., Масолова Н.В., Зиновьева Я.В.</b> Развитие теории моделирования переходного процесса в сложной гомеостатической системе	29
<b>Мироненко Л.П., Петренко И.В., Власенко А.Ю.</b> Интеграл Ньютона-Лейбница и вторая интегральная теорема о среднем	36
<b>Найденова Т.В., Федюн Р.В.</b> Синтез САУ процессом биохимической водоочистки	41
<b>Федюн Р.В.</b> Автоматичне управління занурювальними насосами водовідливу ліквідованих шахт	51
<b>Гарматенко А.М.</b> Алгоритм поиска кратковременной памяти в данных акустической эмиссии угольных пластов	61
<b>Розділ 2 Інформаційні технології та телекомунікації</b>	69
<b>Воропаєва А.О.</b> Розробка методу керування безпроводовими телекомунікаційними мережами нового покоління на основі застосування підходу максимізації завантаженості мережі	70
<b>Гостев В.И., Кунах Н.И., Артюшик А.С.</b> Аппроксимация звена чистого запаздывания для АQM-систем комплексной передаточной функцией звена Паде	77
<b>Дегтяренко И.В., Лозинская В.Н.</b> Динамические модели средств управления трафиком в сетевом узле	85
<b>Дмитриева О.А.</b> Оптимизация выполнения матрично-векторных операция при параллельном моделировании динамических процессов	94
<b>Євсєєва О.Г.</b> Використання комп'ютерно-орієнтованих засобів проектування і організації навчання математики на засадах діяльнісного підходу в технічному університеті	101
<b>Воропаєва В.Я., Жуковська Д.О.</b> Оцінка впливу алгоритмів обробки черг на показники QOS	111
<b>Воропаєва В.Я., Кабакчей В.И.</b> Выбор методов оценки количества меток в рабочей зоне RFID-ридера для достижения максимальной пропускной способности	119
<b>Кануннікова К.П., Червинський В.В.</b> Алгоритм динамічного регулювання споживаної потужності мікростілками гетерогенної мережі LTE	126
<b>Klymash M.M., Haider Abbas Al-Zayadi, Lavriv O.A.</b> Improving throughput using channel quality indicator in LTE technology	134

<b>Мірошкін О.М.</b> Модифікація системи адресації мікрокоманд у пристрої керування при його реалізації у базисі гібридних FPGA	144
<b>Молоковский И.А.</b> Моделирование процессов распространения радиоволн в подземной части угледобывающего предприятия	152
<b>Пасічник В.В., Назарук М.В.</b> Інформаційно-технологічний супровід системних трансформацій вітчизняної освітньої галузі	160
<b>Батыр С.С., Хорхордин А.В.</b> Особенности оценки эффективности методов управления очередью маршрутизатора	169
<b>Розділ 3 Інформаційно-вимірювальні системи, електронні та мікропроцесорні прилади</b>	177
<b>Вовна А.В., Зори А.А.</b> Оптический измеритель концентрации метана с аппаратно-программной компенсацией температурного дрейфа	178
<b>Жукова Н.В., Литвинов В.И., Голиков В.В.</b> Лабораторный стенд регулируемого линейного асинхронного электропривода – аналога электропривода постоянного тока	189
<b>Кузнецов Д.Н., Чупис Д.А.</b> Исследование физической модели ступенчатого испытательного воздействия для определения динамических характеристик термопреобразователей	202
<b>Куценко В.П.</b> Математичне моделювання властивостей діелектричних матеріалів при використанні мікрохвильових експертних систем	210
<b>Лыков А.Г., Косарев Н.П.</b> Исследование влияния ширины спектра излучения источника на чувствительность измерительных каналов газоанализаторов выхлопных газов автомобильного транспорта	218
<b>Штепа А.А.</b> Обоснование концепции структурно алгоритмической организации модульной компьютеризированной информационно-измерительной системы электрофизиологических сигналов	226

# **Розділ 1**

## **Автоматизація технологічних процесів**

УДК 628.33

**Т.В. Найденова, Р.В. Федюн (канд. техн. наук, доц.)**  
ГБУЗ «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк  
кафедра автоматизации и телекоммуникаций  
e-mail: frv76@list.ru, tana08naydyenova@rambler.ru

## СИНТЕЗ САУ ПРОЦЕССОМ БИОХИМИЧЕСКОЙ ВОДООЧИСТКИ

*Выполнен синтез САУ процессом биохимической водоочистки. Поскольку процесс биохимической водоочистки включает несколько сложных процессов, то синтез САУ был проведен для трех основных контуров. Были определены управляющие величины – подача активного ила и воздуха, а также определены возмущающие факторы: количество сточных вод, которые поступают в аэротенк  $Q$ , объем сточных вод в аэраторе  $V$ , концентрация загрязняющих веществ во входном потоке вод  $S_1$ . Выполнен синтез системы управления компрессорной и насосной установками. Выбраны регуляторы и определены их настроечные параметры. Выполненное моделирование динамических процессов в САУ подтвердило эффективность предложенных законов управления.*

**Ключевые слова:** биохимическая очистка сточных вод, синтез САУ, система автоматического управления, ПИД-регулятор, регулятор Ресвика, упредитель Смита, математическое моделирование.

