

Лошак К.Р.

Одеський національний політехнічний університет

Ложечніков В.Ф.

Одеський національний політехнічний університет

РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЗМІШУВАЛЬНОГО БАКА ХІМІЧНИХ РЕЧОВИН

Об'єктом проектування є змішувальний бак хімічних речовин, що входить у систему водовідведення котлів ТЕС та виконує функцію нейтралізації кислих стічних вод. Враховуючи необхідність забезпечення одержання великої кількості продукту однакової якості, розглядається змішувальний бак безперервної дії. Здійснюється розрахунок і вибір регулюючого органу для підтримки рівня нейтралізованих стоків та концентрації солей. Для одержання коефіцієнтів регуляторів автоматизованої системи управління досліджується математична модель об'єкта, реалізована у середовищі Simulink.

Ключові слова: змішувальний бак хімічних речовин, нейтралізація стічних вод, автоматизована система управління, регулюючий орган.

Постановка проблеми. Опис технологічного процесу. Теплоенергетика є однією з галузей, що істотно забруднюють природне середовище. Ступінь шкоди стічних вод теплових електростанцій для навколишнього середовища залежить від багатьох факторів, головним з яких є хімічний склад стічних вод. Найбільш небезпечними для природних водойм вважаються скиди, що містять масла, нафтопродукти, а також важкі метали. Саме для цих забруднювачів передбачаються жорсткі нормативи по залишковим концентраціям, що вимагають серйозного ставлення до технологій очищення промислових стічних вод.

Введення в дію сучасних і вдосконалених технологій водоочищення одночасно вирішує багато проблем, зокрема:

- реалізація процесів пом'якшення, знезалізування та очищення виробничого конденсату;
- очищення відпрацьованих відмивних і миючих розчинів, що містять рідкі та концентровані сполуки (кислоти, луги), у тому числі розчинів для промивання парових котлів;
- очищення замаслених технічних вод, що піддаються скиданню;
- очищення і відділення шлаків і жирів від зливних і талих стічних вод, зібраних з території підприємства.

На ТЕС повинна діяти єдина система водопостачання-водовідведення, за якої стічні води одного типу, безпосередньо або після певної обробки, могли б бути вихідними для інших споживачів тієї ж ТЕС (або зовнішніх).

Всі стічні води, які повертаються в «голову» процесу, не повинні бути такими, що мають

додатково оброблятися реагентами на етапі попередньої очистки, в разі ж необхідності обробки вапном, содою і коагулянтном вони повинні перемішуватися (усереднюватися) у збірному баку.

Крім єдиної загальної каналізації, для всіх видів прісних вод ВПУ повинні бути і окремі скидні канали для засолених і кислих вод (лужні мають цілковито використовуватись в циклі, в тому числі для нейтралізації). Ці води потрібно збирати в спеціальні баки-котловани.

Зважаючи на періодичну роботу земляних котлованів (переважно в літній час), для миючих розчинів і відмивних вод котлів після хімічних промивок, після установок для нейтралізації цих вод і обмивальних вод РВП слід передбачати можливість подання на ці споруди різних видів вод ВПУ, що скидаються – кислих, лужних і засолених – для спільної чи попереминої нейтралізації, відстоювання, окислення і передачі їх в систему ГЗУ або іншим споживачам. При цьому нейтралізована установка або принаймні її насоси та арматура повинні розміщуватися в утепленому приміщенні.

Стічною водою є будь-який потік води, що виводиться з циклу електростанції. До стічних, або скидних вод, крім вод систем охолодження, належать: скидні води систем гідрозолоуловлення (ГЗУ), відпрацьовані розчини після хімічних промивок теплосилового обладнання або його консервації; регенераційні і шламові води від водоочисних (водопідготовчих) установок; нафтозабруднені стоки, розчини і суспензії, що виникають при обмивах зовнішніх поверхонь нагріву, передусім повітряпідігрівників і водяних економайзерів котлів, що спалюють сірчастий мазут.

