

## ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ЖИВЛЕННЯМ ПАРОГЕНЕРАТОРІВ БЛОКУ ВВЕР-1000

Насамперед була розглянута маловивчена тема, а саме регулювання живлення не одного парогенератора блоку ВВЕР-1000 а відразу чотирьох парогенераторів блоку. Були вивчені і досліджені основні властивості регулювання живленням парогенератора, також схеми за допомогою яких можливо здійснювати регулювання живленням парогенераторів. Були зроблені висновки, які саме сигнали повинні заводитись до регулятора та чому саме вони. Дослідженні всі необхідні аспекти у здійсненні регулювання живленням парогенераторів та задіяні основні методи регулювання. Вивчені основні правила, які допоможуть в майбутньому розробити більш сучасні методи керування живленням, які зменшать як і час регулювання, так і збільшать точність регулювання. Розглянуті загальні положення, які можуть як позитивно так і негативно вплинути на якість регулювання живленням парогенераторів блоку ВВЕР-1000. Розглянуто основні властивості регулювання живлення групи парогенераторів, основні небезпеки які можуть вплинути на якість регулювання та основні правила які потрібно виконувати, для максимально кращої якості регулювання. Були дані рекомендації щодо будівництва автоматизованої системи регулювання а саме: які сигнали потрібно застосовувати, для чого взагалі потрібні коефіцієнти приладів зв'язку та як вони впливають на якість регулювання живлення парогенераторів, чому застосовується саме дана система автоматичного регулювання живленням та як можна покращити якість регулювання. Детально проведено дослідження по якості регулювання живленням парогенераторів та зроблені висновки стосовно цієї якості регулювання живленням парогенераторів блоку ВВЕР-1000. Були виявлені недоліки даної автоматичної системи регулювання та дані рекомендації по вирішенню даних недоліків у рамках даної теми. Проведено детальне дослідження автоматичної системи регулювання та дано пояснення, чому саме дана система застосовується в якості основної для регулювання живлення парогенераторів блоку ВВЕР-1000. Були дані основні факти які допоможуть побудувати дану систему регулювання та не пропускати помилок які дійсно зможуть набагато погіршити якість регулювання.

**Ключові слова:** парогенератори, витрата води, витрата пари, рівень парогенератора, блок ВВЕР-1000, група парогенераторів.

M. YAROTSKYI

Odessa National Polytechnic University

## RESEARCH OF THE AUTOMATIC CONTROL SYSTEM OF POWER SUPPLY OF STEAM GENERATORS OF THE WWER-1000 BLOCK

First of all, a little-studied topic was considered, namely the regulation of power not of one steam generator of the WWER-1000 unit but of four steam generators of the unit at once. The main properties of power supply control of the steam generator were studied and investigated, as well as the schemes by means of which it is possible to control the power supply of steam generators. Conclusions were made as to which signals should be fed to the controller and why. All the necessary aspects of the power supply control of steam generators have been studied and the main control methods have been used. The basic rules that will help in the future to develop more modern methods of power management, which will reduce both the time of regulation and increase the accuracy of regulation. The general provisions which can both positively and negatively influence quality of regulation of power supply of steam generators of the WWER-1000 block are considered. A relatively simple automatic control system has been developed that uses four local regulators to control the power supply of WWER-1000 steam generators. The main properties of this control method are studied and conclusions are made about this control method, how it affects the quality of control and whether it is possible to develop a better way to control the power supply of steam generators. Other methods of regulation and their advantages and disadvantages under this topic were also considered a bit. A general analysis of the main methods of power supply of steam generators and comparison of their efficiency in theory is made. An analysis of which control schemes in the future to use the rudeness of those that exist at the moment, as microprocessor technology is developing rapidly and in many industries outdated methods are replaced by newer ones. This is due to the use of newer technologies than those currently used in nuclear energy and do not allow to fully unleash the great potential. Conclusions are made in the general tendencies of development of systems of automatic power control of steam generators of the WWER-1000 block and the basic general provisions to development of the given schemes and studying further more perspective schemes of regulation are analyzed.

**Keywords:** steam generators, water consumption, steam consumption, steam generator level, WWER-1000 unit, group of steam generators.