### Общая постановка проблемы

Для очистных сооружений больших городов, на которых осуществляется биохимическая очистка сточных вод в аэротенке, до сих пор важной практической задачей остается оптимизация процесса технологического процесса водоочистки. Скорости аэробного окисления при биохимической очистке производственных и бытовых сточных вод изменяются в широких пределах и являются функцией видового и количественного состава активного ила, начальной концентрации загрязнений, требуемой степени очистки, биохимической структуры загрязнений, а также физических параметров процесса (интенсивности перемешивания, рН, температуры и т. д.). Чем выше исходная концентрация загрязнений (до определенных пределов) и чем меньше требуемая степень очистки, тем выше скорость окисления.

Построение эффективной системы автоматического управления становится невозможной без глубокого исследования характеристик и процессов, которые протекают в аэротенке (объекте управления).

### Постановка задач исследования

Для исследования системы автоматического управления необходимо решить следующие задачи:

1. Определить управляемые величины процесса водоочистки, выделить возмущающие факторы;
2. Выполнить синтез системы управления компрессорной и насосной установками;
3. Выполнить синтез САУ процессом биохимической водоочистки.

### Решение задач и результаты исследований

Качественный контроль процесса очистки сточных вод и управление им могут быть обеспечены при измерении параметров, которые нельзя определить путем измерения (степень токсичности сточной воды для микроорганизмов активного ила, интенсивность биоокисления, активность ила и др.).

Процесс биохимической водоочистки можно зарделись на 4 фазы: первое уравнение описывает баланс загрязнений в аэротенке; второе уравнение – баланс массы растворенного в аэротенке кислорода; третье уравнение – зависимость скорости потребления кислорода от изменения относительной нагрузки на ил; четвертое уравнение – кинетику илового баланса при изменении нагрузки на ил [1,2]. Процесс биохимической водоочистки является нелинейным и описывается совокупностью взаимозависимых нелинейных уравнений:

$$\begin{cases} V \cdot \frac{dc_x}{dt} = Q_{Ил} \cdot c_{xr} - (Q + Q_{Ил}) \cdot c_x + V \cdot (\mu \cdot c_x - b \cdot c_x) \\ V \cdot \frac{ds}{dt} = Q \cdot s_i - Q_{мул} \cdot s - (Q + Q_{мул}) \cdot s - V \cdot \frac{\hat{\mu}}{Y} \cdot c_x \\ \frac{dc_{кис}}{dt} = \alpha \cdot Q_{Возд} (c_{кис}^S - c_{кис}) - 1,35 + 0,63 \cdot L_S^{eидн} - 0,09 \cdot (L_S^{eидн})^2 \end{cases},$$

где  $V$  - объем сточных вод,  $c_x$  - концентрация микроорганизмов в аэраторе,  $c_{xr}$  - концентрация микроорганизмов во возвратном иле;  $Q$  - входной поток сточных вод,  $Q_{Ил}$  - поток возвратного ила,  $b$  - удельный показатель гибели микроорганизмов,  $\mu$  - удельный показатель роста микроорганизмов, который зависит от концентрации загрязнений,  $\hat{\mu}$  - максимальное значение показателя роста микроорганизмов,  $K$  - постоянный параметр, который зависит от конструкции аэратора,  $s$  - концентрация загрязнений в аэраторе,  $s_i$  - концентрация загрязнений во входном потоке сточных вод,  $Y$  - коэффициент восстановления,  $c_{кис}$  - концентрация растворенного кислорода,  $\alpha$  - коэффициент растворенного кислорода,  $c_{кис}^S$  - концентрация насыщения,  $L_S$  - загрузка на ил,  $Z$  - зольность ила.

Управляемыми величинами являются подачи активного ила и воздуха, то есть возможно изменение их количества при помощи подачи в аэротенки. На процесс очистки воды действуют возмущающие факторы, а именно количество сточных вод, которые поступают в аэротенк  $Q$ , объем сточных вод в аэраторе  $V$ , концентрация загрязняющих веществ во входном потоке вод  $S_i$ .

При синтезе алгоритмической структуры СУ необходимо выполнить следующие главные требования;

- 1) система должна как можно лучше, точнее воспроизводить любые изменения задающего воздействия  $x(t)$  на выходе  $y(t)$  объекта управления;
- 2) система должна максимально лучше устранять влияние возмущений (как внешних, так и внутренних) на управляемую координату  $y(t)$ ;
- 3) система должна быть устойчивой.

Первым двум главным целям синтеза соответствуют следующие математические условия:

- передаточная функция САУ по каналу задания должна быть равна единице:

$$W_3(p) = \frac{Y(p)}{X(p)} = 1,$$

- передаточная функция по каналам возмущений, например, по возмущению  $f(p)$ , приложенному на выходе объекта, равна нулю:

$$W_B(p) = \frac{Y(p)}{F(p)} = 1 - W_B(p) = 0.$$

Для решения задачи синтеза алгоритмической структуры должны быть известны передаточная функция  $W_O(p)$  объекта управления, возмущения  $f_{вх}$  и  $f_{вых}$  действующие на входе и выходе объекта, а также помеха  $g$  возникающая в каналах задания и измерения [3,4].



