

П. Ф. БУДАНОВ, К. Ю. БРОВКО, Е. А. ХОМ'ЯК, Є. В. ФЕДОРОВ

УДОСКОНАЛЕННЯ АСУТП ЕНЕРГОБЛОКУ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ДЛЯ РІЗНИХ РЕЖИМІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ

Проведено аналіз критеріїв підвищення техніко-економічної ефективності при експлуатації електроенергетичного обладнання енергоблоків електростанцій. Вказано, що в існуючих методиках розрахунку техніко-економічного ефекту не враховуються чинники, які призводять до техніко-економічних витрат при зупинках енергоблоку і зниженні навантаження електроспоживачів. Значним фактором у підвищенні техніко-економічної ефективності при експлуатації автоматизованих систем управління технологічними процесами на енергоблоці електростанції є оперативний контроль з виявлення низького рівня ступеня достовірності інформації. Показано, що надійність функціонування технологічного обладнання енергоблоку істотно залежить від ефективності автоматизованого управління у позаштатних ситуаціях, коли відбувається несанкціоноване зупинення енергоблоку, через помилкове спрацьовування. Виявлено, що причиною помилкових спрацьовувань є інформація про параметри технологічного процесу енергоблоку, яка характеризується низьким ступенем достовірності. Показано, що непередбачене несанкціоноване зупинення енергоблоку і зниження навантаження для електроспоживачів призводить до значних економічних і матеріальних втрат, а, отже, і до зниження техніко-економічної ефективності при автоматизованому управлінні енергоблоком. Показано, що у застосовуваних техніко-економічних моделях не враховуються фінансові та матеріальні витрати, які відбуваються через несанкціоноване зупинення енергоблоку і зниження навантаження для електроспоживачів при помилкових спрацьовуваннях в режимі реального часу. Розроблена єдина інтегрована економіко-математична модель, яка дозволяє розрахувати економічний ефект з урахуванням зміни надійності технологічного обладнання енергоблоку за рахунок своєчасного оперативного виявлення помилкових спрацьовувань і інформації з низьким ступенем достовірності. Для розрахунку економічного ефекту на основі розробленої єдиної економіко-математичної моделі запропоновано модульний блок режиму нештатних ситуацій, зв'язаний з модулями помилкових спрацьовувань і аварійних ознак, який враховує статичні і оперативні техніко-економічні складові. Надано практичні рекомендації для застосування техніко-економічного модуля в програмно-технічному комплексі енергоблоку, що дозволяє проводити розрахунки техніко-економічного ефекту на основі статичних даних, що надходять з пам'яті даних і поточних даних з енергоблоку.

Ключові слова: нештатний режим енергоблоку, критерії ефективності, методика розрахунку економічного ефекту.

П. Ф. БУДАНОВ, К. Ю. БРОВКО, Э. А. ХОМЯК, Е. В. ФЕДОРОВ

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АСУТП ЭНЕРГОБЛОКА ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

Проведен анализ критериев повышения технико-экономической эффективности при эксплуатации электроэнергетического оборудования энергоблоков электростанций. Указано, что в существующих методиках расчета технико-экономического эффекта не учитываются факторы, которые приводят к технико-экономическим затратам при остановках энергоблока и снижении нагрузки электропотребителей. Значительным фактором в повышении технико-экономической эффективности при эксплуатации автоматизированных систем управления технологическими процессами на энергоблоке электростанции является оперативный контроль по выявлению информации с низким уровнем степени достоверности. Показано, что надежность функционирования технологического оборудования энергоблока существенно зависит от эффективности автоматизированного управления в нештатных ситуациях, когда происходят несанкционированные остановки энергоблока из-за ложных срабатываний. Обнаружено, что причиной ложных срабатываний является информация о параметрах технологического процесса энергоблока, которая характеризуется низкой степенью достоверности. Показано, что непредвиденные несанкционированные остановки энергоблока и снижение нагрузки для электропотребителей приводят к значительным экономическим и материальным потерям, а, следовательно, и к снижению технико-экономической эффективности при автоматизированном управлении энергоблоком. Показано, что в применяемых технико-экономических моделях не учитываются финансовые и материальные затраты, которые происходят из-за несанкционированной остановки энергоблока и снижение нагрузки для электропотребителей при ложных срабатываниях в режиме реального времени. Разработана единая интегрированная экономико-математическая модель, которая позволяет рассчитать экономический эффект с учетом изменения надежности технологического оборудования энергоблока, за счет своевременного оперативного выявления ложных срабатываний и информации с низкой степенью достоверности. Для расчета экономического эффекта на основе разработанной единой экономико-математической модели предложен модульный блок режима нештатных ситуаций, связанный с модулями ложных срабатываний и аварийных признаков, учитывающий статические и оперативные технико-экономические составляющие. Даны практические рекомендации для применения технико-экономического модуля в программно-техническом комплексе энергоблока, который позволяет проводить расчеты технико-экономического эффекта на основе статистических данных, поступающих из памяти данных и текущих данных с энергоблока.