Стоки після хімічної промивки або консервації теплосилового обладнання достатньо різноманітні за своїм складом внаслідок великої кількості промивальних розчинів. Для промивок застосовуються соляна, сірчана, плавикова, сульфамінова мінеральні кислоти, а також органічні кислоти: лимонна, ортофталева, адипинова, щавелева, мурашина, оцтова та інші. Поряд з ними використовуються трилон Б, різні інгібітори корозії, поверхнево-активні речовини, тіосечовина, гідразин, нітрити, аміак.

В результаті хімічних реакцій в процесі промивок або консервації обладнання можуть скидатися різні органічні і неорганічні кислоти, луги, нітрати, солі амонію, заліза, міді, трилон Б, інгібітори, гідразин, фтор, уротропін, каптакс і так далі.

Кислі та лужні води змінюють показник рН води водойми в районі їхнього скидання. Зміна рН негативно впливає на флору і фауну водойми, порушує біохімічні процеси і фізіологічні функції у риб і інших живих організмів: за підвищення лужності води (наприклад, за $\text{pH} > 9,5$) у риб руйнується шкірний покрив, тканини плавників і зябра, водні рослини пригнічуються, погіршується самоочищення водойми; за зниження показника ($\text{pH} < 5$) неорганічні (сірчана, соляна, азотна) і органічні (оцтова, молочна, виокам'яна та інші) кислоти чинять на риб токсичний вплив.

Якщо концентрація кислоти або лугу в стічних водах перевищує допустимі показники, то необхідно застосовувати попередню нейтралізацію (рис. 1.1). Здебільшого стічні води іонообмінної частини водопідготовчих установок після змішання скидів регенеративних вод від катіонітів і аніонітних фільтрів мають кислу реакцію. Для нейтралізації застосовують такі лужні реагенти, як доломіт, різні луги, але частіше за все – вапно.

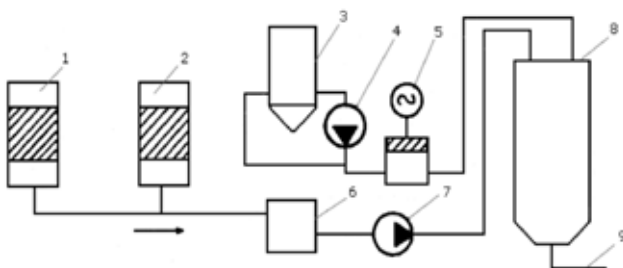


Рис. 1 – Схема нейтралізації стічних вод:

- 1 – Н-катіонні фільтри; 2 – аніонітні фільтри;
- 3 – мішалка вапняного молока;
- 4 – перекачувальний насос; 5 – насос-дозатор;
- 6 – проміжний бак збору регенераційних вод;
- 7 – перекачувальний насос; 8 – бак-нейтралізатор;
- 9 – охолоджуюча або природна води.

Постановка завдання. Метою статті є розробка та дослідження автоматизованої системи управління змішувального бака хімічних речовин

Виклад основного матеріалу дослідження.
Опис об'єкта автоматизації. Якщо необхідно забезпечити одержання великої кількості продукту однакової якості, віддають перевагу проведенню хімічного процесу в безперервно діючих реакторах з усталеним режимом. Поширеним видом таких проточних апаратів є реактори змішування. Проточний реактор змішування може працювати як в не стаціонарному, так і в стаціонарному, тобто сталому режимі.

Реактор змішування безперервної дії являє собою апарат (рис. 2), в який безперервно подають реагенти і безперервно їх виводять у вигляді продуктів реакції. У реакторі спостерігається різка зміна концентрації вихідної речовини під час входу в реактор в результаті миттєвого змішування з реакційною масою.

