

## УНІФІКОВАНИЙ ШЛЯХОВИЙ КОНТРОЛЕР РЕГУЛЮВАЛЬНО-ЗАПІРНОЇ АРМАТУРИ ТРУБОПРОВОДІВ АЕС

**Б.А. Кромпляс**, канд. техн. наук, **З.Я. Монастирський**, докт. техн. наук

Інститут електродинаміки НАН України,  
пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03680, Україна

*Проведено аналіз технічних характеристик різних типів шляхових вимикачів, які використовуються для управління виконавчими механізмами регулювально-запірної арматури трубопроводів АЕС, обґрунтовано необхідність розробки нового покоління пристроїв аналогічного призначення, названих електронними шляховими контролерами (ЕШК). Запропоновано структуру ЕШК, розглянуто його основні функції, а також функції окремих вузлів. Показано, що такий ЕШК дає змогу істотно підвищити надійність роботи регулювально-запірної арматури. Зроблено висновок про те, що запропонована структура може бути покладена в основу розробки серійних ЕШК. Бібл. 7, рисунок.*

**Ключові слова:** атомна електростанція, регулювально-запірна арматура, контролер.

Для керування подачею пари через трубопроводи АЕС використовують механічну регулювально-запірну арматуру (РЗА). Виконавчими механізмами цієї арматури в переважній більшості випадків служать одно- та багатообертові електроприводи (ЕП). Дистанційне керування ними здійснюється від автоматизованої системи керування (АСК), сигнали зворотного зв'язку для якої формують спеціальні пристрої, так звані шляхові вимикачі. Ці вимикачі також можуть виконувати функції визначення та індикації положення оперативного стану робочого органу РЗА, формування сигналів керування ЕП, обміну даними з апаратурою вищого рівня та ін.

Незважаючи на достатньо високий загальний рівень автоматизації регулювально-запірної арматури, існує потреба в подальшому вдосконаленні саме шляхових вимикачів, точність і надійність яких багато в чому визначають надійну роботу трубопроводів АЕС у цілому. Власне покращення експлуатаційних характеристик таких вимикачів є метою цієї роботи.

На сучасних АЕС використовують в основному два типи шляхових вимикачів. Найбільш розповсюдженими є механічні шляхові вимикачі (МШВ), наприклад ВП4М [1]. Визначення моменту знаходження запірної арматури в заданих положеннях здійснюється за допомогою замикання-розмикання електричних контактів кінцевих вимикачів МШВ при досягненні цією арматурою відповідних заданих положень. Другі – електронні шляхові вимикачі, прикладом яких можуть служити прилади ВПЕ 3М/36м [2, 3]. У порівнянні з механічними вимикачами ці пристрої мають значно ширші функціональні можливості, зокрема, що стосується обміну даними з електронними засобами АСК, обробки сигналів та прийняття рішення.

Суттєвою перевагою механічних шляхових вимикачів над електронними є їхня здатність формувати і «запам'ятовувати» досягнення заданих положень арматури (найчастіше крайніх "відкрито-закрито") та показувати миттєве положення РЗА на механічному вказівнику незалежно від того, чи подано живлення на виконавчий електропривод, нехай навіть з недостатньою точністю та надійністю. При цьому цілком можливе ручне переведення арматури з одного стану в інший за допомогою штурвалу. Існуючі електронні шляхові вимикачі (ЕШВ) при відсутності живлення не спроможні виконувати ці функції через знеструмлення сигнальних реле. Це суттєво знижує надійність роботи арматури з такими вимикачами. У свою чергу ЕШВ мають певні переваги над МШВ завдяки вищій точності встановлення заданих положень РЗА, наявності функції формування електричних сигналів в АСК трубопровода та виявлення факту заклинювання ЕП і формування відповідного сигналу аварії в АСК трубопровода. Однак ця функція виконується тільки при заклинюваннях, що сталися в процесі роботи ЕП, а зі статичного положення приводу – нездійсненна. Практика показала достатньо велику кількість заклинювань саме в таких випадках, що потребує додаткового тех-

нічного вирішення. Крім того, ЕШВ можуть формувати хибний сигнал аварії при зупинці ЕП у проміжному положенні арматури з пульта управління трубопроводом. Для запобігання аваріям у випадках заклинювання РЗА виробники електроприводів рекомендують застосовувати додаткові пристрої, наприклад реле максимального струму. Таке вирішення проблеми не можна вважати оптимальним хоча б через необхідність зміни схем підключення і керування ЕП, тобто модернізацію АСК приводами, та збільшення кількості налаштувань ЕП, оскільки реле струму налаштовуються індивідуально.