Ключевые слова: нештатный режим энергоблока, критерии эффективности, методика расчета экономического эффекта.

P. F. BUDANOV, K. YU. BROVKO, E. A. KHOMIAK, E. V. FEDOROV

IMPROVEMENT OF ICS OF POWER PLANT UNIT FOR DIFFERENT MODES OF OPERATION

The analysis of the criteria for improving the technical and economic efficiency in the operation of the electric power equipment of power units of power plants. It is indicated that the existing methods for calculating the technical and economic effect do not take into account the factors that lead to technical and economic costs when the power unit is stopped and the load of electricity consumers is reduced. A significant factor in increasing the technical and economic efficiency in the operation of automated control systems for technological processes at the power unit of the power plant is operational control to identify information with a low level of reliability. It is shown that the reliability of the functioning of the technological equipment of the power unit significantly depends on the efficiency of automated control in emergency situations, when unauthorized shutdowns of the power unit occur due to false alarms. It was found that the reason for false alarms is information about the parameters of the technological process of the power unit, which is characterized by a low degree of reliability. It is shown that unforeseen unauthorized shutdowns of the power unit and a decrease in the load for power consumers lead to significant economic and material losses, and, consequently, to a decrease in technical and economic efficiency with automated control of the power unit. It is shown that the applied technical and economic models do not take into account financial and material costs that occur due to an

© П. Ф. Буданов, К. Ю. Бровко, Е. А. Хомяк, Є. В. Федоров, 2020

unauthorized shutdown of the power unit and a decrease in the load for electrical consumers in case of false alarms in real time. A unified integrated economic and mathematical model has been developed, which allows calculating the economic effect, taking into account the change in the reliability of the technological equipment of the power unit, due to the timely prompt detection of false alarms and information with a low degree of reliability. To calculate the economic effect on the basis of the developed unified economic and mathematical model, a modular block of the mode of emergency situations is proposed, associated with the modules of false positives and emergency signs, taking into account the static and operational technical and economic components. Practical recommendations are given for using the technical and economic module in the software and hardware complex of the power unit, which allows calculating the technical and economic effect based on statistical data coming from the data memory and current data from the power unit.

Keywords: abnormal operation of a power unit, efficiency criteria, method for calculating the economic effect.

Вступ. Для надійної та економічної роботи енергоблоків теплових (ТЕС) і атомних електричних станцій (АЕС) в усіх експлуатаційних режимах застосовуються програмно-технічні комплекси (ПТК) автоматизованих систем управління технологічними процесами (АСУТП) [1]. Однією з найважливіших вимог до ПТК АСУТП є забезпечення надійності експлуатації енергоблоку з високими техніко-економічними показниками на основі певної швидкодії, обумовленої швидкістю протікання технологічного процесу при виконанні заданих функцій [2].