**Постановка проблеми.** На разі проблематика постає наступна: дане питання не є дуже добре вивчене та висвітлене в відкритих джерелах інформації. Саме тому дана тема і є більш-менш актуальною на даний момент та потребує більш детального висвітлення в рамках розгляду даної тематики а саме регулювання живленням не одного парогенератора як розглядають зазвичай а саме живленням всіх чотирьох парогенераторів блоку ВВЕР-1000. Тому надалі і буде висвітлене саме питання регулювання живленням всіх парогенераторів блоку та основні правила регулювання даними об'єктами.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Вивчаючи останні публікації у відкритих джерелах інформації, були представлені різними статтями на подібну тематику. Були вивчені такі автори як Демченко в яких розкриваються властивості регулювання живленням парогенераторів а також таких авторів як Ключев, Лукас в питаннях теорії автоматичного керування, яку можливо буде застосовувати до даної тематики.

**Постановка завдання.** Дослідити автоматичну систему регулювання живленням парогенераторів блоку ВВЕР-1000.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Спочатку треба все таки згадати, що саме представляє собою такий складний об'єкт як парогенератор. Парогенератор являє собою теплообмінник трубчатого типу, призначений для переробки тепла, що виробляється реактором, для приведення в рух турбіни. Парогенератор дозволяє використовувати ядерне джерело енергії першого контуру енергоблоку, залишаючи при цьому пар другого контуру радіоактивно чистим.

Парогенератор є важливим компонентом циркуляційної петлі першого контуру реактора ВВЕР-1000. Він розташований на кожній петлі першого контуру між корпусом реактора і головних циркуляційних насосів. Парогенератори діють як сполучна ланка між першим і другим контуром енергоблоку, яке забезпечує подачу сухої насиченої пари під тиском  $64 \text{ кгс/см}^2$  при температурі  $278,5$  градусів Цельсія з вологістю меншу за  $0,2\%$ .

Теплоносій першого контуру проходить по трубах парогенератора, де тепло передається в другий контур, створюючи суху насичену пару. Так як теплоносій першого контуру протікає по трубах, він ніколи не потрапляє і не змішується з середовищем другого контуру. Це дозволяє використовувати ядерне паливо, в той же час підтримуючи радіоактивну чистоту пара.

Після короткого пояснення, що являє собою вище згаданий об'єкт який буде розглядатися в даній статті, перейдемо до основної теми. В загалом відомо, що якщо розглядати лише один парогенератор, то для нього застосовується 3-х імпульсна автоматична система регулювання. Тому що вона дозволяє задіяти всі можливі сигнали, які тільки доступні для парогенератора.

І тут вже повернемося до нашої 3-х імпульсної АСР яка зображена на Рис.1

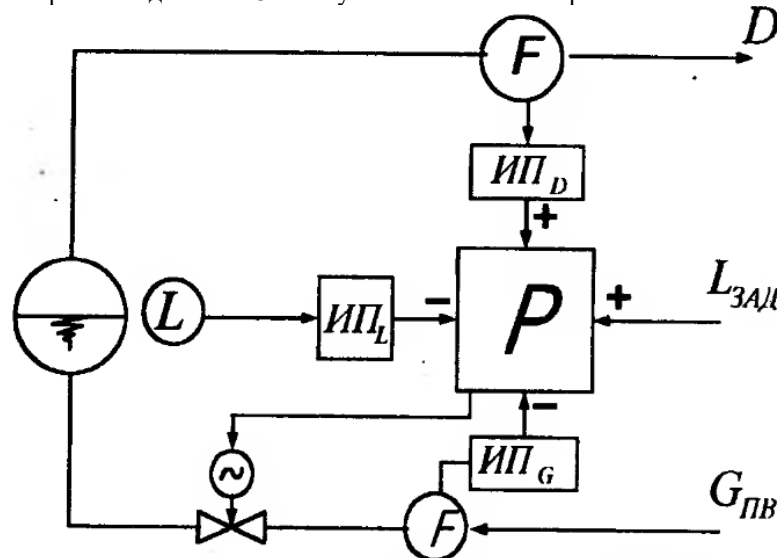


Рис. 1. Принципова схема 3-х імпульсної АСР

Принцип роботи даної АСР заключається в тому, що сигнали по витраті пари та витраті живильної води вводяться в регулятор з різними знаками. В сталому режимі ці сигнали рівні, протилежні за знаком і слідуючи з цього, компенсують один одного. А сигнал по рівню води в парогенераторі компенсується сигналом завданням по рівню води. І тому дана АСР являється більш кращою з точки зору регулювання і тому використовується вже не один рік. Але хоч і виникають проблеми з тим, що при вимірюванні витрати пари, виникає перепад тиску пари який не критичний для ТЕС, але критичний для АЕС[1]. Саме тому замість сигналу по витраті пари, використовують суму інших сигналів, за допомогою яких і замінюється сигнал по витраті пари.