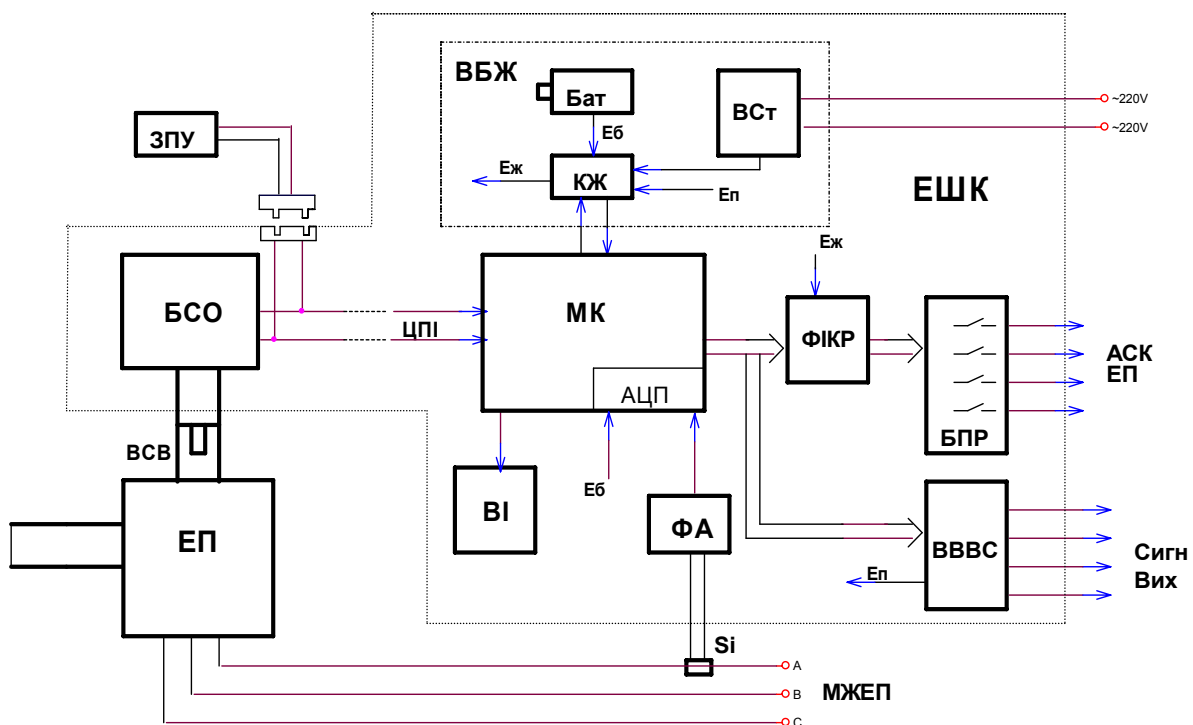
Всі вказані недоліки шляхових вимикачів обох типів, а також підвищення вимог до апаратури АЕС, що зумовлено необхідністю подовження терміну експлуатації реакторів АЕС України та аналізом аварії на АЕС Фукусіма-1 [7], поставили завдання розробки відповідного сучасного обладнання для РЗА АЕС.

У цій роботі пропонується альтернатива шляховим вимикачам – електронний шляховий контролер (ЕШК), в якому усунуто недоліки як механічних, так і електронних вимикачів та суттєво розширено їхні функціональні можливості. Концепція побудови ЕШК розглянута в роботі [6]. Проаналізуємо структуру пристрою та основні його функціональні можливості й переваги.

Актуальним завданням при побудові ЕШК є створення надійної системи безперебійного живлення, яке може забезпечити виконання штатних функцій навіть при довготривалому знеструмленні ЕШК (до восьми місяців). Складність завдання полягає в тому, що ЕШК має реагувати на обертання робочого вала ЕП при будь-якому стані його живлення, тобто знаходитися в черговому режимі, що вимагає активного стану відповідних вузлів контролера. Крім того, ЕШК могли б виконувати роль джерела даних для діагностування ЕП, якщо в них реалізувати функції визначення люфту, вибігу та рівномірності обертання вала ЕП [4]. При розробці структурної схеми ЕШК, крім вирішення вказаних, ставилось також завдання досягнення високого ступеня уніфікації рішень для ЕШК різних типів арматури трубопроводів.

