

**Петросян А.А.**

Одеський національний політехнічний університет

**Давидов В.О.**

Одеський національний політехнічний університет

## АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ ЖИВЛЕННЯ ПАРОВОГО КОТЛА ГМ-50

*Упровадження систем автоматизованого управління паровими і водогрійними котлами, побудованих на основі програмованих контролерів, дозволяє автоматизувати процес виробництва теплової енергії в котлах і значно спростити контроль і управління цим процесом. Застосування такої системи підвищує ефективність функціонування котлоагрегату за рахунок зниження споживання енергоресурсів, раціонального спалювання палива, використання технологічного обладнання, оперативного управління обладнанням і технологічним процесом. Об'єктом проектування є автоматизована система управління технологічними процесами живлення парового котла ГМ-50.*

*Підтримання заданого рівня води в барабані є одним із найважливіших умов забезпечення надійної роботи обладнання. Актуальність полягає в тому, що підвищення рівня від нормального збільшує вологість пари, а іноді призводить до закиду води в пароперегрівник і турбіну.*

**Ключові слова:** автоматизована система регулювання, паровий котел, автоматизація, математична модель, передавальна функція.

**Постановка проблеми.** На підприємствах промисловості, де потрібна велика кількість теплової енергії у вигляді пари і гарячої води, котельні обладнані різноманітними паровими і водогрійними котлами, виробленими 30 і більше років тому.

Для управління процесами котли комплектувалися системами, побудованими на основі релейно-контактної автоматики, які до теперішнього часу морально і фізично застаріли. натеper на світовому ринку є повна різноманітність, зокрема мікроконтролерів для промислової автоматизації, призначених для тривалої роботи в різних умовах, а також розвинені комп'ютерні технології дозволяють створювати системи управління процесами, здатні функціонувати в автономному режимі.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Инвариантная система автоматического регулирования при плановом изменении нагрузки, структура которой выбирается на основе использования метода структурно-параметрической оптимизации динамических систем [6, с. 70–71]. В этой публикации было рассмотрено передаточную функцию устройства компенсации, что находят из условия инвариантности основной регулируемой величины по отношению к крайнему внешнему возмущению с учетом заданной передаточной функции системы по основной регулируемой величине.

**Постановка завдання.** Упровадження систем автоматизованого управління паровими і водогрійними котлами, побудованих на основі програмованих контролерів, дозволяє автоматизувати процес виробництва теплової енергії в котлах і значно спростити контроль і управління цим процесом. Застосування такої системи підвищує ефективність функціонування котлоагрегату за рахунок зниження споживання енергоресурсів, раціонального спалювання палива, використання технологічного обладнання, оперативного управління обладнанням і технологічним процесом. Крім того, впровадження таких систем дозволяє знизити вплив людського фактора у виробничому процесі та ймовірність виникнення аварійних режимів функціонування котла. Підвищення екологічних характеристик котельні й культури виробничого процесу.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Барабан (як об'єкт регулювання рівня) є системою ємностей, що складаються з власне барабана, опускної трубної системи й екранної трубної системи (підйомні труби). Ємності заповнені двофазним середовищем (вода і насичений пар).

Зміна рівня в таких системах відбувається під впливом двох факторів: через небаланс між притокою живильної води і стоком (відбором пари), через спінювання суміші бульбашками пара, головним чином, під час збільшення теплової потуж-