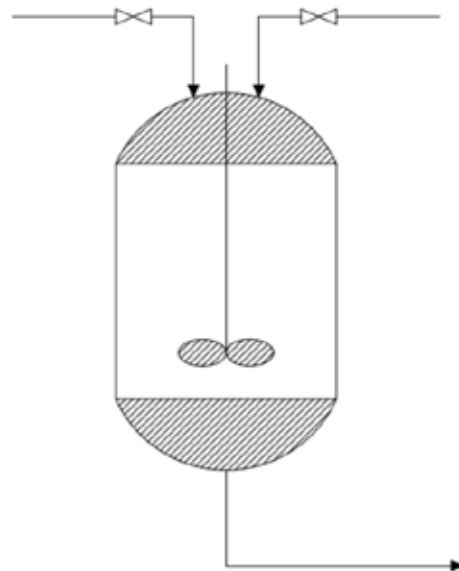


Рис. 2. Змішувальний реактор безперервної дії

Для моделі ідеального змішування приймається ряд припущень:

1) у результаті інтенсивного перемішування встановлюються абсолютно однакові умови у будь-якій точці реактора (концентрації реагентів і продуктів, ступеня перетворення реагентів, температура, швидкість хімічної реакції і так далі);

2) у проточному реакторі ідеального змішування концентрації реагентів у вихідному потоці в момент часу t дорівнюють концентраціям тих же речовин в реакторі;

3) перехід від однієї концентрації до іншої в реакторі ідеального змішування не повинен мати

протяжності в часі; зміна концентрації вихідного реагенту від початкової у вхідному потоці в даний момент часу до концентрації в реакторі в цей же момент часу повинна відбуватися миттєво (стрибокподібно).

Наблизитися до режиму ідеального змішування можна, забезпечивши інтенсивне перемішування реакційної суміші за допомогою механічних мішалок різного типу або циркуляційних насосів, що створюють високу кратність циркуляції. Змішання, близьке до ідеального, легше здійснити в ємнісних апаратах з приблизно рівними діаметром і висотою.

Розробка математичної моделі змішувального баку. Розглянемо технічну систему – змішувальний бак:

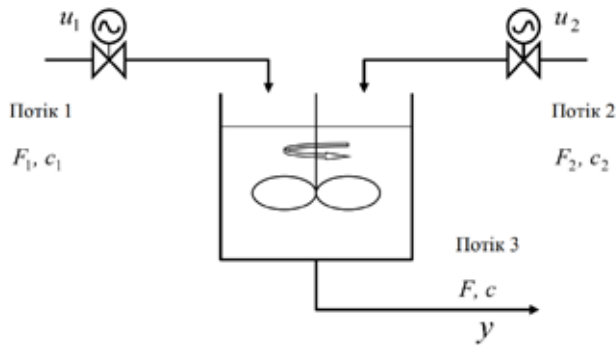


Рис. 3. Технологічна схема технічної системи «змішувальний бак», де F_1, F_2, F – витрати рідини на притоці і витоці системи, m^3/c ; c_1, c_2, c – концентрації на притоці і витоці системи, $кмоль/m^3$; h – рівень рідини у бакові, $м$; S – площа бака, m^2 ; V – об’єм рідини у бакові, m^3 .

Запишемо рівняння системи у стаціонарному (встановленому) стані, коли притік дорівнює витоку (рівняння матеріального балансу): $F_{10} + F_{20} - F_0 = 0$; $c_1 \cdot F_{10} + c_2 \cdot F_{20} - c_0 \cdot F_0 = 0$, де індекс 0 означає встановлений стан.

Записавши умови балансу кінетичної і потенціальної енергії на виході з бака (вважається, що рідина витікає самопливом) $\rho \cdot q \cdot h = 0,5 \cdot \rho \cdot w^2$, де ρ – густина рідини, $кг/m^3$; w – швидкість витоку, $м/с$; q – прискорення вільного падіння, $q = 9,81 м/с^2$; і припустивши, що d – діаметр вихідного трубопроводу, $м$; одержимо: $F = 0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot \sqrt{2 \cdot q \cdot h} = k \cdot \sqrt{h}$ чи, відповідно, $F_0 = k \cdot \sqrt{h_0} = k \cdot \sqrt{\frac{V_0}{S}}$, де k – коефіцієнт.

За зміни витрат у системі відбувається накопичення речовини і перехід до нового встановленого стану. Цей перехідний процес описується диференціальними рівняннями:

$$\begin{cases} \frac{dV(t)}{dt} = F_1(t) + F_2(t) - F(t), \\ \frac{d(c(t) \cdot V(t))}{dt} = c_1 \cdot F_1(t) + c_2 \cdot F_2(t) - c(t) \cdot F(t), \end{cases}$$

де $\frac{dV}{dt}$ – приріст об’єму рідини, $\frac{d(c \cdot V)}{dt}$ – приріст маси рідини.

