

УДК 378.147

**МЕТОДИКА ФОРМУВАННЯ ПРОЕКТНОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ З
АВТОМАТИКИ НОРМАЛЬНИХ РЕЖИМІВ У МАЙБУТНІХ ІНЖЕНЕРІВ З
АВТОМАТИЗАЦІЇ ЕНЕРГОСИСТЕМ**

© Рудевіч Н.В.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Інформація про авторів:

Рудевіч Наталія Валентинівна: ORCID:0000-0002-2858-9836; n.rudevich@ukr.net; кандидат технічних наук, доцент; Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; вул. Багалія, 21, м. Харків, 61002, Україна

У статті конкретизоване застосування методу навчання для формування проектної компетентності з автоматичних нормальних режимів у майбутніх інженерів з автоматизації енергосистем. Здійснено навчальне проектування для пристроїв, які б реалізовували задачі автоматичного управління вмиканням на паралельну роботу, автоматичного регулювання напруги та реактивної потужності, автоматичного регулювання частоти та активної потужності синхронного генератора. Проектування проведено згідно основних етапів методу навчання: ознайомлення з об'єктом управління; формування знань, умінь, навичок з визначення вимог, призначення, принципу дії та структури складових елементів системи управління; формування знань, умінь, навичок з визначення реалізації та параметрів складових елементів системи управління; перевірка спроектованої системи управління на відповідність вимогам. Окреслена загальна методика формування проектної компетентності з автоматичних нормальних режимів у майбутніх інженерів з автоматизації енергосистем на базі причинно-наслідкової моделі знань.

Ключові слова: методика формування проектної компетентності, причинно-наслідкова модель знань, автоматика нормальних режимів

Рудевіч Н.В. «Методика формування проектної компетентності по автоматике нормальных режимов у будущих инженеров по автоматизации энергосистем»

В статье конкретизировано применение метода обучения для формирования проектной компетентности по автоматике нормальных режимов у будущих инженеров по автоматизации энергосистем. Осуществлено учебное проектирование для устройств, которые бы реализовывали задачи автоматического управления включением на параллельную работу, автоматического регулирования напряжения и реактивной мощности, автоматического регулирования частоты и активной мощности синхронного генератора. Проектирование проведено в соответствии с основными этапами метода обучения: ознакомление с объектом управления; формирование знаний, умений, навыков по определению требований, назначения, принципа действия и структуры составляющих элементов системы управления; формирование знаний, умений, навыков по определению реализации и параметров составляющих элементов системы управления; проверка спроектированной системы управления на соответствие требованиям. Обозначена общая методика формирования проектной компетентности по автоматике нормальных режимов у будущих инженеров по автоматизации энергосистем на базе причинно-следственной модели знаний.

Ключевые слова: методика формирования проектной компетентности, причинно-следственная модель знаний, автоматика нормальных режимов

Rudevich N. "The methodology of project competence formation for the automatics of the normal modes for future grid automation engineers"

An application of teaching method for forming of project competence on automatics of the normal modes for future grid automation engineers is devoted in the article. The educational planning is carried out for devices that would realize tasks of automatic control for parallel work, automatic voltage variation and reactive power, automatic frequency regulation and active power of synchronous generator. Planning is conducted in accordance with the basic stages of teaching method: acquaintance with the object of management; forming of knowledge, abilities, skills on determination of requirements, setting, principle of action and structure of making elements of control system; forming of knowledge, abilities, skills on determination of realization and parameters of making elements of control system; checking of the projected control system for compliance with requirements. General methodology of the project competence formation on automatics of the normal modes for future engineers on automation of grids on the base of causal model is defined.

Keywords: methodology of project competence formation, causal model of knowledge, automatics of the normal modes.

Постановка проблеми. Практична реалізація компетентнісного підходу до професійної підготовки майбутніх фахівців передбачає таку організацію процесу освоєння навчальних дисциплін, яка б забезпечила необхідний рівень сформованості професійної компетентності. Однією із складових професійної компетентності майбутнього інженера з автоматизації енергосистем є проектна компетентність. Проектна компетентність майбутнього інженера з автоматизації енергосистем включає здатність до самостійної теоретичної та практичної діяльності щодо розробки та реалізації проектів на системи управління об'єктами енергосистем. В основі проектної діяльності майбутніх інженерів з автоматизації енергосистем лежить встановлення причинно-наслідкових зв'язків між різними підсистемами знань [1], а, отже, для успішного формування проектної компетентності у процесі професійної підготовки необхідно розробити відповідну методику навчання на базі причинно-наслідкової моделі знань.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. При підготовці майбутніх інженерів з автоматизації енергосистем предметом вивчення є системи управління об'єктами електроенергетичних систем. Традиційно усі системи управління нижнього рівня енергосистеми (рівень окремих об'єктів) поділяються на: автоматику нормальних режимів, протиаварійну автоматику та релейний захист. Аналіз основної навчальної літератури показав, що у ній наводяться лише знання за основними підсистемами знань щодо систем управління (призначення, принцип дії, побудова та параметри) [2-6], при цьому практично відсутні знання щодо причинно-наслідкових зв'язків між цими підсистемами. Отже, для успішного формування проектної компетентності у майбутніх інженерів з автоматизації енергосистем джерелом знань з систем управління об'єктами енергосистем повинні слугувати не тільки існуючі підручники та навчальні посібники, а й методики навчання на основі причинно-наслідкових моделей знань.

У роботі [7] запропоновано метод навчання для формування проектної компетентності майбутніх інженерів з автоматизації енергосистем на основі причинно-наслідкової моделі знань. Застосування цього методу навчання на матеріалі конкретних систем управління об'єктами енергосистем дозволить розробити методики формування проектної компетентності майбутніх інженерів з автоматизації енергосистем.

Мета статті. Розроблення методики формування проектної компетентності з автоматики нормальних режимів у майбутніх інженерів з автоматизації енергосистем на основі причинно-наслідкової моделі знань.