Структурна схема ЕШК показана на рисунку. Контролер побудований як локальна інформаційно-вимірювальна система з елементами прямого керування [5].

Уніфікація ЕШК як для багатообертової запірної арматури, так і однообертової регулювальної досягається введенням уніфікованого послідовного інтерфейсу (ЦПІ) між мікроконтролером (МК) та блоком сенсорів (БСО) кута обертання вихідного сигнального вала (ВСВ) електроприводу (ЕП) арматури. При такій побудові ЕШК для ЕП різного виду арма-



тури можуть відрізнятися схемотехнічним та конструктивним виконанням БСО і лише конструктивним – інших вузлів. Крім того, це дає змогу територіально рознести БСО і ЕШК, що є важливим і потрібним для тих типів арматури, які працюють у специфічних умовах, наприклад, у зоні підвищеної радіоактивності. До інтерфейсу ЦПП ставляться особливі вимоги, а саме: мінімальне число ліній зв'язку, наявність двосторонніх ліній живлення. Цей інтерфейс повинен бути двоточковий: власне для БСО, а також для зовнішнього пульта управління (ЗПУ), з якого проводиться настроювання ЕШК і всієї арматури. Особливістю інтерфейсу ЦПП є і те, що лінії живлення повинні як підводити струм до ЗПУ і БСО, так і живити БСО та власне ЕШК від джерела живлення ЗПУ у випадку відключеної мережі живлення ЕШК.

Вся необхідна оперативна інформація про стан арматури (кут повороту вала, відсоток відкриття-закриття арматури, крайні положення, аварійний стан тощо) індикується на світлодіодних індикаторах вузла індикації (ВІ).

Сучасні АСК ЕП трубопроводів побудовані таким чином, що від сигналізаторів вимагається керування та утримування у визначених станах "сухих контактів". Для керування цими контактами при відсутності мережевого живлення ЕШК блок вихідних реле (БПР) запропоновано виконувати на бістабільних поляризаційних реле. Для формування імпульсу перекидання реле в структуру ЕШК введено формувач імпульсу керування реле (ФІКР), який формує імпульс перекидання потрібної потужності без суттєвого споживання струму. Це вкрай важливо для забезпечення тривалого терміну дії літійової батареї (Бат) вузла безперебійного живлення (ВБЖ).

При вирішенні завдання розширення функціональних можливостей ЕШК виконання умови збереження стандартної схеми під'єднання його до АСК приводу виявилось неможливим. У будь-якому випадку виявлення ознаки заклинювання ЕП в статичному положенні та таких діагностичних параметрів, як люфт або вибіг, необхідне визначення моменту подачі-зняття живлення на ЕП та струму принаймні на одній фазі. Стандартні схеми АСК розраховані ще на механічні сигналізатори і не передбачають введення такого сигналу. Тому в ЕШК введено один додатковий сигнал від сенсора струму фази  $S_i$ , для формування якого не потрібно змінювати схему під'єднання ЕШК до АСК або схему живлення ЕП.

Сенсором струму фази мережі живлення ЕП (МЖЕП) слугує накладний (або прохідний) трансформатор струму, який може встановлюватися на провід фази живлення ЕП, причому не обов'язково безпосередньо біля нього. Вихідний сигнал сенсора  $S_i$  надходить на вхід формувача-аналізатора (ФА), який формує: масштабований сигнал, що надходить на вхід АЦП МК, за яким визначається рівень струму споживання ЕП; імпульсний сигнал, передній фронт якого фіксує момент подачі живлення на ЕП, задній – зняття живлення. Наявність цих сигналів дає змогу в МК за розробленими алгоритмами встановити факт заклинювання ЕП у довільному стані, а також визначити люфти та вибіг ЕП.

Для сучасних АСК трубопроводів, крім ініціативних сигналів управління приводами, вимагається ще й формування стандартних інформаційних сигналів про стан арматури, а саме: у вигляді нормалізованого постійного струму; у вигляді цифрових сигналів для відповідних цифрових інтерфейсів. Для цього в структурі ЕШК передбачено відповідний вузол вихідних сигналів (ВВС), виконання якого можуть бути різні, залежно від технічного завдання на певний тип ЕШК.