У зв'язку з безперервним підвищенням рівня автоматизації енергоблоків питання техніко-економічної ефективності експлуатованих і модернізованих АСУТП набувають актуальності. Це обумовлено перш за все тим, що на апаратно-програмні та технічні засоби АСУТП витрачаються значні кошти, а їх обслуговування та ремонтно-відновлювальні роботи вимагають великих витрат оперативного персоналу ТЕС і АЕС. Актуальність питань економіки при автоматизації управління технологічними процесами особливо зросла в даний час через використання в АСУТП дорогих електронно-обчислювальних комплексів, що вимагають для свого функціонування кваліфікованого обслуговування [3]. Як відомо [4], джерела техніко-економічної ефективності, характер і ступінь впливу АСУТП на техніко-економічні показники виробництва електроенергії залежать від функціональних, алгоритмічних, програмних і технічних рішень. Однак, у зв'язку зі специфічними особливостями роботи АСУТП в нештатних режимах роботи енергоблоку доводиться враховувати не конкретну техніко-економічну ефективність, а її функцію від часу, характер і ступінь достовірності інформації [5]. Це висуває нові додаткові вимоги до забезпечення порівнянності розрахунків техніко-економічної ефективності з урахуванням критеріїв достовірності інформації про технологічні параметри в нештатних режимах роботи енергоблоку.

Таким чином, актуальність обраного напрямку дослідження полягає у вивченні процесів впливу інформації з низьким ступенем достовірності про технологічні параметри на техніко-економічну ефективність автоматизованого управління в нештатних режимах роботи енергоблоку електростанції.

Метою статті є підвищення техніко-економічної ефективності автоматизованого управління енергоблоком в нештатних режимах функціонування на основі виявлення інформації з низьким ступенем

достовірності про технологічні параметри в режимі реального часу.

Обґрунтування структури АСУТП енергоблоку в штатних і позаштатних режимах функціонування. При розробці структури АСУТП енергоблоку характерною особливістю є контроль параметрів технологічного процесу в режимі реального часу з урахуванням критерію оптимальності управління [1]. До теперішнього часу поширення набули структури АСУТП енергоблоком в штатному режимі, де основна обробка інформації здійснюється в центральному керуючому пристрої (ЦКП) (рис. 1).

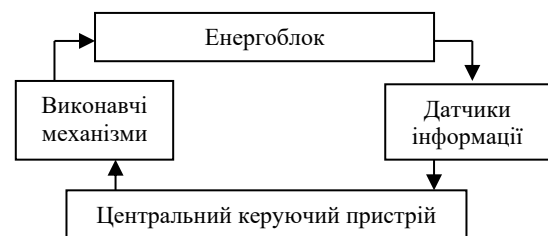


Рисунок 1 – Варіант структурної схеми АСУТП енергоблоку з повністю централізованою системою обробки інформації в штатному режимі функціонування

При такому підході знижується швидкодія обробки даних про зміну технологічних параметрів, що впливає на оперативність формування керуючих сигналів на виконавчі механізми, регулюючі та запірні органи [2]. Тому, в роботі запропоновано структуру АСУТП, де інформація частково обробляється в ЦКП, а частково передається з датчиків контролю безпосередньо на логічні та аналогові автомати, пристрої технологічного захисту [3] (рис. 2).

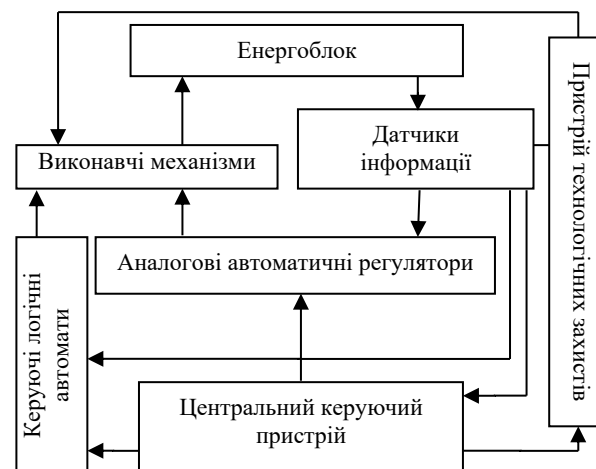


Рисунок 2 – Варіант структурної схеми АСУТП енергоблоку з частково децентралізованою системою обробки інформації в штатному режимі функціонування

При такій системі управління центральний пристрій виконано у вигляді керуючої обчислювальної машини, яка дозволяє змінювати завдання локальних регуляторів, координувати роботу логічних автоматів, контролювати хід виконання операцій управління [4].