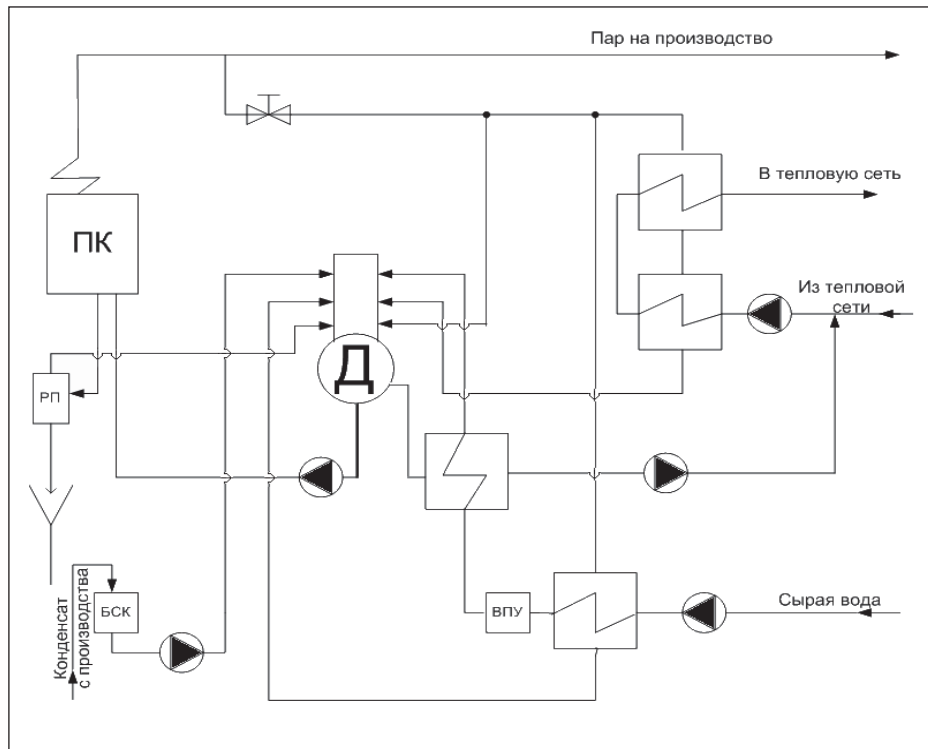


Рис. 1. Теплова схема котельної

ності й падіння тиску в робочому пароводяному просторі.

До системи здійснюється притока маси й енергії з потоком живильної води (регулюючий вплив) і притока енергії від газів до стінки екранних труб, фестону і котельного пучка (збурюючий вплив).

До основного впливу, що обурює, належить стік маси й енергії з потоком відведеної з барабана насиченої пари, а також зміна величини безперервної продувки. Завдяки програмному управлінню система автоматично відстежує всі параметри поточних процесів, що реалізуються водогрійними і паровими котлами, й управляє технологічним обладнанням, забезпечуючи нормальне і безаварійне функціонування котельної установки. Крім того, система контролює справність обладнання і під час виникнення поломок і аварійних ситуацій сигналізує про це обслуговуючому персоналу. Об'єктом проектування є автоматизована система управління технологічними процесами живлення парового котла ГМ-50. Підтримання заданого рівня води в барабані є однією з найважливіших умов забезпечення надійної роботи обладнання. Актуальність полягає в тому, що підвищення рівня, від нормального збільшує вологість пари, а іноді призводить до закиду води в пароперегрівник і турбіну. А занадто низький рівень («пуск» води з барабана котла) може

призвести до порушення циркуляції в окремих екранних трубах котла і їх перепалення. Під час проектування значний час витрачається на вибір елементів, що забезпечують задані параметри, і на перевірку роботи за допустимих відхилень. Наближені методики проектування за нормативами засновані на виборі елементів із заданої номенклатури [4, с. 152].

Автоматизація необхідна для ведення і регулювання процесів експлуатації котла із задіянням мінімальної кількості обслуговуючого персоналу.

На рисунку 1 зображено теплову схему котельні, де ПК – паровий котел ГМ-50, ВПУ – водопідготовча установка, Д – деаератор, БСК – бак збору конденсату, РП – розширювач безперервного продування.

Математичну модель досліджуваного об'єкта утворюють рівняння матеріального й енергетичного балансу робочого середовища (пари і пароводяної суміші) і статичні залежності зв'язку змінних параметрів.

Для отримання моделі об'єкта його розбили на ділянки по каналах «витрата живильної води – рівень», «витрата пари – рівень», а також «температура живильної води – рівень» і «теплосприйняття екранів – рівень» [1, с. 50].