Виклад основного матеріалу. Конкретизуємо застосування методу навчання для формування проектної компетентності з автоматики нормальних режимів у майбутніх інженерів з автоматизації енергосистем. До автоматики нормальних режимів відноситься [6]: автоматика управління вмиканням синхронних машин на паралельну роботу, автоматика регулювання напруги та реактивної потужності на станціях та в

електричних мережах, автоматика регулювання частоти та активної потужності генераторів. Метод навчання на основі причинно-наслідкової моделі знань в загальному випадку включає чотири етапи: ознайомлення з об'єктом управління; формування знань, умінь, навичок з визначення вимог, призначення, принципу дії та структури складових елементів системи управління; формування знань, умінь, навичок з визначення реалізації та параметрів складових елементів системи управління; перевірка спроектованої системи управління на відповідність вимогам [7]. Безумовно, навчальне проектування буде дещо відрізнятися від професійного, у першу чергу через відмінності у цілепокладанні. У професійному проектуванні метою є створення проекту - результату діяльності, а у навчальному проектуванні основна мета - оволодіння студентами прийомами та способами самостійного досягнення навчально-професійних завдань.

Здійснимо навчальне проектування пристроїв, які би реалізовували задачі автоматичного управління вмиканням на паралельну роботу, автоматичного регулювання напруги та реактивної потужності, автоматичного регулювання частоти та активної потужності синхронного генератора.

Автоматика вмикання на паралельну роботу синхронного генератора.

Ознайомлення з об'єктом управління. Під час експлуатації синхронного генератора у весь час виникає задача вмикання на паралельну роботу з енергосистемою, що супроводжується появою зрівняльного струму і зумовленого ним електромагнітного моменту на валу ротора. Дія цих явищ на генератор може бути неприпустимою, тому перед вмиканням необхідно виконати певні умови. Забезпечення цих умов доцільно здійснювати за допомогою автоматики вмикання генератора на паралельну роботу з енергосистемою, це дозволить забезпечити необхідну точність, швидкодію, виключити дію людського фактору.

Формування знань, умінь, навичок з визначення призначення, вимог, принципу дії та структури складових елементів системи управління. Процес вмикання на паралельну роботу синхронного генератора з енергосистемою називають синхронізацією, а отже, автоматикою управління виступає пристрій синхронізації. Підставою для визначення вимог до пристрою синхронізації, який треба розробити, є правила улаштування електроустановок, інструкції з експлуатації генератора, сучасні теоретичні та практичні надбання за цією темою, особливості роботи енергосистеми.

З урахуванням сказаного до пристрою синхронізації сформуємо наступні вимоги: 1) у пристрої повинен бути закладений спосіб точної синхронізації з постійним кутом випередження, при $\delta_{\text{вип}} > 120^\circ$ робота пристрою повинна блокуватися; 2) пристрій повинен бути автоматичний; 3) похибка при включенні не повинна перевищувати 5° за умови постійної та змінної частоти енергосистеми; 4) пристрій повинен мати функцію самоконтролю та діагностики.

Визначимо принцип дії пристрою. Принцип функціонування пристрою у першу чергу обумовлюється його призначенням, а саме формуванням дій за заданою програмою при виникненні команди обслуговуючого персоналу на вмикання. Безпечне вмикання можливе у разі відсутності зрівняльного струму під час вмикання. Згідно з законом Ома вираз для визначення зрівняльного струму буде мати вигляд $I_{\text{зр}} = (U_{\text{Г}} - U_{\text{С}}) / Z_{\text{зв}}$ ($U_{\text{Г}}$ – вектор напруги генератора, $U_{\text{С}}$ – вектор напруги системи, $Z_{\text{зв}}$ – опір зв'язку між генератором та системою). З виразу можна бачити, що струм буде дорівнювати нулю, коли різниця напруг генератора та системи буде дорівнювати нулю. У зв'язку з тим, що напруги є синусоїдальними величинами, то для їх рівності необхідно, щоб дорівнювали їх амплітуди, фази та частоти. Згідно з цією обставиною витікають умови точної синхронізації: рівність амплітуд напруги генератора та системи, рівність частот генератора та енергосистеми, кут зсуву між векторами напруги генератора та системи повинен дорівнювати нулю. При виконанні цих умов у пристрої синхронізації повинна сформуватись команда на вмикання генераторного вимикача. Оскільки генераторний вимикач має власний час спрацювання, то команда на вмикання вимикача повинна

сформуватись з деяким випередженням до моменту, коли кут зсуву буде дорівнювати нулю. Обчислення кута випередження може здійснюватись або за формулою рівномірного руху або рівноприскореного руху. Наприклад, задля виконання третьої вимоги необхідно використовувати формулу рівноприскореного руху $\delta_{\text{вип}} = \omega_{s0} t_{\text{вип}} + a_s \frac{t_{\text{вип}}^2}{2}$ ($\delta_{\text{вип}}$ – кут випередження, ω_{s0} – початкова кутова швидкість ковзання, $t_{\text{вип}}$ – час випередження, a_s – прискорення ковзання).

Отже, для реалізації автоматичної точної синхронізації до принципу дії пристрою повинні бути закладені функції обчислення частоти та напруги, функції підгонки частоти та напруги, функції контролю виконання умов за напругою та частотою, функція визначення кута випередження, функція контролю виконання вимог синхронізації (спрацювання).

При визначенні структури пристрою враховують функції, які він повинен виконувати, і як вони можуть бути реалізовані з урахуванням елементної бази. У разі реалізації пристрою синхронізації на мікропроцесорній елементній базі його структурними елементами будуть виступати: обчислювальна частина (ОЧ), вимірювально-перетворювальна частина (ВПЧ), виконавча частина (ВЧ). Для ВПЧ згідно із способом точної синхронізації, що закладений до принципу дії пристрою, вхідними сигналами повинні слугувати: сигнал напруги генератора, сигнал напруги системи. Вихідні параметри ВПЧ будуть визначатись параметрами узгодження з ОЧ. Вихідними сигналами ВЧ повинні бути часо-імпульсні керуючі впливи на вимикач (Q), автоматичний регулятор збудження (АРЗ), автоматичний регулятор швидкості (АРШ).

Визначимо принцип функціонування та структуру кожної частини пристрою з урахуванням сформульованих вимог.

Структура апаратної реалізації ОЧ буде визначатись елементами, що характерні мікропроцесорним пристроям незалежно від їх призначення, це центральний процесор (ЦП), запам'ятовуючий пристрій (ЗП), елементи оптичної розв'язки різних каналів зв'язку (RS-485-opto, RS-232-opto), системна шина. У свою чергу, програмне забезпечення ОЧ буде визначатись функціями, що закладені до принципу дії пристрою. Кожна функція буде мати свій алгоритм, який може бути представлено у вигляді структурно-функціональної схеми. В якості прикладу побудуємо структурно-функціональну схему алгоритму визначення кута випередження та спрацювання синхронізатора (рис. 1).