Необхідно зауважити, що основною проблемою забезпечення нормальної експлуатації енергоблоку ТЕС і АЕС є контроль інформації на достовірність при переходу енергоблоку в нештатний аварійний режим функціонування. Сучасні ТЕС і АЕС, характеризуються великим обсягом дискретного управління, особливо в нестационарних позаштатних режимах (несанкціонований зупин і наступний повторний пуск енергоблоку) [5].

Несанкціонований зупин і наступний повторний пуск енергоблоку може проводитися через помилкові спрацьовування блокування та захисти. Тому в структурних схемах АСУТП для штатних режимів необхідно додатково включати структурні елементи у вигляді окремих модулів для перевірки інформації на ступінь достовірності. Також необхідно контролювати відхилення параметрів технологічного процесу від норми в нестационарних позаштатних режимах [6]. У зв'язку з цим було запропоновано виконувати завдання автоматизованого управління енергоблоком в нештатних режимах на основі штатної схеми АСУТП з використанням додаткового модульного блоку режиму позаштатних ситуацій (МБ РПШС) (рис. 3). Даний модуль МБ РПШС дозволить забезпечити ефективне управління енергоблоком на основі удосконалення програмно-технічних засобів і математичних моделей для випадкових експлуатаційних збурень, що реалізуються в режимі реального часу [7].

Таким чином, варіант структурної схеми АСУТП енергоблоку при його функціонуванні в позаштатних аварійних режимах, з урахуванням модульного блоку РПШС, може мати вигляд, представлений на рис. 3.

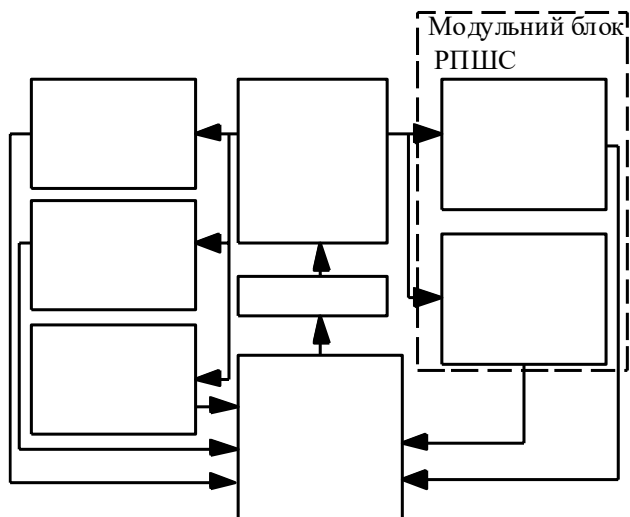


Рисунок 3 – Структурна схема АСУТП енергоблоку при функціонуванні електроенергетичного обладнання в позаштатних ситуаціях

У пропонуваному варіанті структурної схеми АСУТП обґрунтованість і достовірність отриманих

інформаційних сигналів управління повинна відповідати алгоритму управління технологічним процесом в режимі реального часу [8].

Така структура АСУТП при роботі енергоблоку в позаштатних аварійних режимах функціонування електроенергетичного обладнання дозволяє на всіх рівнях управління враховувати наступні фактори:

1. стабілізацію процесів по заданим режимним значенням технологічних параметрів і забезпечити безпеку роботи технологічного обладнання за допомогою автоматичних регуляторів, контрольно-вимірювальних приладів, автоматичних захистів;

2. проведення режимної корекції системи управління (зміна налаштувань регуляторів, перемикання при нестационарних режимах або при зміні виду палива) відповідно до режимних карт, технічних інструкцій з експлуатації;

3. адаптацію алгоритмів при зміні властивостей об'єкта на основі режимних карт та інструкцій;

4. визначення показників техніко-економічної ефективності і якості протікання технологічного процесу, їх аналіз, прийняття рішень, складання звітності [9].

Для реалізації перерахованих вище факторів і вирішення задач управління в позаштатних аварійних режимах пропонується варіант побудови інформаційно-алгоритмічної схеми для структури АСУТП енергоблоком (рис. 4).

Необхідно розглянути особливості роботи інформаційно-алгоритмічної схеми АСУТП при функціонуванні електроенергетичного обладнання для позаштатних режимів роботи енергоблоку [10].