Таким чином, передавальні функції об'єкта матимуть вигляд:

– по каналу «Витрата живильної води – рівень»

$$W(S) = \frac{1}{S} \cdot \frac{-875 \cdot S + 1900}{13100 \cdot S + 9180} \quad (1)$$

– по каналу «Витрата пари – рівень»

$$W(S) = -\frac{1}{S} \cdot \frac{151000 \cdot S - 3940}{13100 \cdot S + 9180} \quad (2)$$

– по каналу «Температура живильної води – рівень»

$$W(S) = \frac{1}{S} \cdot \frac{0.132 \cdot S + 0.531}{13100 \cdot S + 9180} \quad (3)$$

– по каналу «Теплосприйняття екранів – рівень»

$$W(S) = \frac{1}{S} \cdot \frac{0.0021 \cdot S + 0.000862}{13100 \cdot S + 9180} \quad (4)$$

$$\Delta G_D = 6.11 \text{ кг/с} \quad \Delta G_{пв} = 6.72 \text{ кг/с}$$

$$\Delta \theta_{пв} = 21.5 \text{ }^\circ\text{C} \quad \Delta Q = 16521.9 \text{ кДж/с}$$

Статичні характеристики об'єкта при зміні рівня у барабані котла під дією обурень:

1) по каналу «Витрата живильної води – рівень»

$\Delta I, mA$

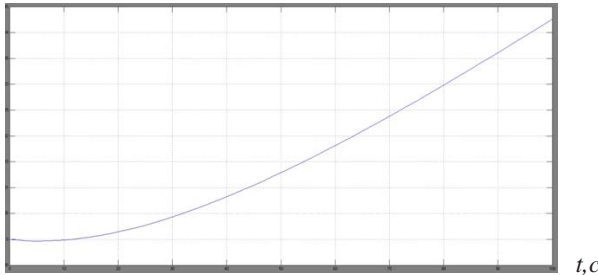


Рис. 2. Статична характеристика по каналу «Витрата живильної води – рівень»

2) по каналу «Витрата пари – рівень»

$\Delta I, mA$

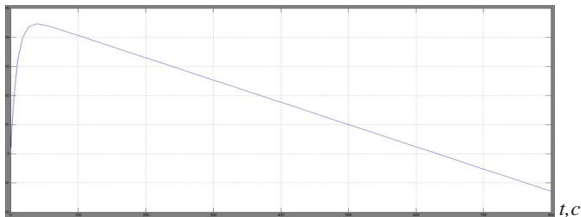


Рис. 3. Статична характеристика по каналу «Витрата пари – рівень»

3) по каналу «Температура живильної води – рівень»

$\Delta I, mA$

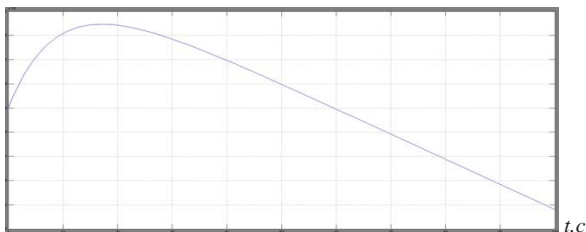


Рис. 4. Статична характеристика по каналу «Температура живильної води – рівень»

4) по каналу «Теплосприйняття екранів – рівень»

$\Delta I, mA$

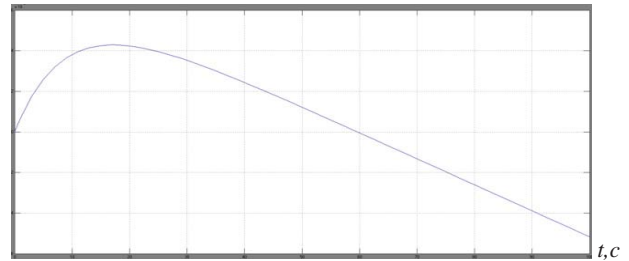


Рис. 5. Статична характеристика по каналу «Теплосприйняття екранів – рівень»

Для нормальної роботи «класичної» трьохімпульсної АСР необхідно, щоб в усталеному режимі сигнали датчиків з витрати пари і води були однаковими за величиною. Якщо ця умова не виконується, то рівень у барабані підтримується зі статичною помилкою. Зазначена особливість є основною перешкодою для використання трьохімпульсної схеми в широкому діапазоні режимів роботи парогенератора. Ця особливість зумовлює низку недоліків цієї схеми: схема дуже чутлива до змін витрат пара і води, що не враховуються датчиками; при зниженому тиску з'являються статичні помилки, викликані зміною щільності перегрітої пари і живильної води (це ускладнює використання схеми під час роботи котлів на змінних параметрах); потрібна особлива ретельність під час поєднання характеристик з витрати пари і води в процесі настройки регулятора.