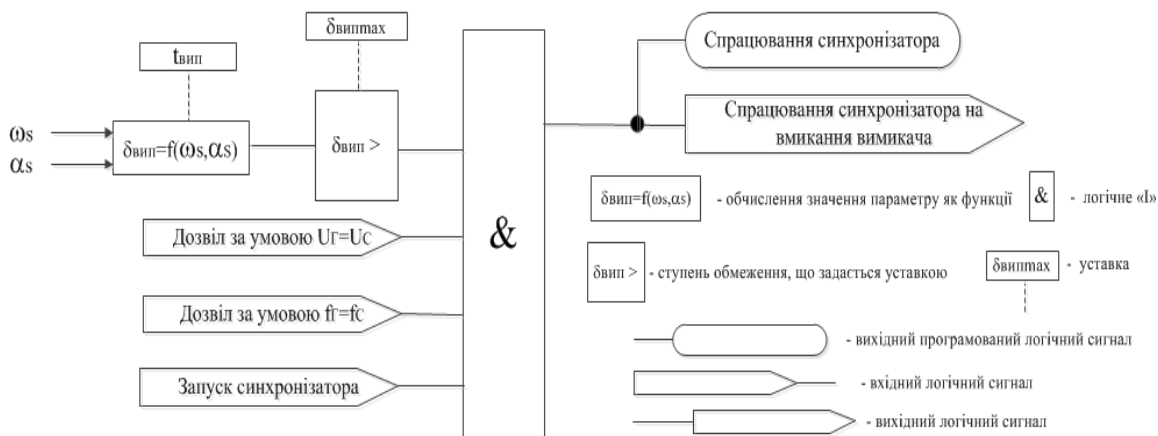


Рис. 1 – Структурно-функціональна схема алгоритму обчислення кута випередження та спрацювання синхронізатора

Структура ВПЧ буде визначатись змістом програми ОЧ, так і загальними принципами побудови мікропроцесорних пристроїв. Наприклад, при обчисленні частоти

ковзання на основі часо-імпульсного перетворення, у ВПЧ необхідно здійснити перетворення синусоїдальних напруг у прямокутні імпульси тривалістю, що дорівнює півперіодам зміни напруги. Отже, у структурі ВПЧ повинні бути присутні вимірювальні перетворювачі напруги (ВПН), аналогово-дискретні перетворювачі (АДП), часо-імпульсні перетворювачі (ЧП), аналогово-цифрові перетворювачі (АЦП), мультиплексор (МПЛ). Також згідно із загальних вимог щодо самоконтролю та діагностики пристрою у ВПЧ повинен бути передбачений формувач тестового сигналу (ФТС) та задаючий елемент (ЗЕ).

Принцип функціонування ВЧ буде будуватися на перетворенні цифрових сигналів у керуючі впливи, що обумовлює наявність в її структурі цифро-аналогового перетворювача (ЦАП) комплекту вихідних реле (КВР). Традиційним елементом ВЧ усіх мікропроцесорних систем управління є цифрові індикатори (ЦІ).

З урахуванням вище наведених міркувань спрощена структурно - функціональна схема синхронізатора може мати вигляд (рис.2)

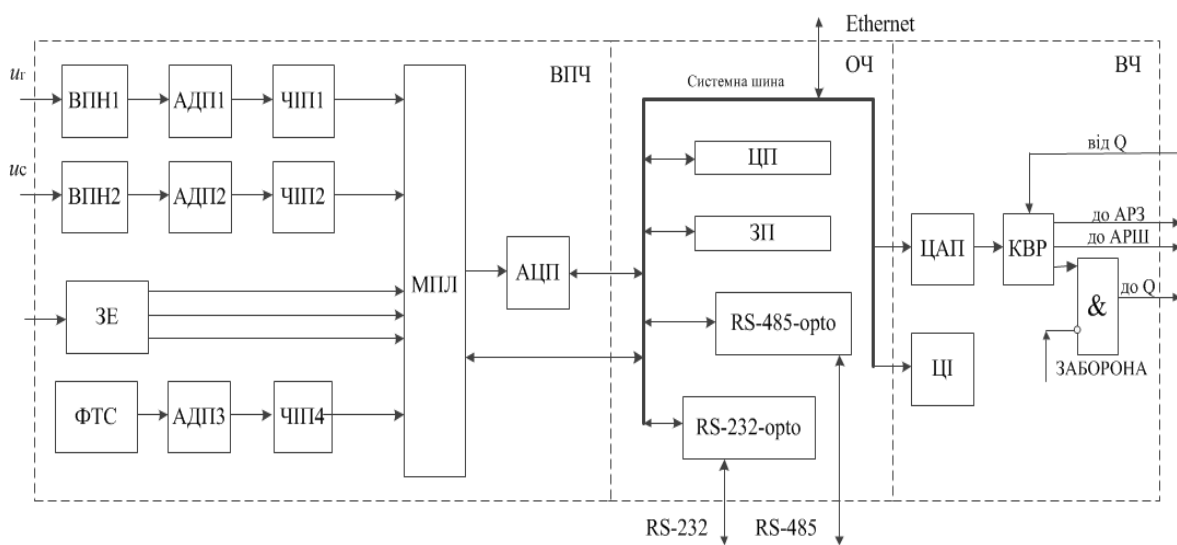


Рис. 2 – Спрощена структурно - функціональна схема спроектованого пристрою синхронізації

Формування знань, умінь, навичок з визначення реалізації та параметрів складових елементів системи управління. При визначенні реалізації функціонально неподільних елементів критеріями вибору є значення ключових характеристик та параметрів елементів. Так, для елементів, що характерні для всіх мікропроцесорних пристроїв, це АЦП, ЦАП, МПЛ, ЦП критеріями вибору є параметри швидкодії та розрядність. Наприклад, для розв'язуваної задачі достатньо буде АЦП (ЦАП) з швидкодією 1 мкс та розрядністю у 8 біт. Для елементів, що залежать від призначення, при виборі важливо враховувати вимоги до вхідних (вихідних) сигналів, вимоги до точності, масо-габаритних розмірів, наявності гальванічної розв'язки тощо. Так, для даного випадку у ВПЧ може бути використаний вимірювальний перетворювач напруги Е 9527/3ЭС з номінальним значенням вхідної напруги 100 В з класом точності 0,25. В якості КВР у ВЧ може бути використаний геркон (електромеханічний пристрій, що представляє собою пару феромагнітних контактів, які запаєні в герметичну скляну колбу), який має гальванічну розв'язку та незначні габаритні розміри. Загалом отримані значення параметрів складових елементів будуть обумовлювати значення параметрів пристрою у цілому. Крім того, потребують визначення параметри налаштування (уставки) та діапазон їх можливих значень, що обумовлюються закладеною програмою. Наприклад, для пристрою синхронізації, згідно з алгоритмом точної синхронізації,

параметрами настроювання є час випередження, допустиме відхилення напруги і частоти генератора та мережі. Пристрій синхронізації зазвичай розробляється під конкретний об'єкт, але все ж таки доцільно закласти можливість вибору значень параметрів настроювання з певного діапазону. Так, на момент розробки пристрою синхронізації генераторний вимикач може мати власний час спрацювання 0,3 с, який обумовлює час випередження, а через два роки, наприклад, може бути замінений на більш швидкодіючий з часом спрацювання 0,06 с, що потягне за собою необхідність зміни значення часу випередження у синхронізаторі.