При зборі дискретної інформації та первинній обробці вимірювальної інформації, для контролю за достовірністю інформації про параметри технологічного процесу, цифрові дані додатково спрямовуються в модуль контролю інформації на достовірність (МКІД) (рис. 3).

У модулі МКІД формується керуючий сигнал «Помилкове спрацьовування» для уточнення динамічних і ймовірнісних характеристик або «Зупинка енергоблоку» на виявлення умов переходу під час пуску і на виконавчі пристрої технічного захисту енергоблоку [7].

При виявленні аварійних ознак за допомогою аварійних реєстраторів цифрові дані додатково направляються в модуль контролю аварійних ознак (МКАО) для аналізу і прийняття рішень.

У модулі МКАО в результаті обробки цифрового коду формується і видається керуючий сигнал на зміну режиму функціонування електроенергетичного обладнання, тобто переведення енергоблоку в нештатний режим функціонування [4].

Таким чином, наукове обґрунтування структури АСУТП енергоблоку в штатних і позаштатних ситуаціях дозволяє зробити висновок про можливість таких структур виявляти помилкові спрацьовування обладнання та недостовірну інформацію про технологічні параметри [5].



Рисунок 4 – Інформаційно-алгоритмічна схема АСУТП енергоблоку при функціонуванні електроенергетичного обладнання в позаштатних режимах

Підходи з удосконалення методики розрахунку техніко-економічного ефекту для автоматизованого управління енергоблоком. Складовою підвищення надійності і економічності роботи енергоблоку електростанції є [10]:

- більш точна підтримка технологічних параметрів в нормі, від яких залежить надійність роботи обладнання енергоблоку;
- зменшення термічних напружень при пусках;
- розвинена система діагностики обладнання;
- забезпечення високої надійності оператора, яка визначається удосконаленням організації його взаємодії з технікою з урахуванням психофізичних можливостей людини;
- скорочення відхилень технологічних параметрів, від яких залежить коефіцієнт корисної дії (ККД) енергоблоку;
- підвищення середнього рівня технологічних параметрів, від яких залежить ККД енергоблоку;
- оптимізація технологічних режимів;
- оперативна реакція персоналу на відхилення від норми економічних показників;
- скорочення втрат тепла при пуску.

При цьому економічними вимогами до технічних засобів є:

- мінімальні капітальні вкладення на створення комплексу технічних засобів (КТС);
- мінімальні виробничі площі для розміщення КТС;
- мінімальні витрати на допоміжне обладнання.

При створенні АСУТП електроенергетичних об'єктів використовують принцип економічного характеру, який визначає вибір математичних методів і моделей, склад використовуваної інформації, необхідні технічні комплекси і програмні засоби [2].

Забезпечення техніко-економічної ефективності застосування мікропроцесорних пристроїв в ПТК АСУТП запропоновано досягати вирішенням наступних завдань [11]:

1. економічністю інформації за рахунок мінімальної вартості при її обробці, зберіганні, передачі і скорочення обсягу даних, а також вибором найкращих форм представлення команд, операцій і кодів;
2. організацією оперативного управління технологічним процесом за рахунок своєчасного вибору і прийняття варіантів оптимальних рішень;
3. зменшенням числа відмов і помилкових спрацьовувань при своєчасному виявленні інформації з низькою достовірністю;
4. зниженням витрат на дорогу обчислювальну техніку, шляхом впровадження модульного принципу вирішення завдань і функцій АСУТП енергоблоку ТЕС і АЕС в режимі реального часу;
5. скороченням оперативного персоналу за рахунок забезпечення виконання функцій управління сучасними високоефективними технічними засобами, які мають високу швидкість виконання операцій і видачі команд управління;
6. зниженням кількості передаварійних і аварійних ситуацій за рахунок оперативного контролю і впливу на відхилення технологічних параметрів технологічного процесу енергоблоку від норми [12].

Вибір критеріїв оцінки техніко-економічного ефекту в нештатних режимах роботи енергоблоку. Як відомо [1–4], на сьогоднішній день розрахунки та обґрунтування техніко-економічної ефективності систем автоматизації з управління технологічними процесами на енергоблоках проводяться на основі «Типової методики визначення економічної ефективності капітальних вкладень».