Зупинимося детальніше на функціях та під'єднанні зовнішнього пульта до ЕШК. Цей пульт застосовується як для встановлення режимів роботи ЕШК, так і для настроювання арматури в цілому. В режимі настроювання в ЕШК мають бути занесені дані про кут повороту вихідного вала ЕП для певних фіксованих положень робочого органу РЗА. Для цього арматуру треба встановити в таке положення і запам'ятати відліки кута повороту в пам'яті ЕШК. Ця операція, згідно з приписами, може здійснюватися як шляхом штатної роботи ЕП при запуску приводу з пульта управління трубопроводами, так і ручним прокручуванням ЕП безпосередньо настроювачем. У будь-якому випадку саме він повинен керувати фіксацією крайніх станів в ЕШК і зупинкою ЕП у цих станах через зовнішній пульт управління (ЗПУ).

Розробники застосовуваних ЕШВ вважали, що такий пульт мусить бути безконтактним. Тому для зв'язку застосували інфрачервоні оптичні модулятори. Практика показала, що таке рішення не є цілком оптимальним з таких причин:

1. Рішення вимагає влаштування на корпусі ЕШВ вікна інфрачервоного детектора та дотримання його в стані відповідної прозорості, що не завжди можливо.

2. Обмін даними через інфрачервоний порт вимагає достатньо значної потужності, що спричиняє швидке розрядження автономного джерела живлення ЕШВ у режимі функціонування без мережевого живлення.

3. При близькому розміщенні кількох ЕШВ спостерігалось одночасне сприйняття команд пульта усіма ЕШВ, що недопустимо. Для недопущення цього ввели цифрову адресацію, що створює досить суттєву незручність, враховуючи велику кількість ЕП арматури навіть на окремому блоці АЕС.

Тому в розробленій схемі передбачено гальванічне під'єднання ЗПУ до цифрового послідовного інтерфейсу (ЦПІ) через відповідні клеми і в безпосередній близькості від БСО. Це дає змогу проводити настроювання ЕП і арматури незалежно від територіального розташування як БСО, так і решти вузлів ЕШК. При цьому індикація стану приводу і ЕШК може здійснюватися як на індикаторі ЗПУ, так і на штатному індикаторі ВІ контролера. Крім функції настроювання ЕП і ЕШК, пульт ЗПУ може виконувати функцію логера діагностичної інформації, що нагромаджується в пам'яті контролера МК. Це єдиний пристрій, що може виконувати цю функцію для модифікацій ЕШК без вихідного цифрового інтерфейсу.

Вузлом, який значною мірою визначає надійність і термін служби ЕШК, є, безумовно, вузол безперебійного живлення (ВБЖ). Аналіз варіантів безперебійного живлення показав, що найбільш надійним резервним джерелом живлення слід вважати літєву батарею великої ємності. В режимі під'єднання до мережі живлення здійснюється з випрямляча-стабілізатора (ВСт), при відсутності мережі – або від батареї Бат, або напругою Еп, отриманою з пульта, як це вже зазначалося раніше.

Керування живленням вузлів ЕШК здійснює контролер живлення (КЖ), функції якого такі: 1) слідкування і вчасна перекомутація джерел живлення залежно від їх наявності та пріоритету; 2) безумовне безперебійне живлення мікроконтролера ЕШК; 3) згідно з командами мікроконтролера подача-зняття живлення з окремих вузлів ЕШК у різних режимах функціонування.

Для забезпечення запланованого терміну роботи без мережевого живлення слід застосовувати мікроспоживаючі мікроконтролери з програмним відключенням внутрішніх вузлів, що дає змогу отримати струм споживання в режимі "сплячки" на рівні 0,2...1 мкА. Більш складним є завдання зі створення мікроспоживаючого сенсора кута повороту вала, що є предметом окремого розгляду. В результаті проведення дослідних робіт вдалося створити сигналізатори руху вала ЕП зі споживанням 3...5 мкА. В комплекті з літєвою батареєю великої ємності це забезпечує безвідмовність роботи безмережевого живлення протягом двох-трьох років при проведенні не менше восьми циклів регулювання РЗА. Наявність штатного АЦП в МК дає змогу відстежувати стан батареї й формувати сигнал необхідності її заміни, що передбачається в регламенті обслуговування ЕШК.