Перевірка спроектованої системи управління на відповідність вимогам. При об'єднанні елементів у блоки у першу чергу важливо контролювати відповідність параметрів вихідних і вхідних сигналів послідовно з'єднаних елементів та частин. Наприклад, у ВПЧ аналоговий вихідний сигнал ВПН повинен відповідати вхідному сигналу АДП. Аналоговий або цифровий сигнал вихідних реле ВЧ повинен відповідати вхідному сигналу елементів зміни уставок АРЗ, АРШ та приводу Q. Також перевірки на відповідність вимогам потребують отримані технічні показники складових елементів та пристрою у цілому (точність, надійність, швидкодія тощо).

Автоматичне регулювання напруги та реактивної потужності синхронного генератора.

Ознайомлення з об'єктом управління. Під час роботи синхронного генератора у нормальному режимі виникає задача підтримання напруги на шини генератора на заданому рівні та розподіл реактивного навантаження між паралельно працюючими генераторами. Унаслідок складності реалізації вище названих задач вручну, виникає необхідність у розробці автоматики регулювання напруги та реактивної потужності на станції, а саме у синхронних генераторів.

Формування знань, умінь, навичок з визначення призначення, вимог, принципу дії та структури складових елементів системи управління. Регулювання напруги та реактивної потужності у синхронних генераторів здійснюється завдяки зміні струму збудження, отже, відповідною автоматикою виступають автоматичні регулятори збудження. Під час реального проектування при визначенні переліку вимог до регулятора, який треба спроектувати, необхідно керуватися правилами улаштування електроустановки, керівництвом з експлуатації синхронного генератора та його системи збудження. При розробці регулятора необхідно також враховувати сучасний рівень техніки та особливості роботи станції і енергосистеми.

У навчальних цілях приймемо наступні вимоги до регулятора збудження: пристрій повинен здійснювати регулювання у ручному та автоматичному режимі в залежності або від напруги генератора, або від реактивної потужності генератора; пристрій повинен реалізовувати закон регулювання сильної дії; пристрій у своєму складі повинен мати вузол імпульсно-фазового керування силовим випрямлячем; у пристрої повинна реалізовуватися функція обмеження режимних параметрів; пристрій повинен бути реалізований на мікропроцесорах.

Для визначення принципу дії необхідно враховувати фізичну взаємозалежність регульованих параметрів генератора. Реактивна потужність генератора залежить від його струму збудження, струм збудження, у свою чергу, залежить від напруги збудження. Аналогічно напруга генератора залежить від струму збудження, струм збудження, у свою чергу, залежить від напруги збудження. Отже, отримуємо принцип дії, що базується на підлеглому регулюванні. З урахуванням особливостей підлеглому регулювання доцільно прийняти пропорційно-інтегральний закон регулювання, що дозволить забезпечити регулювання за астатичною характеристикою.

Через те, що задачею є побудова регулятора збудження на мікропроцесорній елементній базі, міркування щодо його структури аналогічні попереднім, а саме основними структурними частинами будуть виступати ВПЧ, ОЧ, ВЧ. Складові цих структурних частин будуть обумовлюватись як загальними принципами побудови

мікропроцесорних пристроїв, так і їх призначенням. При цьому алгоритм ОЧ буде визначатись лише призначенням.

Виконавчим елементом регулятора збудження буде виступати елемент імпульсно-фазового управління (ЕІФУ), який забезпечить формування імпульсів управління на силовий випрямляч. Кут управління α для вузла імпульсно-фазового керування повинен обчислюватися в залежності від заданого струму збудження. При чому управління струмом збудження може бути здійснено або у автоматичному або у ручному режимі. При автоматичному режимі повинні бути передбачені два контури регулювання: регулювання струму збудження в функції напруги статора генератора або в функції реактивної потужності генератора. Зазначені функції регулювання будуть не підпорядковані одна одній: буде включена або функція регулювання потужності, або функція регулювання напруги. Отже, регулятор збудження в своєму складі буде мати такі функції: регулювання напруги статора генератора; регулювання реактивної потужності генератора; регулювання струму збудження. Всі ці функції повинні бути закладені до алгоритму ОЧ, при цьому регулювання струму ротора, реактивної потужності та напруги генератора повинно бути реалізовано за пропорційно-інтегральним законом регулювання $N = (N_{зав} - N_{зз}) Kn + \int (N_{зав} - N_{зз}) dt / Tn$ (N – вихідна величина, Kn – пропорційний коефіцієнт, Tn – постійна часу; $N_{зав}$ – величина завдання, $N_{зз}$ – величина зворотного зв'язку).

В якості прикладу побудуємо структурно-функціональну схему алгоритму регулювання струму ротора I_f з урахуванням вище названих вимог (рис.3)