У даній методиці [5] в якості основних показників ефективності застосування систем автоматизації приймаються поточні експлуатаційні і одноразові капітальні витрати на створення і впровадження АСУТП.

Аналіз методик розрахунку техніко-економічного ефекту автоматизованого управління, проведений на основі робіт [1–4, 10] показують, що найбільш доцільним є обчислення річного економічного ефекту E_{aef} в залежності від річної економії. В якості додаткових умов враховуються експлуатаційні та економічні витрати на технічні та апаратно-програмні засоби АСУ відповідно до виразу (1):

$$E_{aef} = \Delta U - E_n \cdot \Delta Q, UAH \quad (1)$$

де ΔU – річна економія експлуатаційних витрат АСУТП ТЕС і АЕС;

E_n – нормативний коефіцієнт техніко-економічної ефективності (для електроенергетики $E_n = 0,15$);

ΔQ – додаткові експлуатаційні економічні витрати на технічні та апаратно-програмні засоби АСУТП ТЕС і АЕС.

Слід відзначити, що в існуючих методиках з розрахунку економічного ефекту складові річної економії ΔU ґрунтуються на статистичних даних за рік і не враховують поточні зміни в нештатних режимах роботи енергоблоку [9].

Крім того, дана методика не дозволяє враховувати характеристики параметрів з низьким ступенем достовірності, які істотно впливає на число відмов технологічного обладнання в позаштатних режимах. Внаслідок цього вихід з ладу технологічного обладнання енергоблоку може привести до значних економічних втрат, наприклад добовий простій енергоблоку ТЕС в еквіваленті оцінюється в 250...300 тис. дол. США, а його повторний пуск потрібно до 150 тис. дол. США [2].

Таким чином, для вдосконалення методики розрахунку економічного ефекту необхідно вибрати критерії оцінки, які будуть враховувати ступінь достовірності інформації в режимі реального часу. При цьому техніко-економічна ефективність впровадження мікропроцесорних модулів для оцінки інформації з низькою достовірністю повинна ґрунтуватися на порівнянні з вихідним рівнем автоматизації технологічного процесу [10].

Тому, необхідно вибрати і запропонувати критерії для розрахунку техніко-економічних показників ΔU_{rnt} , в режимі реального часу для позаштатних режимів функціонування енергоблоку, особливо при зупинці і зниженні навантаження енергоблоку через помилкові спрацьовування.

Для розрахунку економічного ефекту запропоновано враховувати наступні складові техніко-економічних показників ΔU_{rnt} в режимі реального часу:

- економію через зміни витрати енергії на власні потреби енергоблоку при його зупинах і повторному пуску;
- економію через зміни експлуатаційного ККД енергоблоку при виявленні аварійних ознак про відхилення технологічних параметрів.

Висновки. Для удосконалення методики для розрахунку техніко-економічної ефективності були розроблені:

- варіант структурної схеми АСУТП енергоблоку при функціонуванні електроенергетичного обладнання в позаштатних ситуаціях;
- структурна схема АСУТП енергоблоку при функціонуванні електроенергетичного обладнання в позаштатних ситуаціях;
- інформаційно-алгоритмічна схема АСУТП енергоблоку при функціонуванні електроенергетичного обладнання в позаштатних режимах;
- критерії оцінки техніко-економічного ефекту для методики розрахунку техніко-економічної ефективності на основі єдиної інтегрованої економіко-математичної моделі при експлуатації АСУТП енергоблоку електростанції в позаштатних ситуаціях.