Наведемо цю систему у стандартному вигляді

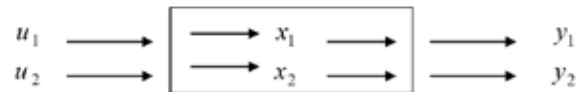


Рис. 3.2. Параметрична схема технічної системи «змішувальний бак»

Позначимо $\begin{cases} u_1(t) = F_1(t) - F_{10} \\ u_2(t) = F_2(t) - F_{20} \end{cases}$,

де $u_1(t)$ – зміна у часі відхилення витрати від номінального значення щодо першого каналу; $u_2(t)$ – те ж щодо другого каналу.

$$\begin{cases} x_1(t) = V(t) - V_0 \\ x_2(t) = c(t) - c_0 \end{cases}$$

де $x_1(t)$ – зміна у часі відхилення об’єму від номінального у бакові; $x_2(t)$ – відхилення концентрації від номінальної.

$$\begin{cases} y_1(t) = F(t) - F_0 \\ y_2(t) = c(t) - c_0 \end{cases}$$

де $y_1(t)$ – зміна витрати на виході; $y_2(t)$ – зміна концентрації на виході.

Оскільки залежність $F = k \cdot \sqrt{h}$ – нелінійна, то для спрощення розрахунку бажано її лінеалізувати, розклавши, наприклад, на ряд Тейлора (розглядаючи малі відхилення x_1, x_2 від встановленого стану):

$$F(t) \approx F_0 + \frac{1}{1!} \cdot \left. \frac{df(V)}{dV} \right|_{V=V_0} \cdot x_1$$

$$F = k \cdot \sqrt{\frac{V}{S}} \approx k \cdot \sqrt{\frac{V_0}{S}} + k \cdot \left. \frac{d\sqrt{V}}{dV} \right|_{V=V_0} \cdot x_1 = \frac{1}{2} \cdot \frac{F_0}{V_0} \cdot x_1 + F_0$$

З урахуванням раніше викладеного запишемо:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{dx_1}{dt} = F_{10} + u_1(t) + F_{20} + u_2(t) - F_0 - 0,5 \cdot \frac{F_0}{V_0} \cdot x_1$$

$$\frac{dx_1}{dt} = -\frac{1}{2 \cdot g} \cdot x_1 + u_1 + u_2; (\text{т.к. } F_{10} + F_{20} - F_0 = 0), \text{ де } g = \frac{V_0}{F_0}$$

$$\begin{aligned} \frac{d(c \cdot V)}{dt} &= \frac{d(c_0 + x_2) \cdot (V_0 + x_1)}{dt} = \\ &= \frac{d(c_0 \cdot V_0 + V_0 \cdot x_2 + c_0 \cdot x_1 + x_2 \cdot x_1)}{dt} \approx V_0 \cdot x_2 + c_0 \cdot x_1, \end{aligned}$$

припустивши у випадку дрібності $x_1 \cdot x_2 = x_0$. Тоді, підставивши похідну x_1 , одержимо

$$\dot{x}_2 = \frac{c_1(u_1 + F_{10})}{V_0} + \frac{c_2(u_2 + F_{20})}{V_0} - \frac{(c_0 + x_2) \cdot F_0}{V_0} - \frac{(c_0 + x_2) \cdot x_1}{2 \cdot g \cdot V_0} + \frac{x_1 + c_0}{2 \cdot g \cdot V_0} - \frac{u_1 + c_0}{V_0} - \frac{u_2 + c_0}{V_0}$$

$$\dot{x}_2 = \frac{(c_1 + c_0) \cdot u_1}{V_0} + \frac{(c_2 + c_0) \cdot u_2}{V_0} + \frac{c_1 \cdot F_{10} + c_2 \cdot F_{20} - c_0 \cdot F_0}{V_0} - \frac{x_2 \cdot F_0}{V_0}$$

$$x_2 = -\frac{1}{g} \cdot x_2 + \frac{c_1 - c_0}{V_0} \cdot u_1 + \frac{c_2 + c_0}{V_0} \cdot u_2$$

$$\begin{cases} x_2 = -\frac{1}{2 \cdot g} \cdot x_1 + u_1 + u_2 \\ x_2 = -\frac{1}{g} \cdot x_2 + \frac{c_1 - c_0}{V_0} \cdot u_1 + \frac{c_2 - c_0}{V_0} \cdot u_2 \end{cases}$$