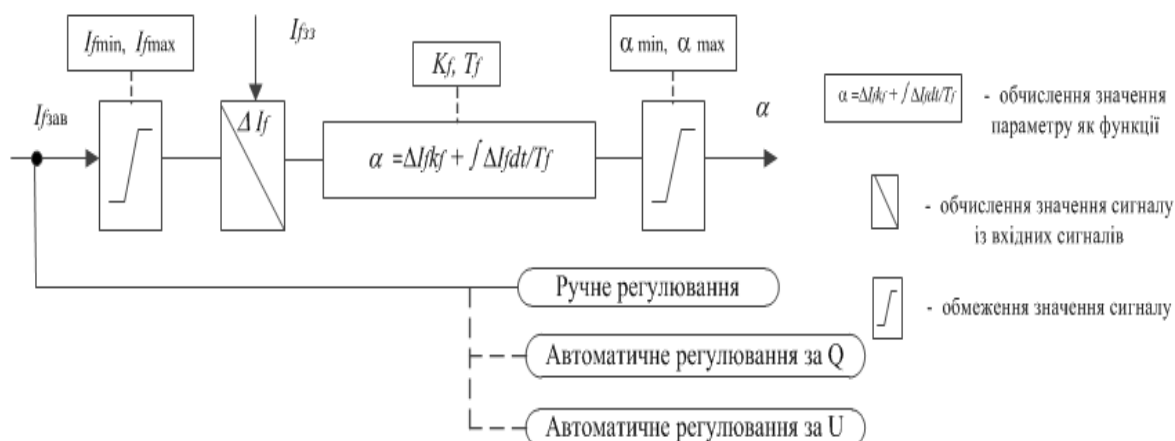


Рис. 3 – Структурно-функціональна схема алгоритму регулювання струму збудження

Для виконання вище наведених функцій до регулятора повинні бути заведені відповідні параметри, що потребує наявності певних елементів у ВПЧ. Основною функцією ВПЧ є отримання необхідних сигналів у такому вигляді, який буде прийнятним для ОЧ. З урахуванням того, що ОЧ реалізує функції регулювання реактивної потужності, напруги, струму ротора на базі контролера, то ВПЧ у загальному випадку повинна складатись з вимірювального перетворювача струму статора (ВПСС) та ротора (ВПСР), ВПН, вимірювального перетворювача реактивної потужності (ВППР), МПЛ, АЦП та ЗЕ. До складу ВЧ буде входити ЕІФУ, ЦАП та КВР, що забезпечить необхідні аналогові вихідні сигнали. Структура ОЧ є типовою для мікропроцесорних пристроїв. Спрощена структурно-функціональна схема автоматичного регулятора збудження з урахуванням вище сказаного буде мати вид (рис.4).

Формування знань, умінь, навичок з визначення реалізації та параметрів складових елементів системи управління. Міркування щодо реалізації складових

елементів, які є традиційними для мікропроцесорних систем управління (АЦП, ЦАП, МПЛ, ЦП тощо) та які залежать від призначення, аналогічні вище наведеним. Параметрами автоматичного регулятора збудження, що обумовлюються закладеним алгоритмом, у першу чергу є пропорційні коефіцієнти і постійні часу за відповідними каналами регулювання та параметри, що потребують обмеження. Діапазон їх можливих значень може бути отриманий з урахуванням забезпечення стійкої роботи системи регулювання збудження.

Міркування щодо перевірки спроектованої системи управління на відповідність вимогам аналогічні попередньому випадку.

Автоматичне регулювання частоти та активної потужності синхронного генератора.

Ознайомлення з об'єктом управління. Під час роботи синхронного генератора у нормальному режимі виникає задача підтримання частоти на заданому рівні та регулювання активної потужності синхронного генератора. Унаслідок складності реалізації вище названих задач вручну, виникає необхідність у розробці автоматики регулювання частоти та активної потужності на станції.

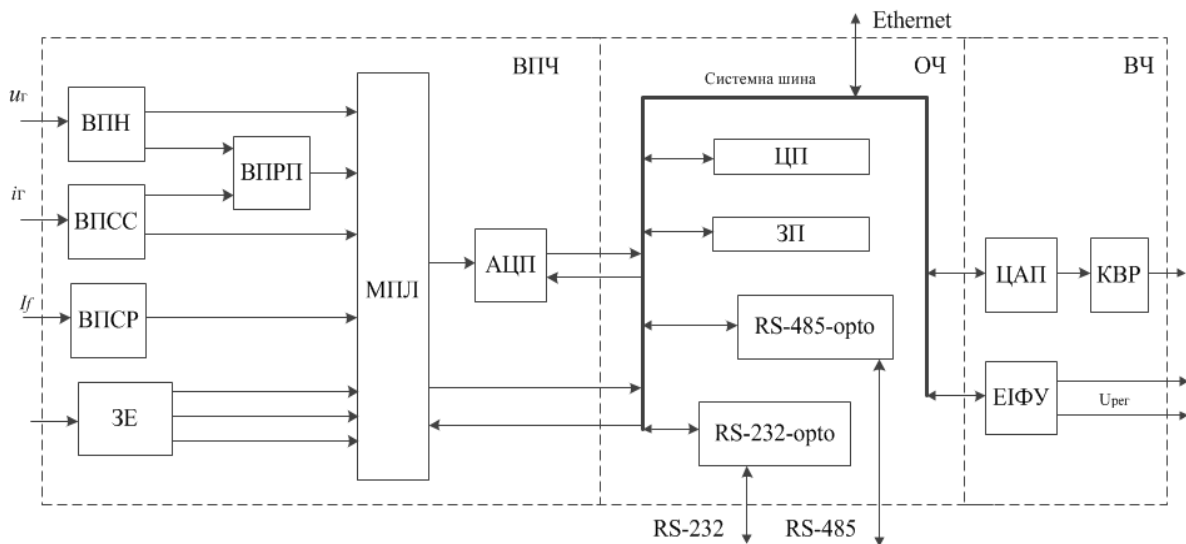


Рис. 4 – Спрощена структурно-функціональна схема автоматичного регулятора збудження

Формування знань, умінь, навичок з визначення призначення, вимог, принципу дії та структури складових елементів системи управління. Частота напруги синхронного генератора залежить від швидкості обертання ротора, яка у свою чергу залежить від видаваної активної потужності, отже відповідною автоматикою виступають автоматичні регулятори швидкості та активної потужності. При визначенні вимог керуються правилами улаштування електроустановок, керівництвом з експлуатації синхронного генератора та його турбіни, враховують сучасний рівень техніки та особливості роботи станції і енергосистеми. Прийmemo наступні вимоги до пристрою, який треба спроектувати: пристрій повинен представляти мікропроцесорний електрогідролінійний регулятор частоти та активної потужності; пристрій повинен забезпечувати регулювання за астатичним законом щодо частоти та активної потужності; пристрій повинен забезпечувати автоматизацію режимів розвороту турбіни.