У результаті багаторічної експлуатації та теоретичних досліджень розроблено схеми, в яких для усунення статичної помилки в канал сигналу по рівню додатково вводиться пропорційно-інтегральний регулятор.

Матеріальний баланс підтримується регулятором витрати, на вхід якого надходять сигнали: командний – з навантаження парогенератора, зворотного зв'язку – з витрати живильної води і коригувальний від ПІ-регулятора рівня. За будь-якого відхилення рівня в барабані від заданого значення вихідний сигнал ПІ-регулятора безперервно змінюється до тих пір, поки нормальне положення не буде відновлено. Отже, в сталому режимі рівень завжди підтримується в суворій відповідності із завданням, а нерівність сигналів витрати компенсується регулятором [3, с. 200].

У всіх барабанних котлах середньої потужності, використовується класична 3-х імпульсна схема регулювання. Однак під час моделювання перехідних процесів у трьохімпульсній АСР рівня з використанням аналітичної моделі барабанного котла

необхідно враховувати структурні особливості моделі барабана котла по рівню. Тому нижче наводиться розрахунок настроювальних параметрів регулятора 3-х імпульсної АСР рівня для подальшого порівняння результатів її роботи в перехідних режимах з запропонованої принципово нової АСР з корегуючим ПІ-регулятором рівня для випадку моделювання перехідних процесів на ЕОМ.

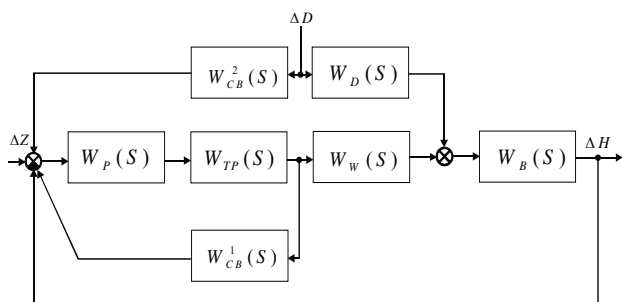


Рис. 6. Структурна схема трьохімпульсної АСР рівня

Структурна схема трьохімпульсної АСР представлена на рисунку 6.  $W_{CB}^2 = k_{CB}^2$ ,  $W_{CB}^1 = k_{CB}^1$  – передавальні функції пристроїв зв’язку по збуренню витратою пара і зміни витрати живильної води відповідно (на практиці це коефіцієнти передавання датчиків витрати живильної води і пари);

$W_{TP}(S) = \frac{k_{PO}}{T_{TP}S + 1}$  – передавальна функція ділянки живильної лінії між регулюючим органом і точкою відбору імпульсу до витратоміра  $k_{PO}$  – коефіцієнт передавання регулюючого органу ( $k\epsilon / c$ ) · % ;

$W_p(S) = \frac{k_p(T_H S + 1)}{T_H S}$  – передавальна функція ПІ-регулятора. (5)

Завданням розрахунку АСР є визначення налаштувань регулятора і необхідних значень коефі-

цієнтів передавання пристроїв зв’язку. Для цього за відомою передавальною функцією регульованого апарату  $W_p(S)$  визначається передавальна функція наведеного об’єкта  $W_{OB}^*(S) = W_{\Delta G_{ПВ} \rightarrow \Delta H}(S) \cdot W_{ЗАП}(S)$ , де  $W_{ЗАП} = e^{-\tau S}$  – транспортне запізнювання регульованої ділянки, яке спостерігається в реальних (експериментальних) кривих розгону за вказаним каналом і може бути пояснено похибкою (нечутливістю) датчика-рівнеміра і можливими люфтами в кінематичній схемі виконавчого механізму. За однією з методик вибору налаштувань регуляторів визначається коефіцієнт передавання умовного ПІ-регулятора  $\mu_m^*$  з умови забезпечення гранично-аперіодичного перехідного процесу. Визначається передавальна функція об’єкта внутрішнього малоінерційного контуру  $W_{OB}(S) = W_{TP}(S) \cdot W_{CB}^1(S)$ , за якою знаходяться налаштування регулятора внутрішнього контуру за умови забезпечення аперіодичності перехідного процесу стабілізації витрати живильної води.