Представимо цю систему у матричній формі запису:

$$\begin{cases} \dot{x} = A \cdot x + B \cdot u \\ y = C \cdot x \end{cases}$$

Тоді матриці А і В запишуться у вигляді

$$A = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2 \cdot g} & 0 \\ 0 & -\frac{1}{g} \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ \frac{c_1 - c_0}{V_0} & \frac{c_2 - c_0}{V_0} \end{bmatrix}$$

Для визначення матриці С необхідно встановити зв'язок між векторами x та y. Оскільки $y_1 \approx \Delta F$, $x_1 \approx \Delta F$, то $y_1 = \frac{F_0}{2 \cdot V_0} \cdot x_1 = \frac{1}{2 \cdot g} \cdot x_1$;

$$y_2 \approx \cdot C, x_2 \approx \cdot C, \text{ то } y_2 = x_2, \text{ тоді } A = \begin{bmatrix} \frac{1}{2 \cdot g} & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Таким чином, система має такий вигляд:

$$\begin{cases} \dot{x} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2 \cdot g} & 0 \\ 0 & -\frac{1}{g} \end{bmatrix} \cdot x + \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ \frac{c_1 - c_0}{V_0} & \frac{c_2 - c_0}{V_0} \end{bmatrix} \cdot u \\ y = \begin{bmatrix} \frac{1}{2 \cdot g} & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot x \end{cases}$$

Коефіцієнти моделі:

- $V_0 = 1.5, \text{ м}^3$;
- $F_{10} = 0.015, \text{ м}^3/\text{с}$;
- $F_{20} = 0.005, \text{ м}^3/\text{с}$;
- $F_0 = F_{10} + F_{20} = 0.02, \text{ м}^3/\text{с}$;
- $c_1 = 1.5, \text{ кмоль}/\text{м}^3$;
- $c_2 = 2.5, \text{ кмоль}/\text{м}^3$;

$$c_0 = \frac{c_1 \cdot F_{10} + c_2 \cdot F_{20}}{F_0} = 1.75, \text{ кмоль} / \text{ м}^3;$$

$$g = \frac{V_0}{F_0} = 75, \text{ с}.$$

Параметри для системи, використаної у прикладах розрахунку:

$$A = \begin{bmatrix} -0.025 & 0 \\ 0 & -0.05 \end{bmatrix}; B = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ -0.06 & 0.73 \end{bmatrix}; C = \begin{bmatrix} 0.025 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

