

Б.С. Стогній, О.В. Кириленко, В.В. Павловський, А.О. Стелюк, Л.М. Лук'яненко

Інститут електродинаміки НАН України,
пр. Перемоги, 56, Київ, 03057, Україна, astelyuk@gmail.com

СТВОРЕННЯ ЗАСОБІВ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ АВАРІЙНИХ РЕЖИМІВ ЕНЕРГОВУЗЛА ОЕС УКРАЇНИ ДЛЯ ЦИФРОВИХ ПРОТИАВАРІЙНИХ АВТОМАТИК ТА ЗАХИСТІВ ДНІСТРОВСЬКОЇ ГАЕС



Розглянуто основні етапи виконання інноваційного проекту, направлено на створення засобів визначення параметрів аварійних режимів Дністровського енерговузла. Наведено результати верифікації моделей автоматичних регуляторів збудження гідроагрегатів Дністровської гідравлічної акумулюючої електростанції (ГАЕС). Подано основні відомості щодо створених засобів автоматизації розрахунків статичної та динамічної стійкості. Наведено структурну схему прототипу протиаварійної автоматики Дністровської ГАЕС.

Ключові слова: Дністровська гідроакумулююча електростанція, об'єднана енергосистема України, статична та динамічна стійкість, база даних параметрів режимів.

Введення в експлуатацію Дністровської гідравлічної акумулюючої електричної станції (ГАЕС), яка, при досягненні проектною номінальної потужності, буде найпотужнішою станцією такого типу в Європі, спонукає до значної зміни структури генерації в об'єднаній енергосистемі (ОЕС) України як у режимі добового максимуму (гідроагрегати виробляють електроенергію), так і у режимі нічного мінімуму (агрегати станції працюють у режимі двигуна). Очевидно, що виникнення аварійних режимів, зокрема коротких замикань та асинхронних режимів, які можуть супроводжуватися відключенням агрегатів станції від мережі, безумовно призведе до погіршення роботи ОЕС України. На сьогодні для захисту від таких аварійних режимів широко використовуються сучасні цифрові пристрої релейного захисту (РЗ) та протиаварійної автоматики

(ПА), які дозволяють реалізовувати комплексні функції захисту, моніторингу режимів та реєстрації аварійних подій. Враховуючи складність архітектури та практичну реалізацію таких автоматик, це обумовлює необхідність створення відповідних засобів визначення структури релейного захисту об'єктів магістральних електричних мереж, застосування яких дозволить забезпечити селективне спрацювання пристроїв РЗ Дністровської ГАЕС за аварійних режимів. Крім того, для координації роботи автоматики ліквідації асинхронного режиму (АЛАР), яка використовується для захисту від асинхронних режимів (АР) на станційному та мережевому рівнях, також постає завдання зі створення засобів визначення аварійних параметрів АР, що дозволить виконати перевірку ефективності існуючих та формування рекомендацій щодо нових пристроїв АЛАР в аспекті забезпечення їх селективної роботи для ремонтно-аварійних схем мережі.