Внешнее воздействие на объект управления довольно долгое время имеют одно и то же значение, таким образом очевидно, что объект является инерционным с запаздыванием.

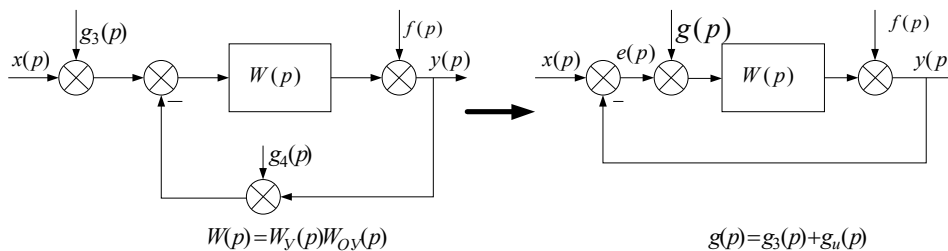


Рисунок 1 – Алгоритмическая структура системы управления

Определим структуру и передаточную функцию идеального регулятора для инерционных объектов с запаздыванием, которые можно описать следующей обобщенной передаточной функцией

$$W_o(p) = W'_o(p)e^{-p\tau_o}, \tag{1}$$

где  $W'_o(p)$  - дробно-рациональная функция, характеризующая инерционную часть объекта,  $\tau_o$  - чистое запаздывание объекта.

Учтем, что при подстановке передаточной функции (1) в формулу

$$W_{p.u}(p) = \frac{y(p)}{\varepsilon_1(p)} = \frac{\Phi_{onm}(p)}{1 - \Phi_{onm}(p)} \frac{1}{W_o(p)}, \tag{2}$$

в передаточной функции регулятора появится сомножитель  $e^{+p\tau_o}$  который соответствует идеальному упредителю и точная реализация которого технически невозможна. Поэтому с целью упрощения искомой структуры регулятора и облегчения его технической реализации целесообразно допустить, чтобы для объектов, содержащих чистое запаздывание  $\tau_o$ , идеальная система воспроизводила задающее воздействие с запаздыванием  $\tau_o$  т. е. Чтобы

$$\Phi_X(p) = \Phi_{onm}(p) = \Phi'_{onm}(p)e^{-p\tau_o}, \tag{3}$$

где  $\Phi'_{onm}(p)$  - оптимальный фильтр для сигналов  $x(p)$  и  $g(p)$ .

Тогда, согласно (2) получим идеальный регулятор для объектов с запаздыванием

$$W_{p.u}(p) = \frac{\Phi'_{onm}(p)}{1 - \Phi'_{onm}(p)e^{-p\tau_o}} \frac{1}{W'_o(p)}, \tag{4}$$

который называется регулятором Ресвика.

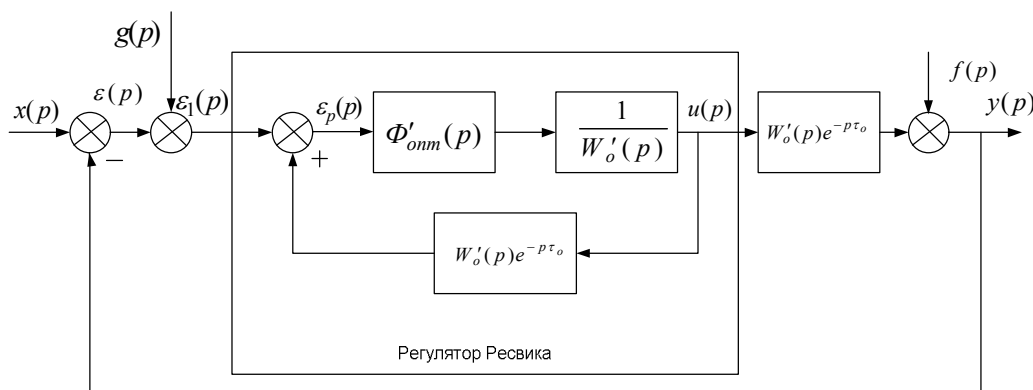


Рисунок 2 – Структурная схема идеального регулятора Ресвика для объектов с запаздыванием

Внутренняя обратная связь регулятора Ресвика, содержащая звено чистого запаздывания, прогнозирует, какой сигнал должен появиться на выходе объекта после очередного изменения управляющего воздействия  $u$ . Так как эта связь положительная, то прогнозируемый сигнал постоянно компенсирует (нейтрализует) равный ему реальный выходной сигнал объекта. Результирующий сигнал  $\varepsilon_p(p)$  появляется только в первые моменты времени после изменения внешних воздействий. Таким образом, благодаря дополнительной обратной связи, моделирующей динамику объекта, из основного контура как бы исключается чистое запаздывание  $\tau_0$ , которое всегда ухудшает устойчивость системы и затрудняет решение задачи синтеза.