У середовищі Simulink релізуємо схему моделі

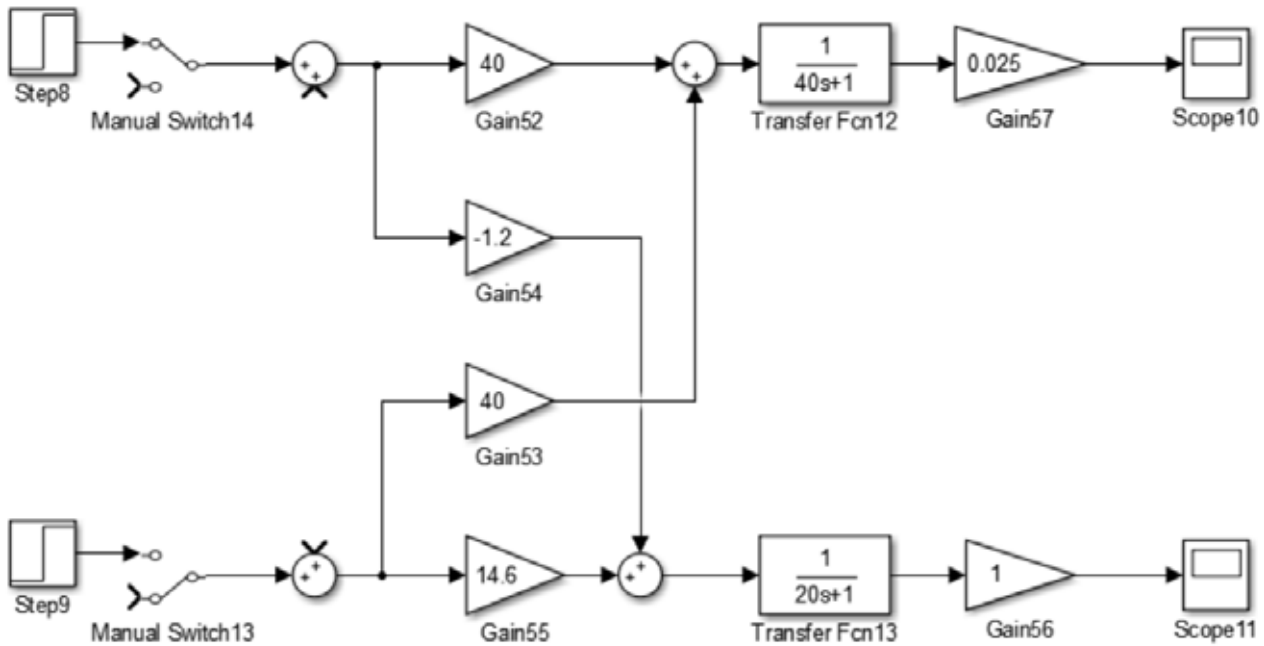


Рис. 4. Модель змішувального баку

Отримуємо криві розгону:

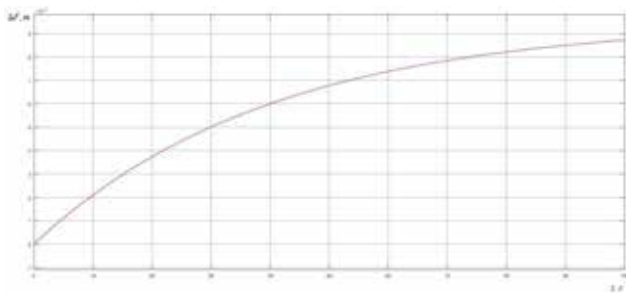


Рис. 5. Крива розгону за витратою стоків при збуренні по першому каналі

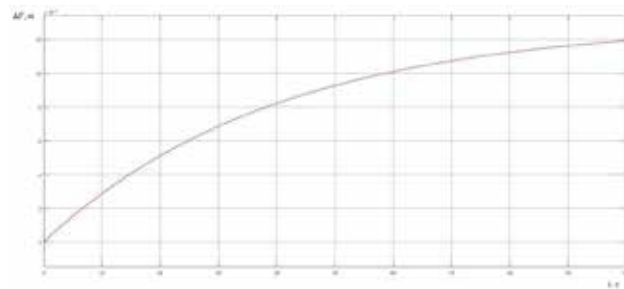


Рис. 7. Крива розгону за витратою стоків при збуренні по другому каналі

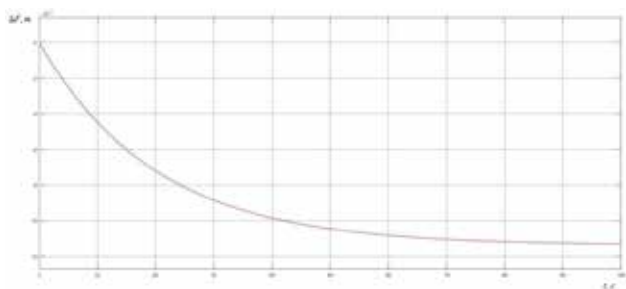


Рис. 6. Крива розгону за витратою луѓу при збуренні по першому каналі

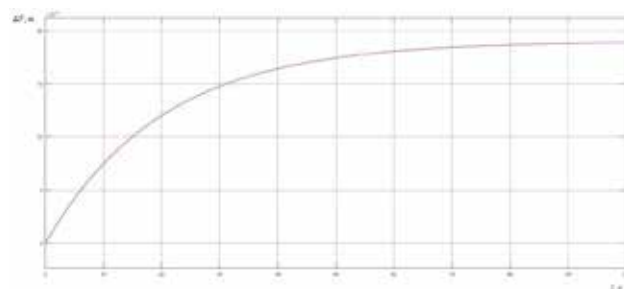


Рис. 8. Крива розгону за витратою луѓу при збуренні по другому каналі

Висновки. У роботі було розглянуто змішувальний бак хімічних речовин, що входить у систему водовідведення котлів ТЕС. Були розглянуті вимоги до очищення стічних вод та їх нейтралізації, а також принцип роботи та характеристики змішувального баку.

В результаті був проведений розрахунок та побудова математичної моделі об'єкту, знайдені оптимальні параметри налаштування регуляторів для підтримки рівня нейтралізованих стоків та концентрації солей.

Список літератури:

1. Плетнев Г.П. «Автоматизированное управление объектами тепловых электростанций». Москва : Энергоиздат, 1981 р. 159 с.
2. Беркович В.М., Горохов В.Ф., Татарніков В.П. Про можливість регулювання потужності енергосистеми за допомогою атомних електростанцій. *Теплоенергетика*. Вип. 6. 19 с.
3. Максимов М.В. Метод оцінки ефективності алгоритму маневру потужністю енергоблоку з реакторами ВВЕР-1000 / *Известия вузов. Серия «Ядерная энергетика»*, 2008. Вип. 4. 128–139 с.
4. Баскаков В.Є. Алгоритм експлуатації енергоблоку з ВВЕР у підтримці добового балансу потужності енергосистеми. *Праці Одеського політехнічного університету*, 2007. Вип. 2(28). 56–59 с.
5. Сучасні технології управління : монографія : в 2 т. / під заг. ред. С.В. Купрієнко; Sworld. Одеса : Купрієнко С.В., 2012. 179 с.
6. Медведєв Р.Б., Сангінова О.В. Оптимальне керування процесом зміни концентрації борної кислоти в теплоносії першого контуру АЕС з ВВЕР-1000 / *Наукові вісті Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»*, 2002. Вип. 2(22). 29–56 с.
7. Волошкіна О.О., Беглов К.В., Плахотнюк О.А. Дослідження регулятора концентрації рідкого поглинача енергоблоку АЕС / *Автоматизація технологічних і бізнес-процесів*, 2015. Т. 7. Вип. 4. 18–24 с.
8. Кисельова Н.І., Погрібний Я.С., Беглов К.В. Дослідження регулятора потужності з рідким поглиначем для енергоблоку АЕС з ВВЕР-1000. *Вчені записки «Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського»*. Серія : *Технічні науки*, 2018. Вип. 29(68). Ч. 1. № 3. 134–140 с.

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СМЕСИТЕЛЬНЫМ БАКОМ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

Объектом проектирования является смесительный бак химических веществ, который входит в систему водоотвода котлов ТЭС и выполняет функцию нейтрализации кислых сточных вод. Учитывая необходимость обеспечения получения большого количества продукта одинакового качества, рассматривается смесительный бак непрерывного действия. Проводится расчет и выбор регулирующего органа для поддержания уровня нейтрализованных стоков и концентрации солей. Для получения коэффициентов регуляторов автоматизированной системы управления исследуется математическая модель объекта, реализованная в среде Simulink.

Ключевые слова: смесительный бак химических веществ, нейтрализация сточных вод, автоматизированная система управления, регулирующий орган.

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF AN AUTOMATED CONTROL SYSTEM FOR A CHEMICAL MIXING TANK

The design object is a chemical mixing tank, which is included in the drainage system of boilers of thermal power plants, and performs the function of neutralizing acidic wastewater. Because of need of providing large amount of product the same quality, a continuous mixing tank is considered. Calculation and selection of the regulator to maintain the level of neutralized effluent and salt concentration is performed. To obtain the coefficients of regulators of the automated control system, a mathematical model of the object, implemented in the Simulink environment, is researched.

Key words: chemical mixing tank, wastewater neutralization, automated control system, regulator.