Для забезпечення астатичного закону регулювання у техніці використовують пропорційно-інтегрально-диференційний закон регулювання. Під час розвороту турбіни повинен бути забезпечений алгоритм пропорційної дії задля стійкості функціонування

автоматичної системи управління. Отже, закон регулювання в режимі підтримки параметрів визначиться

$$U_{\text{рег}} = K_{\omega}\Delta\omega + K_{\omega\delta}\Delta\omega' + K_{\omega i}\int\Delta\omega + K_p\Delta P + K_{pi}\int\Delta P,$$

а в режимі розвороту турбіни буде мати вигляд

$U_{\text{рег}} = K_{\omega}\Delta\omega + K_{\omega\delta}\Delta\omega'$ ($K_{\omega}, K_{\omega\delta}, K_{\omega i}, K_p, K_{pi}$ – коефіцієнти за відповідними каналами регулювання, $\Delta\omega$ – відхилення частоти від заданого значення, ΔP – відхилення потужності від заданого значення).

Згідно з обраних законів складаються відповідні алгоритми регулювання, так для режиму підтримки параметрів алгоритм регулювання може мати вигляд (рис.5)

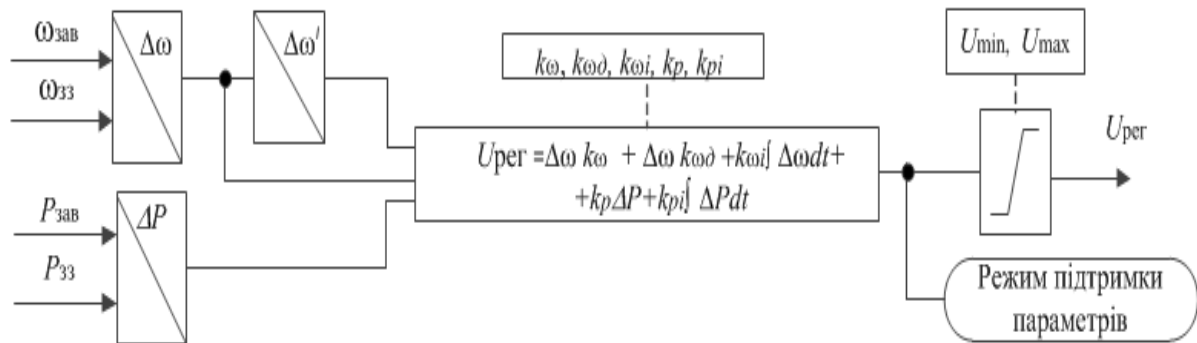


Рис. 5– Структурно-функціональна схема алгоритму регулювання у режимі підтримки параметрів

Структура даного пристрою управління буде аналогічна попереднім: ОЧ, де реалізується необхідний алгоритм управління; ВЧ, що безпосередньо буде впливати на положення направляючого апарату та ВПЧ, що забезпечує введення та перетворення необхідних параметрів.

Структура ВПЧ повинна містити вимірювальний перетворювач частоти обертів (ВПЧО), вимірювальний перетворювач активної потужності (ВПАП), ВПС та ВПН. Наявність МПЛ та АЦП у ВПЧ є традиційним у мікропроцесорних пристроях. Структура ОЧ регулятора буде аналогічною попереднім пристроям.

Зазвичай для зміни положення направляючого апарату використовують гідравлічні двигуни з жорстким зворотнім зв'язком, які ще називають гідравлічними підсилювачами (ГП). Вочевидь, для узгодження цифрового керуючого сигналу мікропроцесора з механічним сигналом, що необхідно подати на ГП, у ВЧ повинен бути передбачений ЦАП, аналоговий підсилювач (П) та електрогідравлічний перетворювач (ЕГП).

Таким чином, спрощена структурно-функціональна схема пристрою управління направляючими апаратами гідравлічної турбіни може мати вигляд (рис.6)

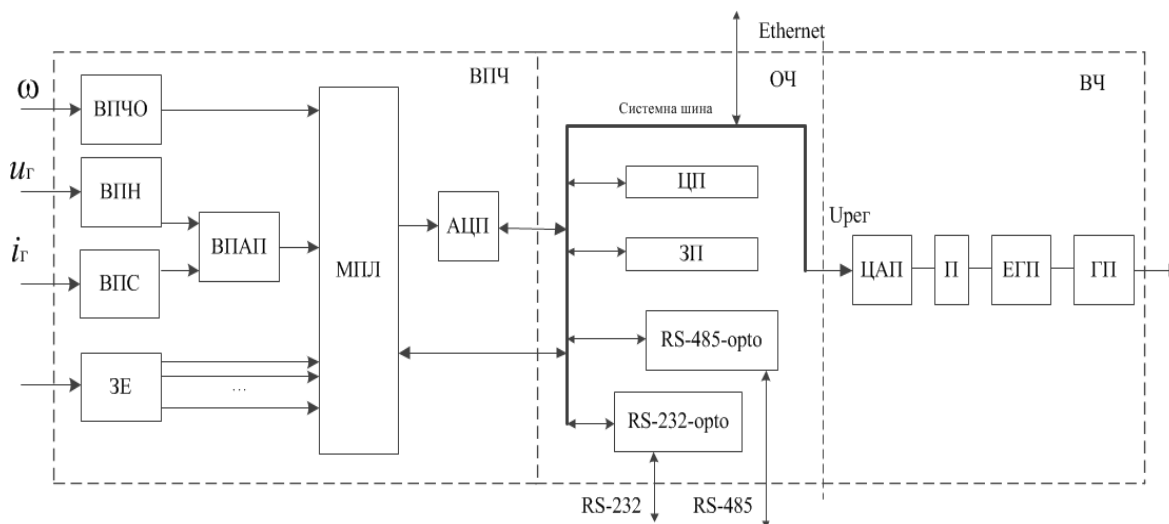


Рис.6 – Спрощена структуро-функціональна схема пристрою управління направляючими апаратами гідравлічної турбіни

Формування знань, умінь, навичок з визначення реалізації та параметрів складових елементів системи управління. Реалізація пристрою регулювання частоти та активної потужності також базується на загальних принципах реалізації мікропроцесорних систем. Найбільший інтерес представляє реалізація елементів, наявність яких залежить від призначення. Як вже зазначалося, вибір вимірювальних перетворювачів у першу чергу визначається параметрами вхідних та вихідних сигналів. Так, вимірювальний перетворювач частоти може мати декілька варіантів реалізації, все залежить від того, який буде використано перетворювач швидкості обертання. Наприклад, якщо в якості перетворювача швидкості використовується тахогенератор, то вхідним сигналом вимірювального перетворювача частоти буде електрорушійна сила, що знімається з шин тахогенератора. У разі використання індукційного перетворювача швидкості у вигляді зубчатого колеса вхідним сигналом вимірювального перетворювача частоти буде слугувати імпульсний сигнал. Що стосується ГП, то всі вони мають однаковий принцип дії, однак можливі деякі відмінності у конструкціях. Вибір тієї чи іншої конструкції буде визначатись тими вимогами, що до нього висуваються, це, наприклад, може бути потужність, масо-габаритні розміри, точність, ціна тощо. Після того, як обрані всі елементи з певними технічними характеристиками та параметрами, можуть бути обчислені діапазони можливих значень коефіцієнтів за відповідними каналами регулювання згідно з обраного алгоритму регулювання.