Все це звучить добре, але все таки це стосується лише одного парогенератора, а як бути з групою парогенераторів а точніше з чотирма парогенераторами які і знаходяться в блоці реактора ВВЕР-1000.

А з в такій ситуації, річ вже неоднозначна, адже вже йде річ про групу парогенераторів та їх живлення. Живлення парогенератора є дуже важливою річчю, адже все живлення парогенераторів зводиться до балансу підтримки рівня води в самому парогенераторі. І в певній мірі 3-х імпульсна система регулювання вирішує дану проблему коли подається більше живильної води в парогенератор, чи виникає потреба в більшій генерації пари. Але є ще один чинник який треба враховувати, а саме потужність реактора. Тому є треба розглядати дану систему автоматичного регулювання для всіх парогенераторів і дослідити вплив зміни потужності реактора на рівень в парогенераторах.

Для детального дослідження даної теми, ми виберемо відносно нескладну схему, а саме на кожен парогенератор, буде виставлений локальний регулятор, який і буде приймати сигнали по витраті води, витрати пари та рівень води в парогенераторі. Таких регуляторів у нас буде чотири. На один парогенератор буде один локальний регулятор який і буде здійснювати регулювання живлення і забезпечення стабільного рівня води в самому парогенераторі.

Спрощена схема блоку ВВЕР-1000 в середовищі Simulink приведена на рисунку 2.