Для виключення статичної помилки в трьохімпульсній АСР необхідно уточнити значення коефіцієнта пристрою зв’язку з обурення витрати пари. Передавальна функція системи регулювання по каналу «витрата пара – рівень» має вигляд:

$$W_{з.с.}(S) = \frac{W_p(S)W_w(S)W_{TP}(S)W_{CB}^2(S) + W_p(S)W_w(S)W_{TP}(S)W_{CB}^1(S) + W_b(S)W_d(S)}{1 + W_{TP}(S)W_p(S)W_{CB}^1(S) + W_p(S)W_w(S)W_{TP}(S)W_p(S)} \quad (6)$$

Розраховані математичні моделі необхідно реалізувати в середовищі Simulink, що дозволить наочно простежити зміну перехідного процесу з урахуванням налаштувань регулятора. Для пояснення процесу необхідні перехідні процеси зміни положення РК і перехідні процеси зміни рівня у барабані котла ГМ-50. Математична модель регулювання рівнем води у барабані котла представлена на рисунку 7.

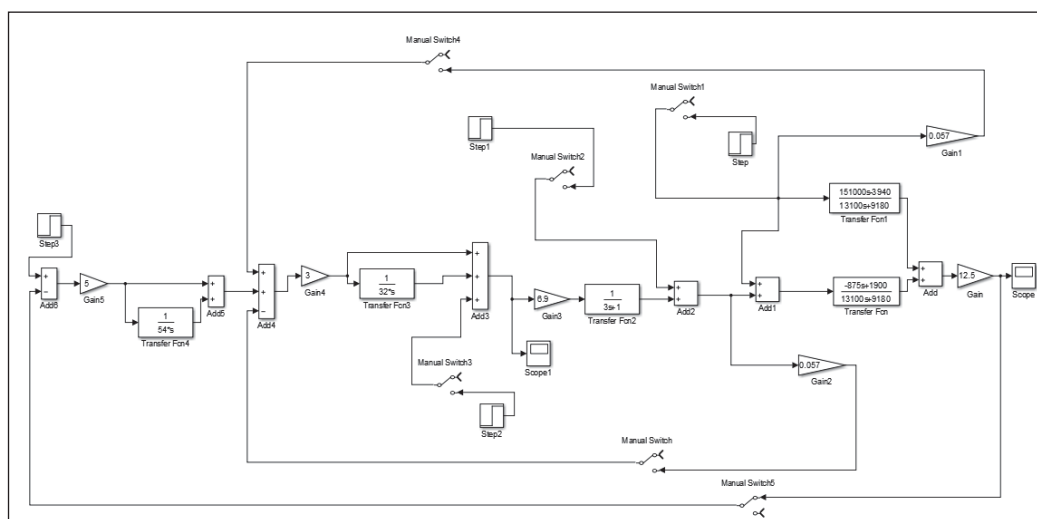


Рис. 7. Математична модель регулювання рівнем води у барабані котла в середовищі Simulink

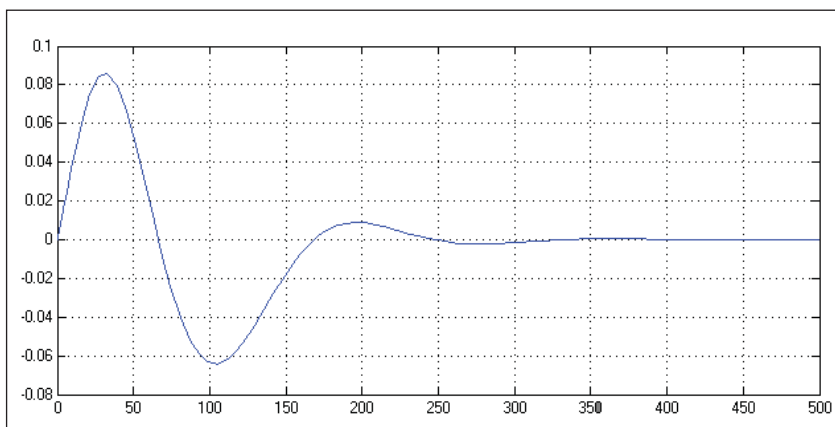


Рис. 8. Перехідний процес регулювання рівня у барабані котла при збуренні по живильній воді