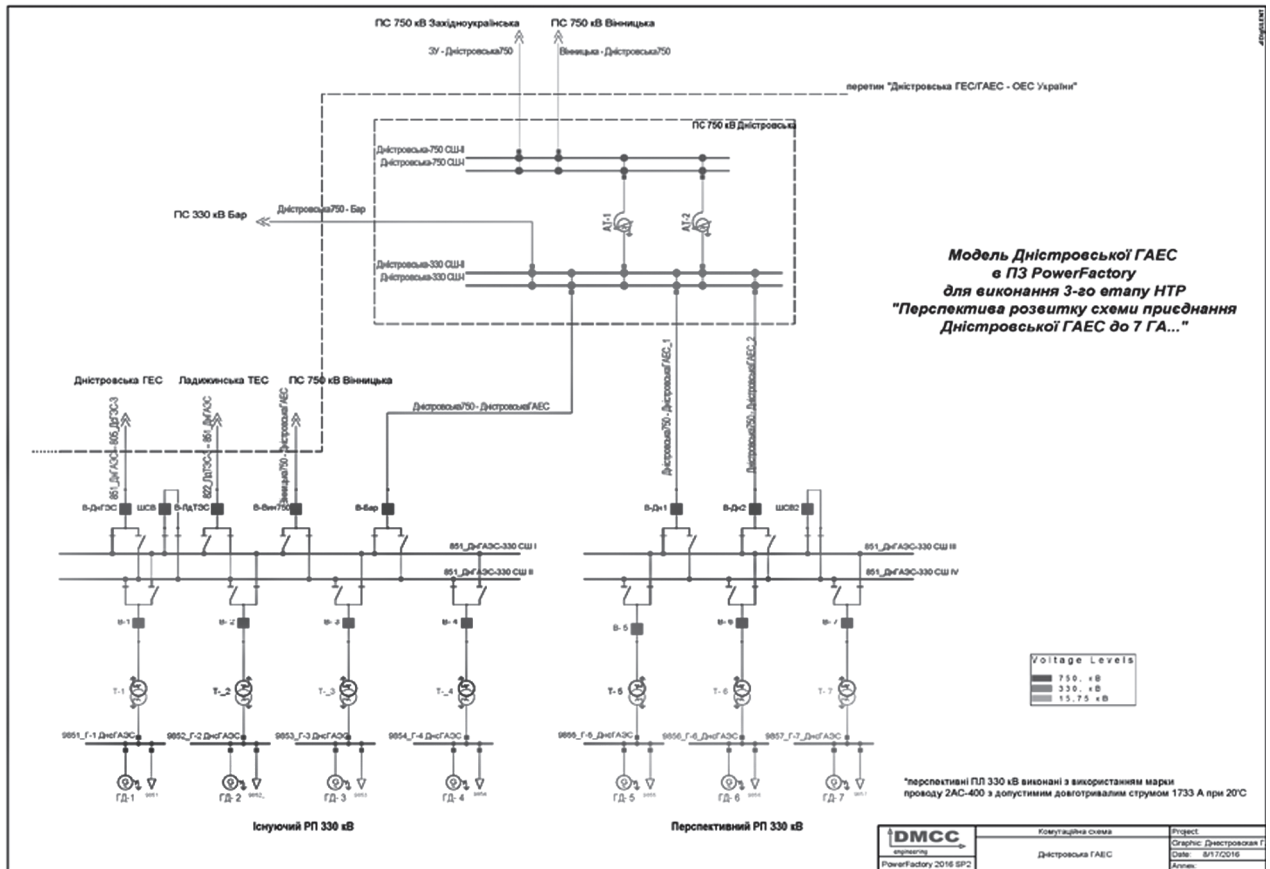


Рис. 1. Розрахункова модель Дністровської ГАЕС, що працює у складі семи гідроагрегатів

За таких умов стає актуальною проблема із забезпечення надійної роботи Дністровської ГАЕС та прилеглих магістральних електричних мереж ОЕС України, що дозволить «локалізувати» аварійний режим і, як наслідок, попередити погіршення системної аварії. Враховуючи істотну зміну структури генерації вітчизняної ОЕС з впровадженням нової потужності Дністровської ГАЕС, вирішення цієї проблеми потребує розв'язання низки науково-технічних та практичних завдань, що дозволить створити інноваційні та актуальні засоби з визначення параметрів аварійних режимів енерговузла ОЕС України для цифрових протиаварійних автоматик та захистів цієї станції та прилеглих магістральних мереж вітчизняної ОЕС.

Крім того, актуальність проекту додатково визначається наступними чинниками. По-перше, це необхідність виконання значного обсягу розрахункових досліджень Дністровської ГАЕС як в нормальних, так і в ремонтно-аварійних режимах. Зокрема, це потребує проведення розрахунків поточкорозподілу та рівнів напруги, статичної та динамічної стійкості, асинхронних режимів та струмів короткого замикання (КЗ). Розв'язання таких комплексних завдань є можливим лише через автоматизацію таких розрахунків. Другий чинник обумовлений спрощеними вимогами до розрахункових моделей автоматичних регуляторів збудження (АРЗ), які визначені у вітчизняному нормативному документі СОУ-Н «Стійкість енергосистем. Керівні вказівки». Зокрема, у