Как и в общем случае, практическая реализация идеальной системы управления объектом с запаздыванием связана с определенными техническими трудностями. Существенным недостатком системы с регулятором (4) является ее критичность или сильная чувствительность к малым вариациям запаздывания объекта: система устойчива только при точном равенстве запаздывания объекта  $\tau_0$  и запаздывания  $\tau_{0M}$ , моделируемого в объекте, т. е.

$$\tau_0 = \tau_{0M}. \quad (5)$$

При несовпадении запаздываний система может стать неустойчивой. Можно показать, что в случае, когда  $\Phi_{onm}(p) = k_{onm}$ , для устойчивости замкнутой системы необходимо  $k_{onm} < 0,5$ . При  $k_{onm} > 0,5$  малейшее нарушение равенства (5) ведет к потере устойчивости, хотя при точном совпадении запаздываний коэффициент  $k_{onm}$  может быть сколь угодно большим.

Для повышения запаса устойчивости систем с регулятором (4) в их контур вводят дополнительные корректирующие звенья или ограничиваются неполной компенсацией инерционной части объекта. Естественно, что динамическая точность управления при этом ухудшается.

Идея нейтрализации запаздывания объекта реализуется также с помощью упредителя Смита, которым охватывают типовые регуляторы. Нетрудно убедиться, что при большом передаточном коэффициенте ( $k_p \rightarrow \infty$ ) регулятор с упредителем Смита эквивалентен регулятору Ресвика с  $\Phi_{onm}(p) = 1$ .

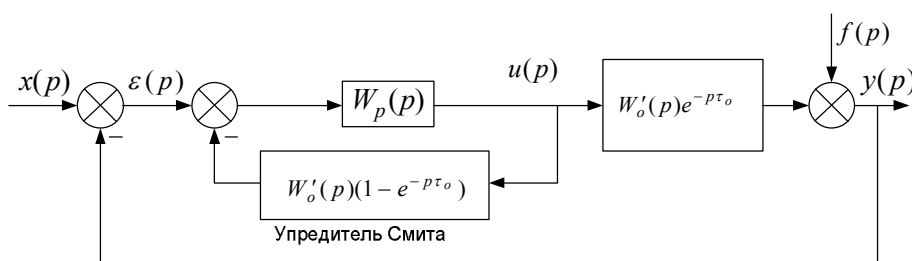


Рисунок 3 - Структурная схема идеального регулятора с упредителем Смита для объектов с запаздыванием

Систему с упредителем Смита технически реализовать легче, так как не требуется моделировать обратную передаточную функцию объекта.

Хотя регулятор Ресвика (4) практически осуществить никогда не удастся, анализ его свойств позволяет оценить предельные возможности управления объектами с запаздыванием. Так, для наилучшего воспроизведения задающего воздействия  $x(p)$  при отсутствии помехи (т. е. при  $\Phi_{onm}(p) = 1$ ) регулятор (4) принимает вид:

$$W_{p,u}(p) = \frac{1}{W'_o(p)(1 - e^{-p\tau_0})}, \quad (6)$$

а передаточные функции замкнутой системы по каналу задания  $(x(p)-y(p))$

$$W_3(p) = e^{-p\tau_0}, \quad (7)$$

и по каналу возмущения ( $f(p)$ - $y(p)$ )

$$W_B(p) = 1 - e^{-p\tau_0} \quad (8)$$

Функциям (7) и (8) соответствуют идеальные переходные процессы прямоугольной формы, заканчивающиеся за минимально возможное время  $t_n = \tau_0$ .

Применим регулятор Ресвика для широко используемых приближенных моделей промышленных объектов с запаздыванием:

- без инерционной составляющей

$$W_O(p) = k_O e^{-p\tau_0}, \quad (9)$$

- с инерционной частью первого порядка

$$W_O(p) = \frac{k_O}{T_O p + 1} e^{-p\tau_0}, \quad (10)$$

- с инерционной частью второго порядка

$$W_O(p) = \frac{k_O}{(T_{O1}p + 1)(T_{O2}p + 1)} e^{-p\tau_0}. \quad (11)$$

Наиболее трудно управляемыми являются объекты, содержащие только чистое запаздывание

$$W_O(p) = k_O e^{-p\tau_0}, \quad (12)$$

и для них лучше всего применять именно регулятор Ресвика или упредитель Смита, обеспечивающие структурную компенсацию запаздывания. Регулятор, (6) для объекта (12) принимает вид

$$W_{pu}(p) = \frac{u(p)}{e(p)} = \frac{1}{k_O(1 - e^{-p\tau_0})}. \quad (13)$$

При медленных (низкочастотных) внешних воздействиях ( $\omega_B \ll \omega_C = 1/\tau_0$ ), для которых допустима приближенная замена

$$e^{-p\tau_0} \approx 1 - p\tau_0, \quad (14)$$

идеальный регулятор эквивалентен И-регулятору:

$$W_{pu}(p) \approx \frac{k_u}{p}, \quad (15)$$

где  $k_u = 1/k_O \tau_0$ .

При высокочастотных воздействиях регулятор (13) действует как дискретный: после каждого очередного изменения управляющего воздействия  $u$  он выжидает в течение интервала  $\tau_0$ , благодаря этому контур системы оказывается как бы разомкнутым, а устойчивость ее улучшается.