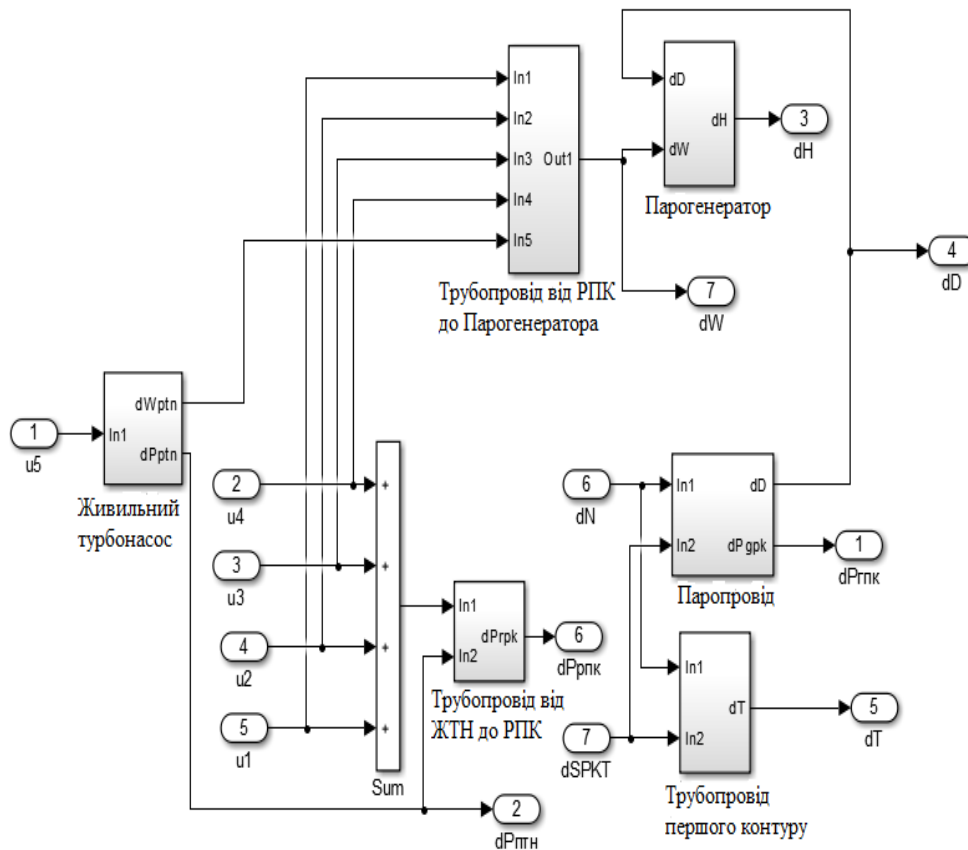


Рис. 2. Схема блоку ВВЕР-1000 з одним парогенератором в середовищі Simulink

На рисунку 2 була представлена спрощена схема в якій є тільки один парогенератор, так як якщо помістити ще 3 парогенератори, то схема стає набагато більшою. В модернізованій схемі додано ще три парогенератори, трубопровід від РПК до парогенераторів, паропроводів та трубопроводів першого контуру. Загалом трубопровід першого контуру можна зробити і загальним для всіх парогенераторів, але це не має особливого значення і не завадить дослідженню, так як в даній статі досліджується регулювання живлення групи парогенераторів і даний факт ніяк не вплине на якість проведення дослідження адже це не являється великою похибкою внаслідок якої експеримент буде недійсним.

Отже маючи вже саму схему блоку ВВЕР-1000, тепер потрібно налагодити локальні регулятори для парогенераторів. Це є невеликою проблемою так як це можливо зробити за допомогою кнопки Tune, яка розташована в налаштуваннях регулятора. Сам регулятор виглядає наступним чином на рисунку 3.

Коли вже все майже готово, залишилось лише нанести збурення по потужності реактора. Визначивши на кожен парогенератор своє завдання по рівню води, ми отримуємо наступні показники, які зображені на рисунку 4. На даному рисунку зображено регулювання рівня першого парогенератора. Варто зазначити що потрібно ще знайти коефіцієнти зв'язку для сигналу по витраті живильної води, сигналу по витраті пари та сигналу по рівню води в парогенераторі. Якщо не буде знайдено необхідних коефіцієнтів зв'язку які на рисунку 3 зображені в трикутниках, регулятор працювати не буде. А саме процес регулювання не те що буде мати похибку, а взагалі не буде виконуватись. Тому саме важливе це підібрати коефіцієнти зв'язку по кожному з сигналів які йдуть до регулятора. Це необхідна умова для того, аби регулювання взагалі відбувалось. І це варто пам'ятати, адже від цього залежить також і якість регулювання. Можна підібрати і такі коефіцієнти, за яких регулювання теж буде мати негативний вплив. Тому до цього треба віднестись зі всією відповідальністю і ретельно підібрати емпіричним методом необхідні коефіцієнти зв'язку. І вже маючи чітко побудовану автоматичну систему регулювання, де всі потрібні сигнали заводяться в регулятор, ми можемо перейти до дослідження. І в даному дослідженні ми не будемо наносити збурення по витраті живильної води чи витраті пари. В даному дослідженні буде нанесене збурення по потужності енергоблоку ВВЕР-1000. Дане збурення і дозволить нам детально дослідити вплив даного збурення на рівень води в парогенераторі і як взагалі дана автоматична система регулювання буде реагувати на дане збурення. Виставивши необхідні завдання по рівню води в парогенераторах, наносимо збурення по потужності енергоблоку. Отриманий результат можливо подивитись на рисунку 4. З даного рисунку видно, що регулювання рівня води в парогенераторі процес не миттєвий, це залежить більше від математичної моделі парогенератора. Тому були отримані результати які і зображено на рисунку 4.