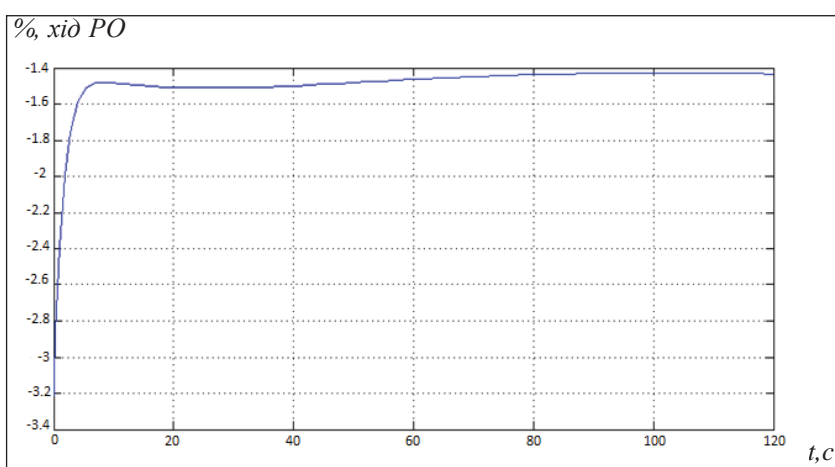


Рис. 9. Зміна положення PO при збуренні по живильній воді

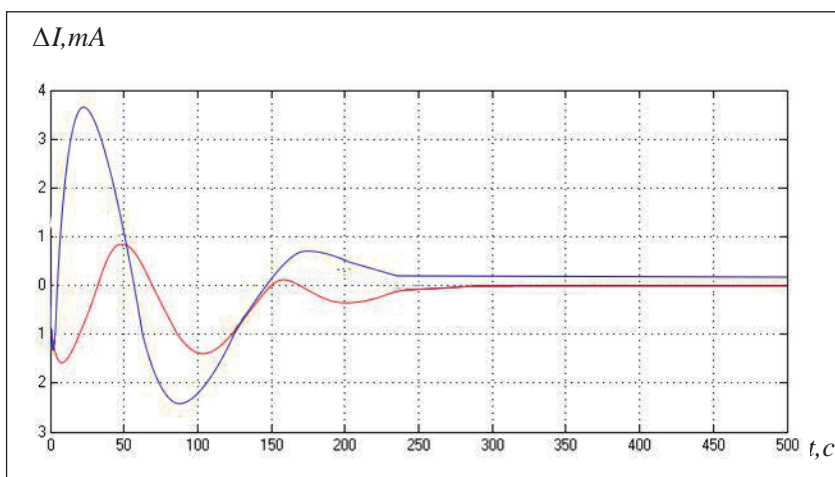


Рис. 10. Перехідний процес регулювання рівня у барабані котла при збуренні по парі

Перехідний процес регулювання рівня у барабані котла при збуренні по живильній воді представлений на рисунку 8.

Зміна положення PO при збуренні по живильній воді представлена на рисунку 9.

Перехідний процес регулювання рівня у барабані котла при збуренні по парі представлений на рисунку 10.

Зміна положення PO при збуренні по парі представлена на рисунку 11.