Для инерционного объекта 1-го порядка с запаздыванием идеальный регулятор (6) с учетом условия (14) становится эквивалентным ПИ-регулятору

$$W_{pu}(p) \approx \frac{T_O p + 1}{k_O \tau_0 p} = k_{II} + \frac{k_{II}}{p} = k_p \left( 1 + \frac{1}{T_{II} p} \right), \quad (16)$$

где  $k_{II} = k_p = T_O/k_O \tau_0$ ,  $k_{II} = k_p/T_{II} = 1/k_O \tau_0$ , что дает еще дополнительные соотношения:  $k_p k_O = T_O/\tau_0$  и  $T_{II} = T_O$ .

Наконец, для инерционного объекта 2-го порядка с запаздыванием (17) регулятор Ресвика на низких частотах эквивалентен ПИД-регулятору

$$W_{pu}(p) \approx \frac{(T_{O1}p + 1)(T_{O2}p + 1)}{k_O \tau_0 p} = k_{II} + \frac{k_{II}}{p} + k_D p = k_p \left( 1 + \frac{1}{T_{II} p} + T_D p \right), \quad (18)$$

где  $k_{II} = k_P = (T_{o1} + T_{o2}) / k_o \tau_o$ ,  $k_{II} = k_P / T_{II} = 1 / k_o \tau_o$ ,  $k_D = k_P T_D = (T_{o1} T_{o2}) / k_o \tau_o$ .

Для выполнения главных требований к синтезу системы управления, рассмотрим контуры, в которых протекают сложные технологические процессы отдельно. Регулирование подач в аэротенк воздуха и ила осуществляется изменением продуктивности компрессора и насоса. Внешние влияние на объект довольно длительное время имеют одно и тоже значение, поэтому для таких контуров используют ПИ-регуляторы. Передаточная функция ПИ-регулятора имеет вид

$$W_{ПИ}(p) = K_p + \frac{1}{T_{II} \cdot p}$$

Для оценки качества регулирования в замкнутой системе с регулятором обычно используют ряд критериев качества, в данном случае критерием качества для регулятора с учетом его предназначения, для компрессорной установки будет максимум ошибки регулирования

$$e_{\max} = \max_{0 < t < \infty} |e(t)|$$

Вид компрессорной установки в терминах Matlab Simulink приведена на рис. 1.

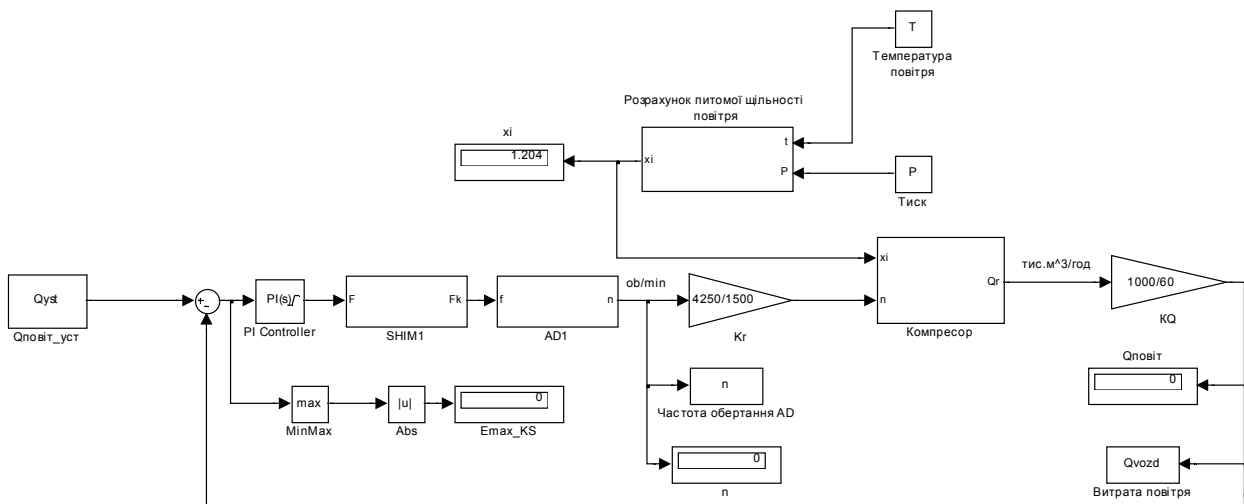


Рисунок 4 – Схема моделювання компрессорної установки

После настройки ПИ-регулятора и проведенном регулировании получены следующие результаты:

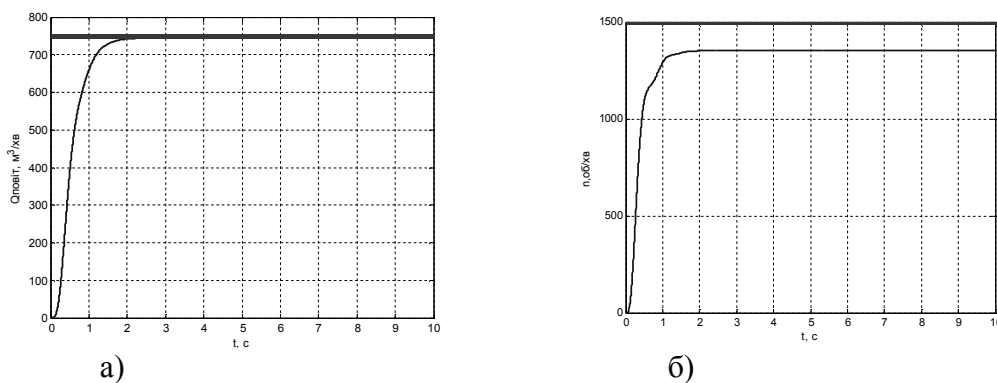


Рисунок 5 – а) частота вращения двигателя, б) подача (расход) воздуха

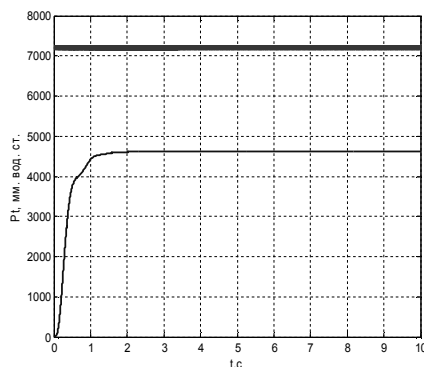


Рисунок 6 – Теоритическое давление  $P_{t_{уст}} = 4616$  мм.вод.ст

Таким образом, ПИ-регулятор имеет положительные стороны: коэффициент усиления на может быть меньше  $K_p = 0,01$ , поэтому увеличивается динамическая точность регулирования; модуль коэффициента пропорциональности регулятора стремится к бесконечности, обеспечивая тем самым нулевую ошибку в установившемся режиме.

Рассмотрим насосную установку в терминах Matlab Simulink, приведенную на рис. 7.

Регулирование расхода ила косвенно зависит от изменения скорости вращения асинхронного двигателя, который регулируется ПИ-регулятором. Для контура подачи активного ила критерий максимума ошибки регулирования не подходит, потому что привод работает с запасом, номинальное значение расхода ила достигается раньше, чем двигатель разгонится до номинальной частоты вращения, что обусловлено технической реализацией.

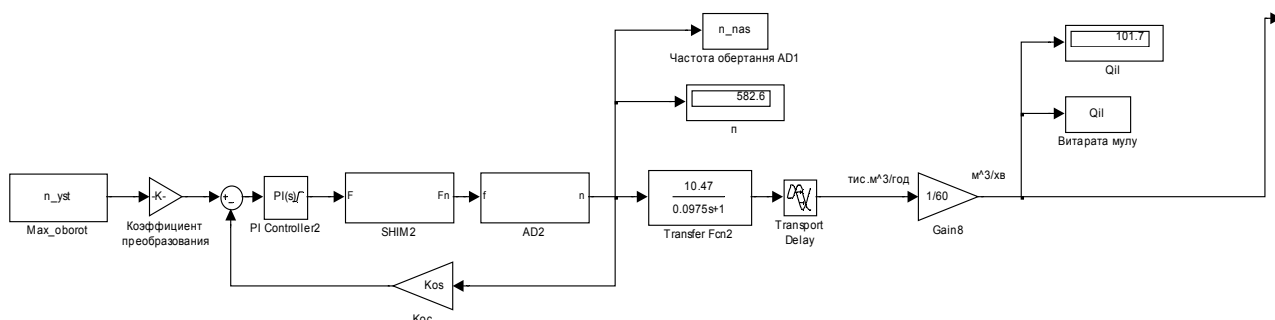


Рисунок 7 – Схема моделирования насосной установки

Как и для компрессорной установки настраиваем ПИ-регулятор и проводим моделирование. Результаты моделирования приведены на рис. 8.

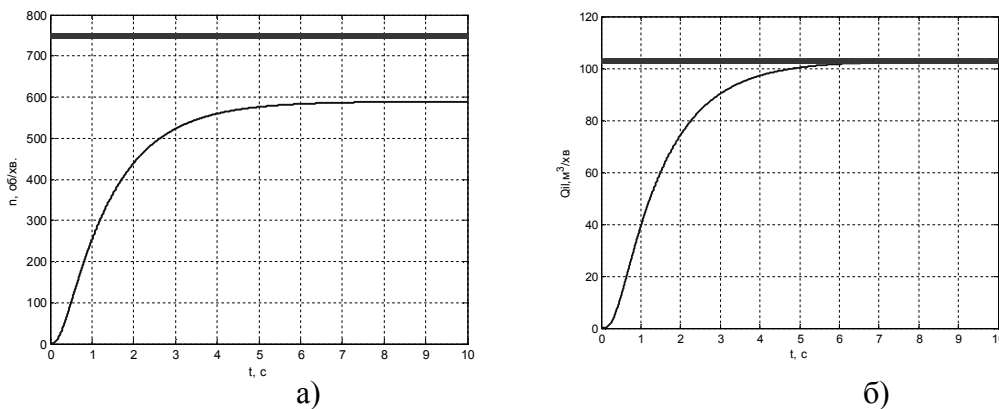


Рисунок 8 – а) частота вращения двигателя; б) подача активного ила.