Запропонована структура може бути основою для розробки серійних електронних шляхових контролерів, що дасть змогу суттєво підвищити надійність роботи регулювально-запірної арматури трубопроводів АЕС і відповідно рівень безпеки експлуатації АЕС в цілому.

1. *Выключатели* путевые типа "ВП – 4М" ТУ16.526.395 – 75. – 12 с.
2. *Выключатель* путевой электронный ВПЭ. ТО и РЭ 21209684.002РЭ. – Харьков, 2006. –12 с.
3. *Сигнализаторы* конечных положений ВПЭ – 3м/36м. ТО и РЭ ААКП. 73.0300. 00РЭ рев. 2.04. – 2011. – 15 с.
4. *Бондаренко Л.М., Данилов С.Ф., Кромплас Б.А.* О возможностях использования интеллектуального электропровода для диагностирования состояния трубопроводной арматуры: Междунар. науч.-техн. конф. „Новые информационные и управляющие системы АЭС: аспекты безопасности” / Тез. докл. – Харьков: ГКАР Украины, 2005. – С. 32.

5. Кромпльяс Б.А. Локальні інформаційно-вимірjувальні системи з елементами прямого цифрового управління // Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України: Зб. наук. пр. – К.: ІЕД НАН України. – 2004. – № 2. – С. 196–197.
6. Кромпльяс Б.А., Монастирський З.Я. Шляховий контролер дозувально-запірної арматури трубопроводів об'єктів енергетики // Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України: Зб. наук. пр. – К.: ІЕД НАН України. – 2008. – № 2. – С. 62.
7. Ястребенецький М.А., Розен Ю.В., Громов Г.В., Інюшев В.В., Носовський А.В., Гаїшев М.Х., Столярчук Б.В. Требования к информационным и управляющим системам АЭС Украины по результатам анализа аварии на АЭС Фукусима-1 // Ядерна та радіаційна безпека. – 2011. – № 4(52). – С. 3–10.

УДК 621.317

**Б.А. Кромпльяс**, канд. техн. наук, **З.Я. Монастирський**, докт. техн. наук

Інститут електродинаміки НАН України,

пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03380, Україна

#### **Уніфіцирований поутевий контролер регулювочно-запорної арматури трубопроводів АЭС**

*На основе анализа преимуществ и недостатков различных типов поутевых выключателей, которые используются для управления исполнительными механизмами регулювочно-запорной арматуры трубопроводов АЭС, обоснована необходимость разработки нового поколения устройств аналогичного назначения, названных электронными поутевыми контроллерами (ЭПК). Предложена структура ЭПК, рассмотрены его основные функции, а также функции отдельных узлов. Показано, что предложенный ЭПК позволяет не только устранить недостатки существующих поутевых выключателей, но и существенно расширить их функциональные возможности. Применение таких ЭПК позволит значительно повысить надежность регулювочно-запорной арматуры, а следовательно, и уровень безопасности АЭС. Сделан вывод о том, что предложенная структура может быть положена в основу разработки серийных ЭПК. Библ. 7, рисунок.*

**Ключевые слова:** атомная электростанция, регулювочно-запорная арматура, контроллер.

**B.A. Kromplyas, Z.Ya. Monastyrskiy**

Institute of electrodynamics National Academy of Science of Ukraine,

Peremogy, 56, Kyiv-57, 03680, Ukraine

#### **Compatible position switch controller of plug-forming regulation armature of NPP pipelines**

*On the basis of analysis of advantages and lacks of different types of the position switches which are used for controls by the operating mechanism of plug-forming armature of pipelines of NPP, the necessity of development of new generation of devices of analogical purpose, adopted by the electronic position switch controller (EPSC). The structure of EPSC is offered, its basic functions, and also functions of separate sites of EPSC, are considered. It is shown that offered EPSC allows not only to remove the imperfections of the existent position switches, but also to extend substantially their functional possibilities. Application of such EPSC will allow substantially to extend reliability of plug-forming armature and NPP safety level consequently. It is concluded that the offered structure can be fixed in basis of serial EPSC development. References 7, figure.*

**Key words:** nuclear power plant, plug-forming regulation armature, controller.

Надійшла 12.06.2013

Received 12.06.2013