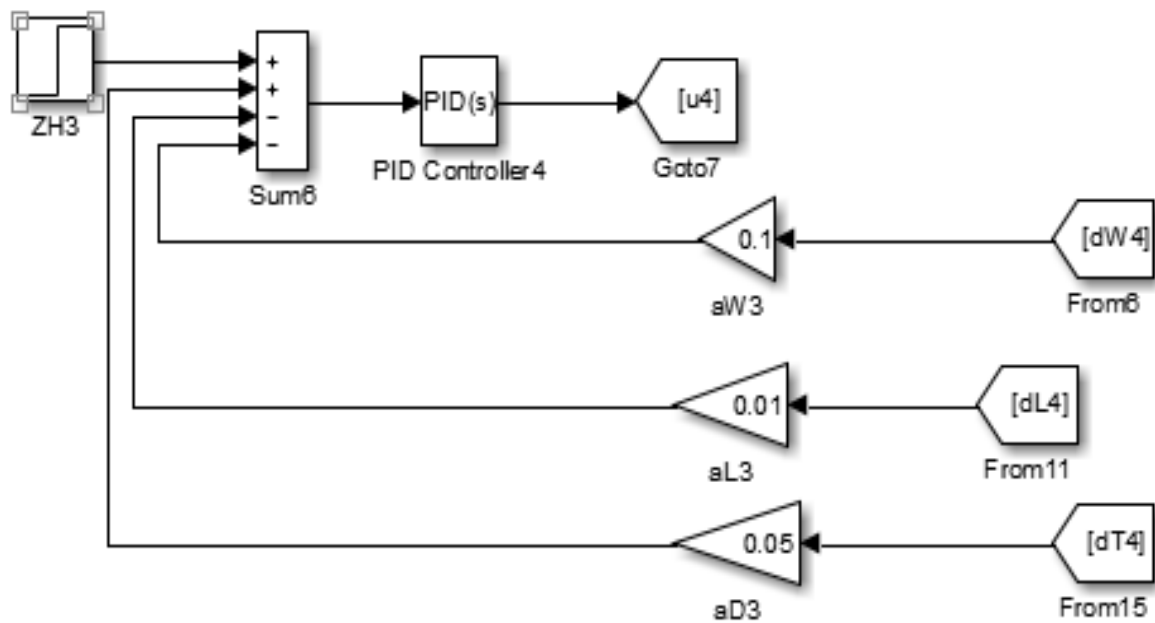


Рис. 3. Вигляд регулятора живлення парогенератора в середовищі Simulink.