Рассмотрим общую схему управления очистными сооружениями. Реальная САУ очистных сооружений управляется автоматически при помощи встроенного в преобразователь частоты программируемого логического контроллера. Так как на вход по обратной связи в синтезированную непрерывную систему управления поступает цифровой сигнал от датчика, который измеряет концентрацию растворенного кислорода, необходимо организовать цифровое управление для цифрового сигнала и его обработки. Для регулирования используется дискретный ПИД-регулятор. Передаточная функция которого в дискретной форме имеет вид:

$$W_{\text{ПИД}}(z) = \frac{k_0 + k_1 z + k_2 z^2}{z(z-1)}$$

Схема моделирования САУ очистными сооружениями приведена на рис. 9 [5,6].

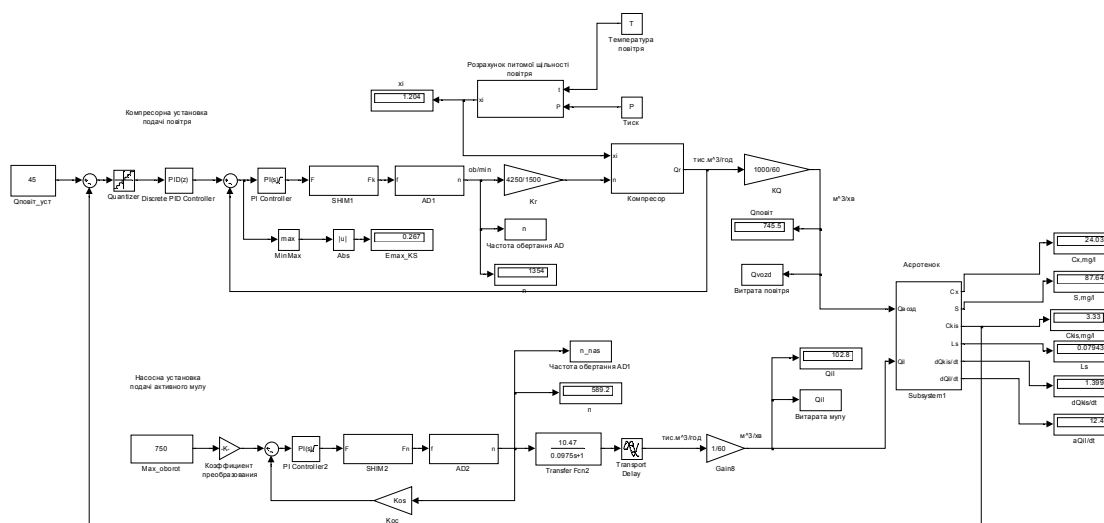


Рисунок 9 – Схема моделирования САУ очистными сооружениями

После настройки коэффициентов и проведенном моделировании можно сделать выводы:

- концентрация микроорганизмов в аэротенке начинает увеличиваться, поскольку есть благоприятные условия для жизнедеятельности микроорганизмов (воздух и загрязнения);
- концентрация растворенного кислорода сначала увеличивается, благодаря тому, что поступает воздух в аэротенк, а потом уменьшается, что обусловлено потреблением растворенного кислорода активным илом;
- нагрузка на ил и скорость потребления кислорода находятся в пределах нормы.

### Выводы

1. Были определены управляемые величины (подача активного ила и воздуха), выделены воумощающие факторы, влияющие на процесс воочистки.
2. При помощи выбранного ПИ-регулятора для управления компрессорной и насосной установками, получены необходимые аperiodические процессы, перерегулирование приведено к нулю, нет статической ошибки.
3. Анализ общей схемы управления очистными сооружениями показал, что САУ работает в пределах заданных диапазонов. Чистое запаздывание объекта, отрицательно влияющее на устойчивость системы управления, можно устранить из замкнутого контура системы с помощью регулятора, наилучшими для нашей системы являются ПИ- и ПИД-регуляторы, при этом передаточный коэффициент регулятора должен быть прямо пропорционален постоянным времени объекта и обратно пропорционален передаточному коэффициенту объекта и времени запаздывания.

**Список использованной литературы**

1. Федюн Р.В. Принципы построения динамической модели процесса биохимической водоочистки / Р.В. Федюн, В.А. Попов, Т.В. Найденова // Наукові праці ДонНТУ. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація. - 2010. - Випуск 20 (158). – С. 30 – 37.
2. Федюн Р.В. Математична модель технологічного процесу біохімічного водоочищення / Р.В. Федюн, Т.В. Найдьонова, Р.В. Юрченко // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація. - 2012. - Випуск 22(200). - С. 48-55.
3. Дорф Р. Современные системы управления / Р. Дорф, Р. Бишоп. - М.: Лаборатория Базовых знаний, 2002. - 832 с.
4. Лукас В.А. Теория управления техническими системами: у[чебный курс для вузов]. - Екатеринбург: Издательство УГГГА, 2002. - 675 с.
5. Федюн Р.В. Дослідження динаміки САУ процесом біохімічного водоочищення / Р.В. Федюн, Т.В. Найдьонова // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація. - 2013. - Випуск 2(25). - С. 64-71.
6. Брагинский Л.Н. Моделирование аэрационных сооружений для очистки сточных вод / Л.Н. Брагинский, М.А. Евилевич. – Л.: Химия, 1980. – 144 с.