Список літератури

1. Александров Е. В., Горелик А. Х., Розенбаум И. Д. Дисплейное управление в АСУ ТП атомных электростанций. *Проблемы обеспечения безопасности информационных и управляющих систем АЭС. Сб. науч. тр.* Одесса, 2010. С. 84–88.
2. Боровиков Ю. С., Прохоров А. В., Сулайманов А. О. Всережимный моделирующий комплекс реального времени и его использование для решения задач управления в ИЭС ААС. *Релейная защита и автоматизация.* 2012. № 1. С. 54–59.
3. Дуэль М. А. Автоматизация определения технических характеристик энергооборудования. *Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит : Общегосударственный научно-производственный и информационный журнал.* 2013. № 2. С. 13–19.
4. Биленко В. А. Функциональные возможности современных АСУ ТП ТЭС и новый уровень автоматизации. *Электрические станции.* 2004. № 1. С. 13–18.
5. Буданов П. Ф., Бровко К. Ю., Васюченко П. В. Повышение надёжности функционирования энергообъектов на основе усовершенствования программно-технического комплекса автоматизированной подсистемы аварийной и предупредительной защит. *Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил.* 2016. Вип. 3 (48). С. 161–167.
6. Stoppato A., Mirandola A., Meneghetti G., Casto E. On the operation strategy of steam power plants working at variable load: *Technical and economic issues.* *Energy.* 2017. Vol. 37. P. 228–236.
7. Duy D., Vasseur D. A practical methodology for modeling and estimation of common cause failure parameters in multi-unit nuclear PSA model. *Reliability Engineering & System Safety.* 2018. Vol. 170. P. 159–174.
8. Буданов П. Ф., Бровко К. Ю. Повышение надёжности управления технологическим процессом энергообъекта способом выявления аварийных признаков в нештатных режимах функционирования на основе метода фрактального обнаружения. *Системы обработки информации.* Харьков, 2016. Вип. 7. С. 175–180.

9. Кухоренко А. Н. Методика расчета экономической эффективности инвариантной системы автоматического регулирования уровня воды в барабане котла. *Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ*. 2015. № 6. С. 62–73.
10. Каниок Г. И., Дуэль М. А. Автоматизация технологических процессов и ее влияние на эффективность энергопроизводства ТЭС и АЭС. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. Харьков: Технологический центр. 2011. Т. 5, № 8 (53). С. 15–22.
11. Герасименко К. Е. Использование непрерывных функций в элементах оборудования защит АЭС для диагностирования неисправностей типа «несрабатывание по требованию». *Радиоэлектроника и компьютерные системы*. 2011. № 1. С. 29–33.
12. Буданов П. Ф., Бровко К. Ю. Динамічна просторово-часова модель інформаційно-керуючих систем програмно-технічних комплексів АСУ ТП енергоблоку електростанції. *Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил*. 2016. Вип. 4 (49). С. 80–85.

References (transliterated)