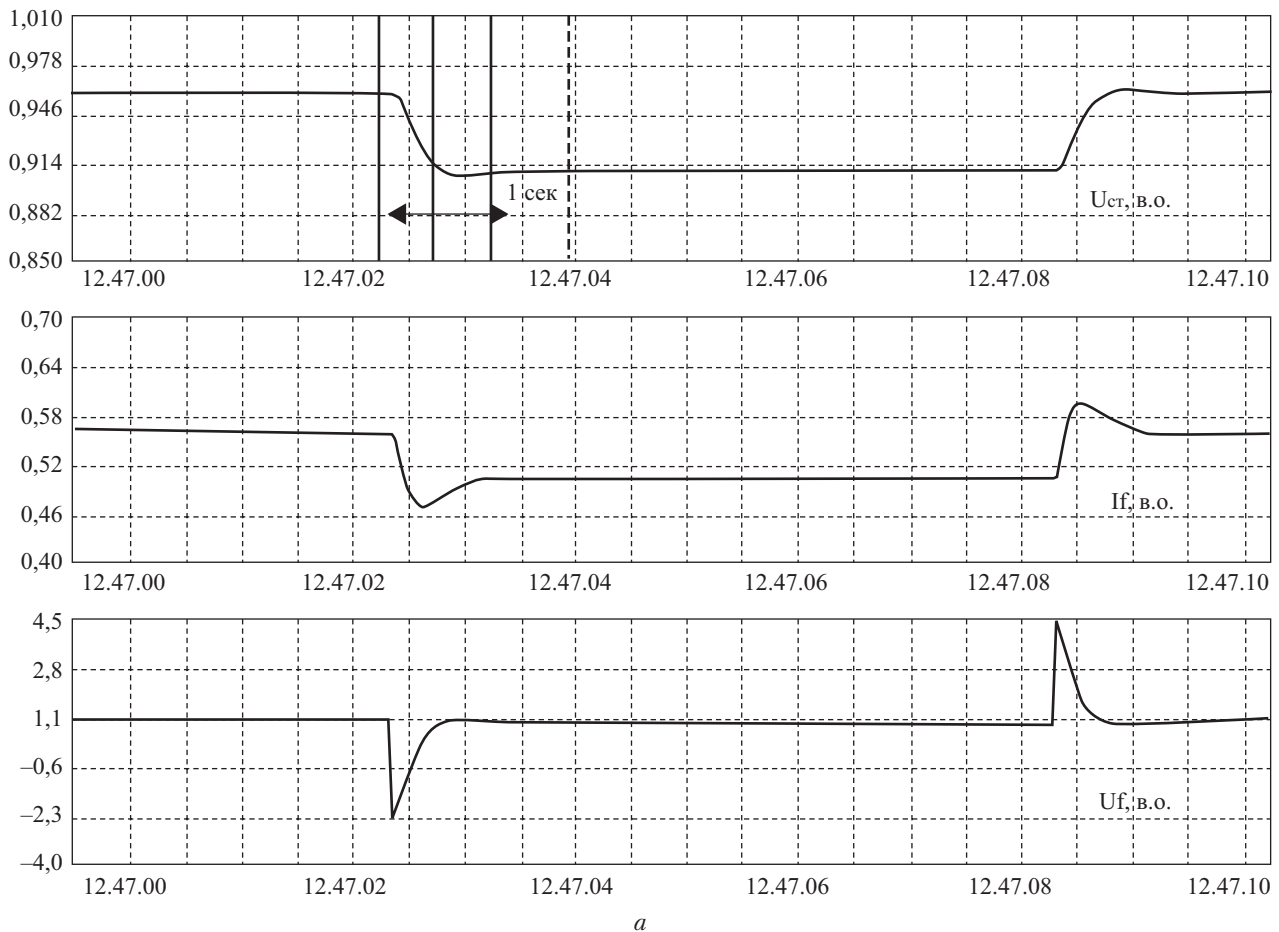
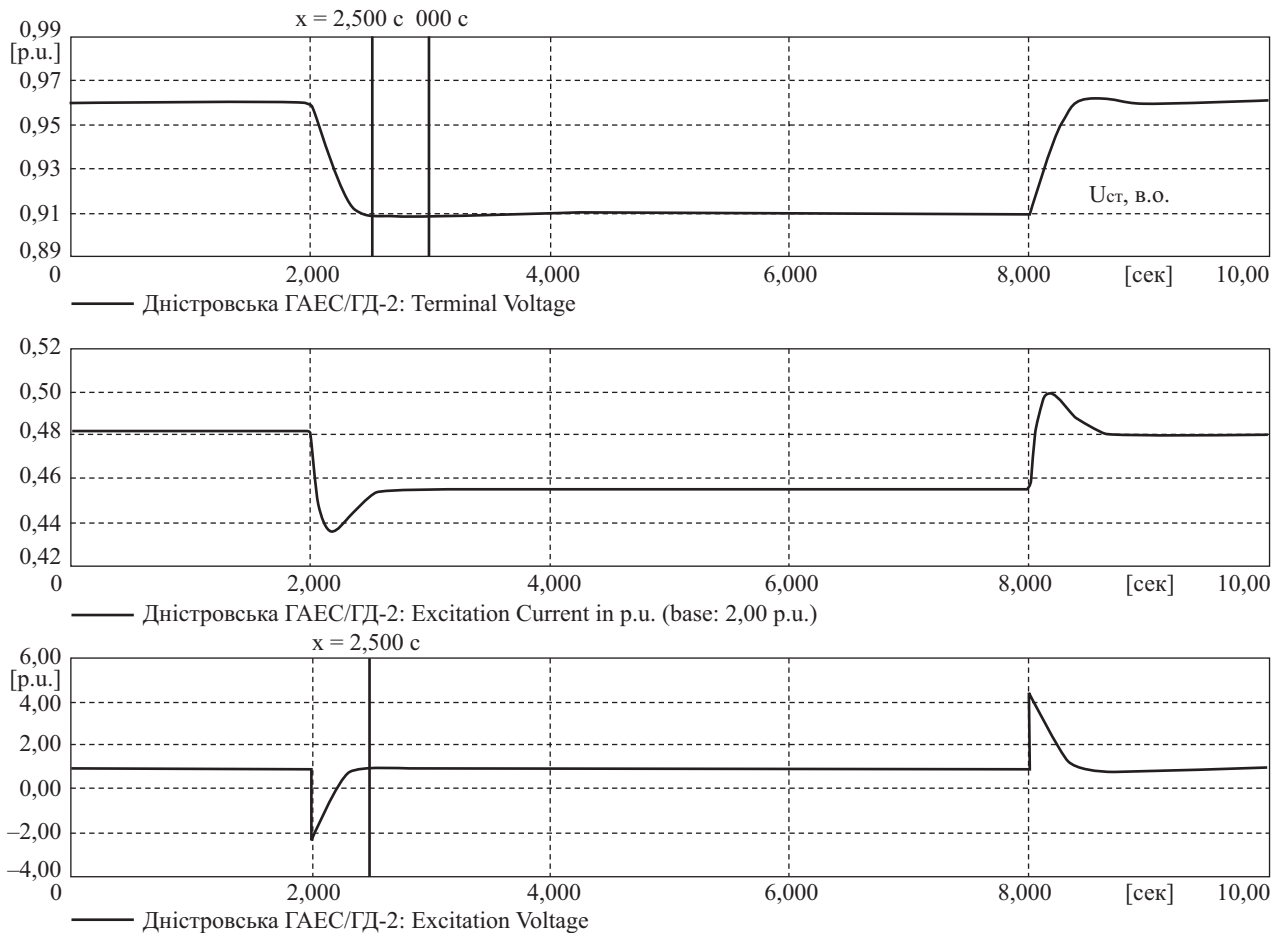