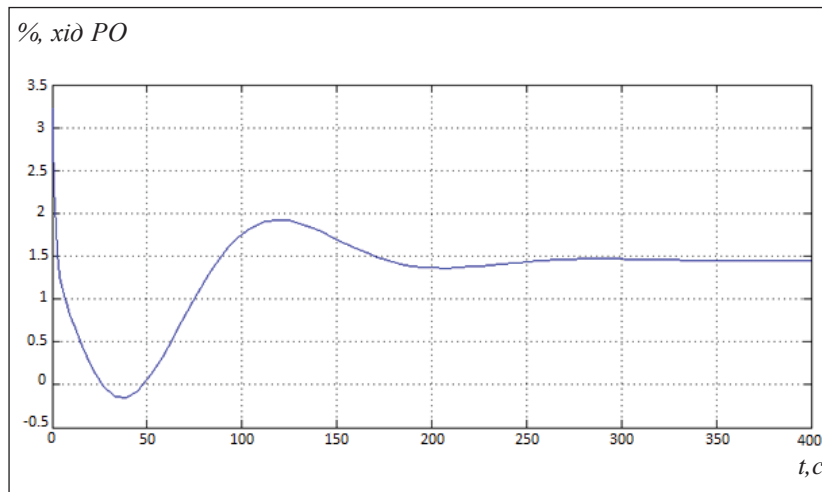


Рис. 11. Зміна положення РО при збуренні по перегрітій парі

За перехідними процесами видно, що регулювання рівня пароводяної суміші в парогенераторі є складним і інерційним процесом. На рисунках 8 і 10 видно, що статична помилка має більше значення при збуренні по каналу перегрітій пари.

Каскадна 3-х імпульсна АСР з коригувальним ІІ регулятором за рівнем демонструє більш якісне регулювання ніж 3-х імпульсна АСР без нього [5, с. 70].

**Висновки.** Для визначення динамічних характеристик котла отримала подальший розвиток

математична модель, заснована на вирішенні рівнянь збереження маси, енергії та об'єму. Було проведено лінеаризацію системи нелінійних рівнянь. Така модель дозволяє визначити кількісний склад умовної формули динаміки котла. У результаті проведеного аналізу впливу зовнішніх збурень визначено криві розгону збурюючими каналами. Для забезпечення якісної підтримки рівня води в котлі.

Розроблене математичний опис може бути використано для подальшого синтезу системи автоматичного регулювання.

#### Список літератури:

1. Демченко В.А. Автоматизация и моделирование технологических процессов АЭС и ТЭС. Одесса «Астропринт», 2001. 50 с.
2. Артюх С.Ф., Дуэль М.А., Шелепов И.Г. Основы автоматизированных систем управления энергогенерирующими установками электростанций. Харьков, 1998. 324 с.
3. Тошинський В.І., Бабіченко А.К., Молчанов В.І. Технічні засоби автоматизації. Частина 2. Мікропроцесорні регулювальні та виконавчі пристрої: Навчальний посібник / за ред. А.К. Бабіченка. Київ, 1977. С. 200.
4. Александров В.Г. Паровые котлы средне и малой мощности. Москва, 1972. С. 151–170.
5. Кулаков Г.Т., Кухоренко А.Н., Голинко И.М. Инвариантная система автоматического регулирования. Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2015. С. 70–71.

#### АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ ПИТАНИЯ ПАРОВОГО КОТЛА ГМ-50

*Внедрение систем автоматизированного управления паровыми и водогрейными котлами, построенных на основе программируемых контроллеров, позволяет автоматизировать процесс производства тепловой энергии в котлах и значительно упростить контроль и управление этим процессом. Применение такой системы повышает эффективность функционирования котлоагрегата за счет снижения потребления энергоресурсов, рационального сжигания топлива, использования технологического оборудования, оперативного управления оборудованием и технологическим процессом. Объектом проектирования является автоматизированная система управления технологическими процессами питания парового котла ГМ-50.*

*Поддержание заданного уровня воды в барабане является одним из важнейших условий обеспечения надежной работы оборудования. Актуальность заключается в том, что повышение уровня, от нормального увеличивает влажность пара, а иногда приводит к забросу воды в пароперегреватель и турбину.*

**Ключевые слова:** автоматическая система регулирования, паровой котёл, автоматизация, математическая модель, передаточная функция.

**SYSTEM OF AUTOMATIC CONTROL OF TECHNOLOGICAL PROCESSES  
OF POWER STEAM BOILER GM-50**

*Introduction of automated control systems for steam and water heating boilers, built on the basis of programmable controllers, allows automation of the process of heat energy production in boilers and greatly simplify control and management of this process. The application of system improves the efficiency of the operation of the boiler unit by reducing energy consumption, rational combustion of fuel, the use of process equipment, operational control of equipment and process. The object of the design is an automated control system for the technological processes of supplying the steam boiler GM-50.*

*Maintaining a water level in the boiler drum is one of the most important conditions for ensuring reliable equipment operation. The urgency is that raising the level from the normal increases the wetness of the vapor, and sometimes leads to the flooding of the water in the steam superheater and the turbine.*

**Key words:** *automation control system, steam boiler, automation, mathematical model, transfer function.*