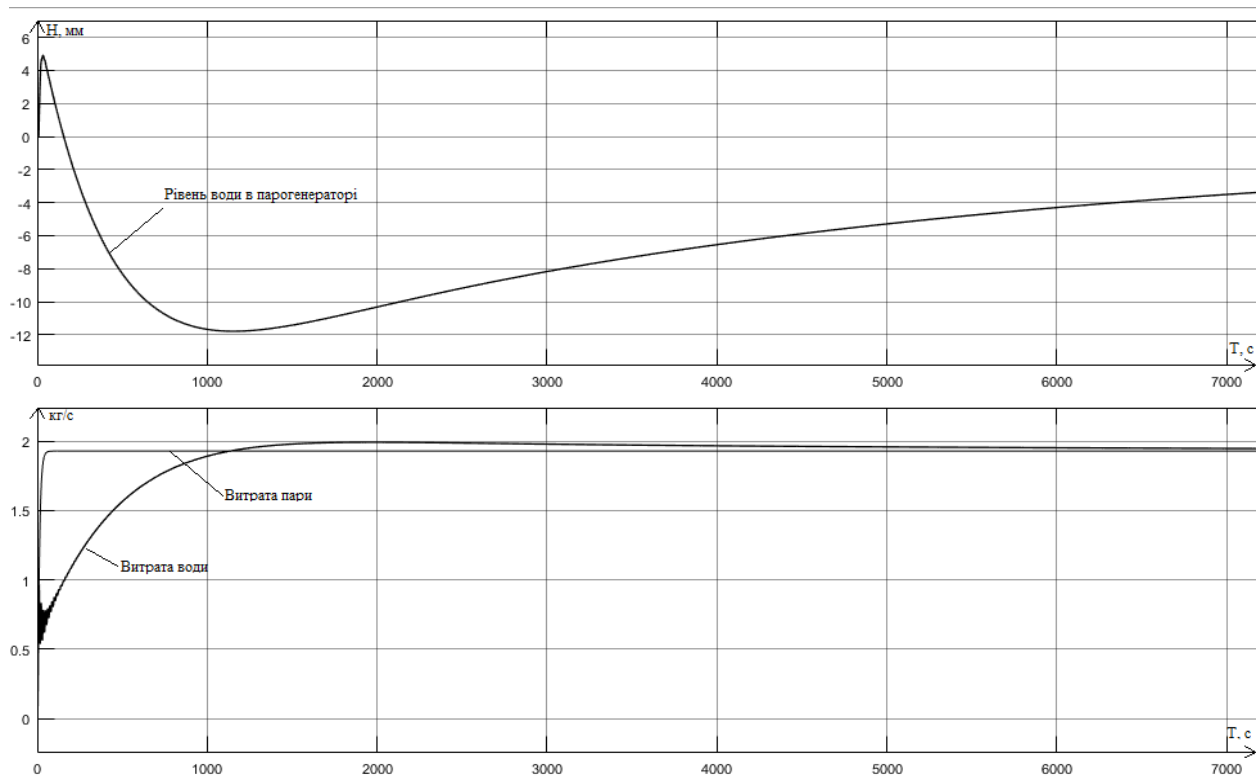


Рис. 4. Графік регулювання живлення парогенератора в середовищі Simulink

Дивлячись результати регулювання можна зробити висновок, що коли час вже становить 5000 секунд, то можемо вважати, що регулювання завершено, так як зона нечутливості у регулятора на реальній атомній електростанції приблизно 5 мм. Варто також зазначити що нині замість сигналу по витраті пари використовують суму інших сигналів а саме: сигнал по різниці температури в гарячій і холодній нитці першого контуру, і для більш швидкої реакції регулятора на зміну витрати пари був введений сигнал по швидкості зміни тиску в головному паровому колекторі. Саме тому хочеться зробити акцент на тому, що такий об'єкт як парогенератор є складним в плані вивчення і тому він потребує в розробці нових засобів керування які б ще більш краще забезпечили регулювання живлення парогенератора. Приведена вище 3-х імпульсна автоматична система регулювання є доволі непоганим вирішенням питань з регулюванням живлення парогенератора, але і вона може бути модернізована за допомогою сучасних засобів автоматизації. Використання локальних регуляторів на кожний з 4-х парогенераторів є непоганим рішенням але в майбутньому дану систему можливо було б замінити на дискретний оптимальний ПІІ-регулятор який

буде збирати дані про рівень води в парогенераторі і виходячи з завдання, наносити регулюючі впливи для підтримання рівня води в парогенераторі. Замість 4-х регуляторів можливо поставити лише один, який буде чудово виконувати роботу по регулюванню живлення. Але і даний дискретний оптимальний регулятор має свій недолік, а саме якщо один з каналів зв'язку вийде з ладу, то регулятор почне вести себе неадекватно і може статись аварія. Тому зараз локальні П-регулятори для кожного парогенератора на даний момент є більш оптимальним та безпечним способом регулювання живленням.

**Висновки та пропозиції.** Отже стабілізація живлення парогенератора при застосування локального регулятора є ефективним засобом регулювання живлення але не єдиним який можливо застосувати. Хоч і допускається похибка в регулюванні рівня парогенератора, але дана похибка не виходить за рамки дозволеної. Також треба брати до уваги, що в системі регулювання застосовується саме П-регулятор. Але так само застосовуються 3 імпульси а саме: сигнал по витраті води, сигнал по рівню води в парогенераторі та сигналом по витраті пари. За сигнал по витраті пари було вже пояснено. Можна зробити висновок, що даний спосіб регулювання живлення є ефективним хоч і потребує більше часу на стабілізацію рівня води в парогенераторі. Дане дослідження хоч і демонструє ефективність локальних регуляторів для кожного з парогенераторів, але в майбутньому навіть даний спосіб регулювання живлення може бути замінений на дискретний оптимальний ПІ-регулятор, на який вже будуть йти сигнали по рівню води зі всіх чотирьох парогенераторів і звісно даний регулятор також буде надсилати необхідні сигнали для регулювання живлення на всіх чотирьох парогенераторах. Дана автоматична система регулювання з таким регулятором знизить собівартість даної системи і також дозволить більш якісно проводити регулювання живлення парогенераторів блоку ВВЕР-1000.

Але поки що на даний момент локальні регулятори для кожного з парогенераторів є більш надійними.

### Література

1. Демченко В.А. Автоматичні системи регулювання технологічними процесами АЕС і ТЕС. Одеса: ОНПУ, 1994. 280 с.
2. Харабет О.М. Вивчення класичної теорії автоматичного управління. Одеса: Бахва, 2014. 188 с.
3. Ключев А.С. Автоматическое регулирование. Москва: Энергия, 1967. 344 с.

### References

1. Demchenko V.A. Avtomatichni sistemi reguljuvannja tehnologichnimi procesami AES i TES. Odesa: ONPU, 1994. 280 s.
2. Harabet O.M. Vivchennja klasichnoї teorii avtomatichnogo upravlinnja. Odesa: Bahva, 2014. 188 s.
3. Kljuev A.S. Avtomaticheskoe regulirovanie. Moskva: Jenergija, 1967. 344 s.

Рецензія/Peer review : 19.02.2021 р.

Надрукована/Printed :10.03.2021 р.