Рис. 2. Верифікація динамічної моделі АРЗ гідроагрегату Дністровської ГАЕС: *a* – осцилограма – зміна напруги, струму та напруги збудження ГА; *b* – результати моделювання – зміна напруги, струму та напруги збудження ГА (див. також с. 50)

зазначеному документі відсутні вимоги до верифікації розрахункових моделей, що дозволило б «обґрунтувати» правомірність використання розроблених моделей АРЗ для розрахунків динамічної стійкості енергосистем. Третім чинником є невизначеність мережевого будівництва магістральних мереж 750–220 кВ ОЕС України. Враховуючи складну економічну ситуацію, що існує на сьогодні в Україні, це призводить до зменшення обсягу капіталовкладень у мережеве будівництво в ОЕС України, а отже, і до необхідності коригування обсягу розрахункових досліджень. Відповідно завдання з автоматизації виконання розрахункових досліджень, що викликана потребою у

повторних розрахунках для різних варіантів розвитку мережі, набуває особливої актуальності. Останній, четвертий, чинник, що визначає актуальність проекту, полягає в унікальності синхронних машин, що використовуються на Дністровській ГАЕС. Так, в масштабах ОЕС України, як зазначено вище, такі агрегати визначаються значною потужністю генерації та споживання. Крім того, як показали результати натурних вимірювань параметрів гідроагрегатів, які виконано на станції, фактичне значення перехідного опору майже вдвічі відрізняється від його номінального значення. Така розбіжність безумовно має значний вплив на результати розрахунку динамічної стійкості



б
Рис. 2. Закінчення

ті, що також зумовлює необхідність автоматизації розрахункових досліджень.