Етап перевірки спроектованої системи управління на відповідність вимогам як і у попередніх прикладах, у загальному випадку включає перевірку параметрів вхідних та вихідних сигналів, характеристик та властивостей складових елементів та пристрою у цілому.

З урахуванням проведеного навчального проектування деяких пристроїв, що відносяться до автоматики нормального режиму нижнього рівня енергосистеми, можна окреслити етапи загальної методики формування проектної компетентності з автоматики нормальних режимів у майбутніх інженерів з автоматизації енергосистем.

Перший етап – ознайомлення з об'єктом управління. На цьому етапі необхідно нагадати студентів про ключові моменти щодо конструкції, принципу дії, умов експлуатації, параметрів та фізики процесів у нормальних режимах роботи об'єктів енергосистеми та режимів роботи електроенергетичної системи у цілому. Обов'язково необхідно окреслити параметри режиму, які необхідно підтримувати на заданому рівні, для забезпечення нормальної роботи об'єктів енергосистеми. Отже, на першому етапі

повинні сформуватися знання, що дозволяють встановити причинно-наслідковий зв'язок між необхідністю підтримання параметрів режиму на заданому рівні та задачами з управління нормальною роботою об'єктами енергосистеми (рис.7)

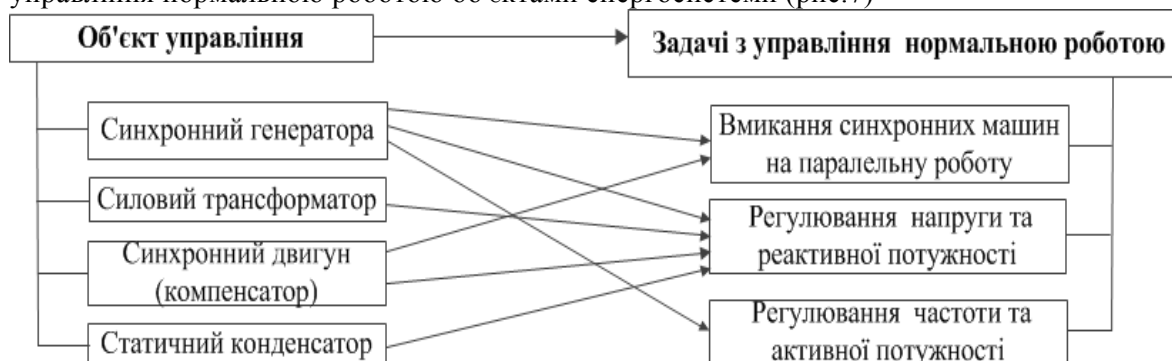


Рис. 7 – Причинно-наслідковий зв'язок між необхідністю підтримання параметрів режиму на заданому рівні та задачами з управління нормальною роботою об'єктами енергосистеми

Другий етап – формування знань, умінь, навичок з визначення призначення, вимог, принципу дії та структури складових елементів системи управління. Цей етап повинен розпочинатися з конкретизації призначення автоматики нормального режиму. Студентові необхідно чітко уявити, що назва автоматичних пристроїв нормальних режимів є похідною від їх безпосереднього призначення. Отже, конкретизація призначення повинна формуватись на підставі причинно-наслідкового зв'язку, що уточнює задачі з управління нормальною роботою об'єктами енергосистем (рис. 8).



Рис.8 – Причинно-наслідковий зв'язок щодо конкретизації призначення автоматики нормального режиму

Вимоги до конкретного пристрою автоматики нормального режиму можуть бути визначені на підставі правил улаштування електроустановок, технічної нормативної документації на певний об'єкт управління, основних теоретичних і практичних напрацювань в питанні, що вирішується, а також експлуатаційних особливостей роботи об'єкта управління.

При визначенні принципу функціонування пристрою студентів повинне бути зрозуміло, що всі задачі нормальних режимів роботи об'єктів управління зводяться або до формування дій за заданою програмою при виникненні зовнішніх збурюючих впливів, або підтримки будь-якої регульованої величини на незмінному рівні чи процес зміни цієї величини за заздалегідь заданим законом при будь-яких збурюючих впливах. Отже, принципами функціонування автоматики нормального режиму можуть бути: принцип автоматичного управління та принцип автоматичного регулювання, при цьому вони будуть мати свої особливості реалізації в залежності від призначення та вимог до конкретного пристрою автоматики (рис.9)

На наступному кроці етапу у майбутніх інженерів з автоматизації енергосистем повинні сформуватися знання щодо визначення структури апаратного та програмного забезпечення автоматики нормальних режимів. Студент повинен чітко розуміти, що реалізація усіх пристроїв автоматики нормальних режимів сьогодні здійснюється за допомогою мікропроцесорних програмно-технічних комплексів, яким характерна загальна структура: ВПЧ, ОЧ, ВЧ. У кожній з цих частин будуть присутні елементи, що характерні для усіх мікропроцесорних пристроїв незалежно від їх призначення (АЦП, ЦАП, МПЛ, ЗЕ, ЦАП, ЦП тощо) та елементи, що будуть обумовлені призначенням. Для кожного пристрою автоматики буде своє програмне забезпечення, що залежить від закладеного принципу дії. Отже, закладений принцип функціонування буде визначати структуру апаратного та програмного забезпечення пристрою автоматики (рис. 10).



Рис. 9 – Причинно-наслідковий зв'язок між призначенням та принципами функціонування автоматики нормального режиму



Рис.10 – Причинно-наслідковий зв'язок між принципами функціонування та структурою автоматики нормального режиму

Третій етап – формування знань, умінь, навичок з визначення реалізації та параметрів складових елементів системи управління. Цей етап у першу чергу передбачає визначення параметрів пристрою автоматики, що обумовлюються апаратною реалізацією та програмним забезпеченням. При цьому програмне забезпечення буде визначати параметри настроювання, а апаратна реалізація – технічні параметри. Отже, певна реалізація складових елементів пристрою автоматики нормальних режимів та конкретне програмне забезпечення, буде обумовлювати параметри пристрою у цілому (рис.11).