**References**

1. Fedyun, R.V., Popov, V.A. and Naydyenova, T.V. (2010), "Principles of construction of the dynamic model of the process a biochemical water treatment", *Naukovi praci DonNTU. Serija: Obchysljuval'na tehnika ta avtomatyzacija*, Donetsk, DonNTU, vol. 20 (158), pp. 30 – 37.
2. Fedyun, R.V., Naydyenova, T.V. and Yurchenko, R.V. (2012), "A mathematical model of the process of biochemical water treatment", *Naukovi praci DonNTU. Serija: Obchysljuval'na tehnika ta avtomatyzacija*, Donetsk, DonNTU, vol. 22 (200), pp. 48 – 55.
3. Dorf, R. and Bishop, R. (2002), "Sovremennye sistemy upravlenija", Moscow, Laboratorija Bazovyh znaniy, Russia.
4. Lukas, V.A. (2002), "Teorija upravlenija tehniceskimi sistemami", Ekaterinburg, Izdatel'stvo UGGGA, Russia.
5. Fedyun, R.V., Naydyenova, T.V. (2013), "Research of dynamics of SAU by the process of biochemical waste water treatment", *Naukovi praci DonNTU. Serija: Obchysljuval'na tehnika ta avtomatyzacija*, Donetsk, DonNTU, vol. 2 (25), pp. 64 – 71.
6. Bruginskij, L.N. and Evilevich, M.A. (1980), "Modelirovanie aeracionnih sooruzhenij for ochistki stochnih vod", Leningrad, Himija, USSR.

Надійшла до редакції:  
20.05.2014

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

**Т.В. Найдьонова, Р.В. Федюн**

**ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»**

**Синтез САУ процесом біохімічного водоочищення.** Виконано синтез САУ процесом біохімічного водоочищення. Оскільки процес біохімічного водоочищення включає декілька складних процесів, то синтез САУК був проведений для трьох контурів. Були виявлені регульовані параметри – подача активного мулу та повітря, а також визначені збурюючі фактори: кількість стічних вод, які надходять до аеротенку, об'єм стічних вод в аеротенку, концентрація забруднень у вхідному потоці вод. Виконаний синтез системи управління компресорної та насосної установки. Обрані регулятори та визначено їх

параметри настройки. Виконане моделювання динамічних процесів в САУ підтвердило ефективність запропонованих законів управління.

**Ключові слова:** біохімічне очищення стічних вод, синтез САУ, система автоматичного управління, ПІД- регулятор, регулятор Ресвіка, предікатор Сміта, математичне моделювання.

**R.Fedyun, T.Naydyenova**

**Donetsk National Technical University**

**Synthesis of automatic control system of water biofiltration process.** The control object is aerotank, where essential consumption of electric power is occurred. The water purification is carried out by microorganisms (active silt) and air, which is accordingly given by powerful compressors and pumps. Design of the effective automatic control system is impossible without deep research of characteristics and processes that flow in the control object. The synthesis of ACS of water biofiltration was performed. As the process of water biofiltration includes several complex processes, the synthesis of ACS was conducted for three basic contours. Control variables were defined: feed of active silt and air; perturbing factors were also defined: amount of effluent water coming to aerotank, volume of effluent water in aerator, concentration of contaminants in the input water stream. The synthesis of control system of compressor and pump installation was performed. The ideal regulators were considered for objects with a delay: Resvik regulator and Smith ideal regulator with preceding. For compressor and pump installation control PI-regulators are chosen and their tuning parameters are defined. For control in the whole control system of water biofiltration process PID-regulator was chosen. The analysis of general control circuit of treating facility showed that ACS works within the limits of specified bands. Object pure time delay that negatively influences on stability of control system is possible to remove from the system closed contour by means of regulator. PI- and PID-regulators are the most appropriate for the considered system, the transmission ratio of regulator must be directly proportional to time constant of object and inversely proportional to the ratio of object and delay time. The executed simulation of dynamic processes in ACS confirmed the efficiency of offered control laws.

**Keywords:** effluent water biofiltration, synthesis of ACS, automatic control system, PID-regulator, Resvik regulator, Smith preceding, mathematic modeling.



**Федюн Роман Валерьевич**, Украина, закончил Донецкий национальный технический университет, канд. тех. наук, доцент, доцент кафедры автоматизации и телекоммуникаций ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет» (ул. Артема, 58, г. Донецк, 83001, Украина). Основное направление научной деятельности – моделирование и автоматическое управление технологическими процессами в промышленности.



**Найденова Татьяна Владимировна**, Украина, закончила Донецкий национальный технический университет, ассистент кафедры автоматизации и телекоммуникаций ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет» (ул. Артема, 58, г. Донецк, 83001, Украина). Основное направление научной деятельности – моделирование и автоматическое управление технологическими процессами в промышленности.