1. Aleksandrov E. V., Gorelik A. H., Rozenbaum I. D. Displejnoe upravlenie v ASU TP atomnykh elektrostancij [Display control in automated process control systems of nuclear power plants]. *Problemy obespecheniya bezopasnosti informacionnykh i upravlyayushchih sistem AES. Sb. nauch. tr.* [Problems of ensuring the safety of information and control systems of nuclear power plants. Collection of scientific papers]. Odessa, 2010, pp. 84–88.
2. Borovikov Yu. S., Prohorov A. V., Sulajmanov A. O. Vserezhimnyj modeliruyushchij kompleks real'nogo vremeni i ego ispol'zovanie dlya resheniya zadach upravleniya v IES AAS [All-mode real-time modeling complex and its use for solving control problems in IES AAS]. *Relejnaya zashchita i avtomatizaciya* [Relay protection and automation]. 2012, No. 1, pp. 54–59.
3. Duel' M. A. Avtomatizaciya opredeleniya tekhnicheskikh karakteristik energooborudovaniya [Automation of determination of technical characteristics of power equipment]. *Energoberezhenie. Energetika. Energoaudit : Obshchegosudarstvennyj nauchno-proizvodstvennyj i informacionnyj zhurnal* [Energy saving. Energy. Energy audit: National scientific-production and information journal]. 2013, No. 2, pp. 13–19.
4. Bilenko V. A. Funkcional'nye vozmozhnosti sovremennykh ASU TP TES i novyj uroven' avtomatizacii. [Functional capabilities of modern APCS TPP and a new level of automation]. *Elektricheskie stancii* [Electric stations]. 2004, No. 1, pp. 13–18.
5. Budanov P. F., Brovko K. Yu., Vasyuchenko P. V. Povyshenie nadyozhnosti funkcionirovaniya energoob"ektov na osnove usovershenstvovaniya programmno-tekhnicheskogo kompleksa avtomatizirovannoj podsistemy avarijnoj i predupreditel'noj zashchit. [Improving the reliability of the functioning of power facilities on the basis of improving the software and hardware complex of the automated subsystem of emergency and preventive protection]. *Zbirnyk naukovykh prats Kharkivskoho universytetu Povitrianykh Syl* [Collection of scientific works of Kharkiv University of the Air Force]. 2016, iss. 3 (48), pp. 161–167.
6. Stoppato A., Mirandola A., Meneghetti G., Casto E. On the operation strategy of steam power plants working at variable load: *Technical and economic issues. Energy*. 2017, vol. 37, pp. 228–236.
7. Duy D., Vasseur D. A practical methodology for modeling and estimation of common cause failure parameters in multi-unit nuclear PSA model. *Reliability Engineering & System Safety*. 2018, vol. 170, pp. 159–174.
8. Budanov P. F., Brovko K. Yu. Povyshenie nadezhnosti upravleniya tekhnologicheskimi processami energoob"ekta sposobom vyyavleniya avarijnykh priznakov v neshtatnykh rezhimakh funkcionirovaniya na osnove metoda fraktal'nogo obnaruzheniya [Improving the reliability of the process control of a power facility by detecting emergency signs in abnormal operating modes based on the fractal detection method]. *Sistemy obrobky informatsii* [Information processing systems]. 2016, iss. 7, pp. 175–180.
9. Kuhorenko A. N. Metodika rascheta ekonomicheskoy effektivnosti invariantnoj sistemy avtomaticheskogo regulirovaniya urovnya vody v barabane kotla [Methodology for calculating the economic efficiency of an invariant system for automatic regulation of the water level in the boiler drum]. *Energetika. Izv. vyssh. ucheb. zavedenij i energ. ob"edinenij SNG* [Energy. Izv. higher. study. institutions and energy. CIS associations]. 2015, No. 6, pp. 62–73.
10. Kanyuk G. I., Duel' M. A. Avtomatizaciya tekhnologicheskikh processov i ee vliyanie na effektivnost' energoprodukcii TES i AES [Automation of technological processes and its impact on the efficiency of energy production at TPP and NPP]. *Eastern European Journal of Advanced Technologies*. 2011, vol. 5, no. 8 (53), pp. 15–22.
11. Gerasimenko K. E. Ispol'zovanie nepreryvnykh funkcyj v elementah oborudovaniya zashchit AES dlya diagnostirovaniya neispravnostej tipa «nesrabatyvanie po trebovaniyu» [The use of continuous functions in elements of NPP protection equipment for diagnosing malfunctions of the "failure on demand" type]. *Radioelektronika i komp'yuternye sistemy* [Electronic and computer systems]. 2011, no. 1, pp. 29–33.
12. Budanov P. F., Brovko K. Yu. Dinamichna prostoro-časova model informatsiino-keruiuchykh system programno-tekhnichnykh kompleksiv ASU TP enerhobloku elektrostancii [Dynamic space-time model of information and control systems of software and hardware complexes of ACS TP of power plant unit]. *Zbirnyk naukovykh prats Kharkivskoho universytetu Povitrianykh Syl* [Collection of scientific works of Kharkiv University of the Air Force]. 2016, iss. 4 (49), pp. 80–85.

Надійшло (received) 15.12.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Буданов Павло Феофанович (Буданов Павел Феофанович, Budanov Pavlo Feofanovich) – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри фізики, електротехніки і електроенергетики Української інженерно-педагогічної академії; Харків, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1542-9390>; e-mail: pavelfeofanovich@ukr.net.

Бровко Костянтин Юрійович (Бровко Константин Юрьевич, Brovko Kostiantyn Yuriiovich) – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри фізики, електротехніки і електроенергетики Української інженерно-педагогічної академії; Харків, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9669-9316>; e-mail: brovkokonstantin@gmail.com.

Хом'як Едуард Анатолійович (Хомьяк Эдуард Анатольевич, Khomiak Eduard Anatoliiovich) – аспірант Української інженерно-педагогічної академії; Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2579-2986>; e-mail: eakhomiak@gmail.com.

Федоров Євген В'ячеславович (Федоров Евгений Вячеславович, Fedorov Yevhen Viacheslavovich) – аспірант Української інженерно-педагогічної академії; Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2579-2986>; e-mail: evhen.fedorov@gmail.com.