Четвертий етап – етап перевірки спроектованої системи управління на відповідність вимогам. Кінцевою метою цього етапу є формування умінь та навичок у майбутнього проектувальника щодо встановлення відповідності між отриманими параметрами реалізованих складових елементів, складових частин та пристрою у цілому та завданнями, що ставилися на початку проектування. Студент повинен розуміти, що технічне проектування це нелінійний, ітераційний та творчий процес, тому перевірка є його важливою складовою. При цьому перевірка повинна починатись з функціонально неподільних елементів, тому що допущена помилка на нижчих рівнях пристрою не призведе до очікуваних результатів на більш високих рівнях.

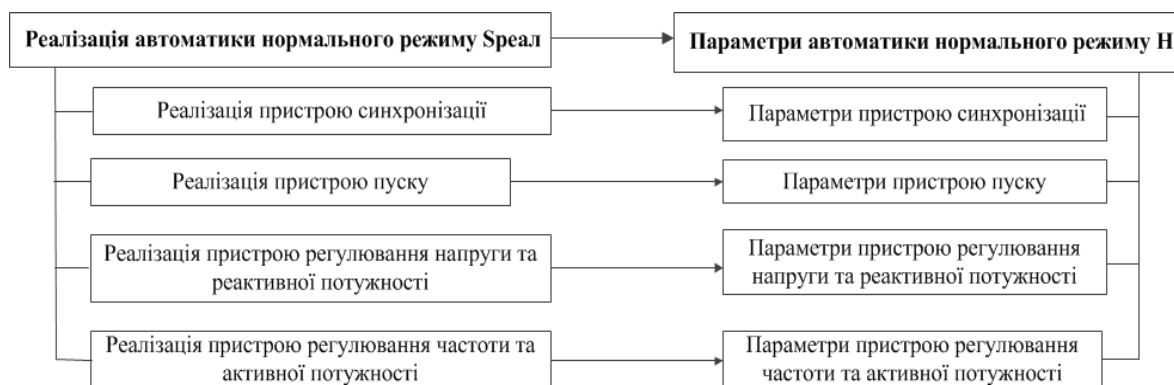


Рис.11 – Причинно-наслідковий зв'язок між реалізацією та параметрами автоматики нормального режиму

З огляду на вище сказане наведена методика формування проектної компетентності з автоматизації нормальних режимів у майбутніх інженерів з автоматизації енергосистем дозволяє практично реалізувати зміст та метод навчання на основі причинно-наслідкової моделі знань [7]: R – підсистема знань щодо призначення автоматизації нормальних режимів, D – підсистема знань щодо принципу дії автоматизації нормальних режимів, S – підсистема знань щодо побудови автоматизації нормальних режимів, H – підсистема знань щодо параметрів автоматизації нормальних режимів (рис. 12)



Рис. 12 – Загальна причинно-наслідкова модель знань

Висновки. Застосування запропонованої методики навчання на базі причинно-наслідкової моделі знань у дисциплінах професійної підготовки майбутніх інженерів з автоматизації енергосистем, що вивчають автоматизацію нормальних режимів, дозволить успішно сформувати проектну компетентність.

Перспективами подальших досліджень є розробка засобів формування проектної компетентності майбутніх інженерів з автоматизації енергосистем.

Список використаних джерел

1. Рудевич Н. В. Визначення методології навчання майбутніх інженерів з автоматизації енергосистем / Н. В. Рудевич // Теорія і практика управління соціальними системами. – 2015. – № 2. – С. 96-105.
2. Дьяков А. Ф. Микропроцессорная автоматика и релейная защита электроэнергетических систем : учеб. пособие для вузов / А. Ф. Дьяков, Н. И. Овчаренко. – М. : Издательский дом МЭИ, 2008. – 336 с. : ил.
3. Овчаренко Н. И. Автоматика энергосистем : учебник для вузов. – 3-е изд., исправл. / Н. И. Овчаренко; под. ред. чл.-корр. РАН, докт. техн. наук, проф. А. Ф. Дьякова. – М. : Издательский дом МЭИ, 2009. – 476 с. : ил.
4. Яндульский О. С. Автоматичне регулювання в електричних системах / О. С. Яндульский, І. П. Заболотний, В. П. Кобзаєв. – Донецьк : Ноулідж, 2010. – 189 с.
5. Голота А. Д. Автоматика в електроенергетичних системах : навч. посіб. / А. Д. Голота. – Київ : Вища шк., 2006. – 367 с.
6. Овчаренко Н. И. Автоматика электрических станций и электроэнергетических систем : учебник для вузов / Н. И. Овчаренко; под. ред. А. Ф. Дьякова. – М. : Изд-во НИЦ ЭНАС, 2001. – 504 с.
7. Рудевич Н. В. Формування проектної компетентності майбутніх інженерів з автоматизації енергосистем / Н. В. Рудевич // Теорія і практика управління соціальними системами. – 2015. – № 47. – С. 147-155.

References

1. Rudevich, NV 2015, 'Vyznachennya metodolohiyi navchannya maybutnikh inzheneriv z avtomatyzatsiyi enerhosystem', *Teoriya i praktyka upravlinnya sotsialnymy systemamy*, no.2, pp. 96-105.
2. Djakov, AF&Ovcharenko, NI 2008, *Mikroprocessornaja avtomatika i relejnaja zashhitaj elektrojenergeticheskikh sistem*, Izdatelskij dom Moskovskogo jenergeticheskogo instituta, Moskva.
3. Ovcharenko, NI 2009, *Avtomatika jenergosistem*, 3rd edn, Izdatelskij dom Moskovskogo jenergeticheskogo instituta, Moskva
4. Yandulskyy, OS, Zabolotnyy, IP & Kobzayev, VP 2010, *Avtomatychne rehulyuvannya v elektrychnykh systemakh*, Noulidzh, Donetsk.
5. Holota, AD 2006, *Avtomatyka v elektroenerhetychnykh systemakh*, Vyshcha shkola, Kyiv.
6. Ovcharenko, NI 2001, *Avtomatika jelektricheskikh stancij i jelektrojenergeticheskikh sistem*, Izdatelstvo Novacionnogo centra JeNAS, Moskva.
7. Rudevich, NV 2015, 'Formuvannya proektnoyi kompetentnosti maybutnikh inzheneriv z avtomatyzatsiyi enerhosystem', *Teoriya i praktyka upravlinnya sotsialnymy systemamy*, no.4, pp. 147-155.

Стаття надійшла до редакції 01.03.2016р.