На першому етапі виконання роботи створено розрахункову модель Дністровських ГЕС-ГАЕС та прилеглих магістральних мереж ОЕС України, яка охоплює поточний стан та перспективний розвиток цих мереж (рис. 1).

Так, для поточного року в моделі Дністровської ГАЕС враховано три агрегати, які працюють в режимі генератора та двигуна, а для подальшого часу – спорудження нових повітряних ліній (ПЛ) 330 кВ «Західноукраїнська–Богородчани», «Тернопільська–Чернівецька», введення в експлуатацію яких передбачено на 2017 та 2018 рр. Детальне представлення прилеглих магістральних ме-

реж та врахування особливостей роботи агрегатів Дністровської ГАЕС (в режимах генератора та двигуна) дозволяє провести комплексні дослідження режимів енергорайону, що розглядається, для нормальної та ремонтно-аварійних схем. З метою моделювання електромеханічних перехідних процесів в роботі також розроблено моделі систем автоматичного регулювання, зокрема АРЗ, що використовують на сьогодні на Дністровській ГАЕС. Верифікацію створеної моделі АРЗ виконано з використанням результатів пусконаладжувальних випробувань цих регуляторів. Аналіз отриманих результатів моделювання підтвердив коректну роботу створених моделей АРЗ Дністровської ГАЕС (рис. 2).

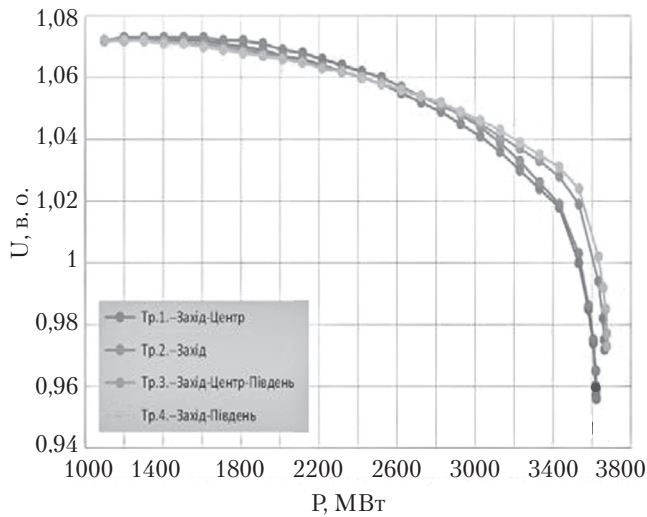


Рис. 3. Автоматизація розрахунків статичної стійкості

№	Схема роботи магістральних мереж	Максимально допустимий перетік за перетином «Дні.ГЕС-ГЕС—ОЕС України», МВт			
		3 блоки на ДніГЕС	Чим обмежується	4 блоки на ДніГЕС	Чим обмежується
Навантаження Зима-Максимум 2016					
1	Нормальна схема	2750	8% - запас по Р при вимкненні «ДніГЕС-Бар»	2950	8% - запас по Р при вимкненні «ДніГЕС-Бар»
2	Ремонт ПЛ-330кВ «БуТЕС-Ів.Франківська»	2100	15% - запас за напругою в норм. схемі	2150	15% - запас за напругою в норм. схемі
3	Ремонт ПЛ-330кВ Ів.Франківська-Чернівці	2650	8% - запас по Р при вимкненні «ДніГЕС-Бар»	2800	Переобтяження ПЛ «ДніГЕС-Бар» при вимкненні «ДніГЕС-ЛадТЕС»
4	Ремонт ПЛ-330кВ «КПД-ДніГЕС»	2350	Переобтяження на ПЛ «ДніГЕС-Бар» при вимкненні «ДніГЕС-ЛадТЕС»	2350	Переобтяження ПЛ «ДніГЕС-Бар» при вимкненні «ДніГЕС-ЛадТЕС»
5	Ремонт ПЛ-330кВ ДніГЕС-ДніГЕС	2100	8% - запас по Р при вимкненні «ДніГЕС-Бар»	2000	Переобтяження ПЛ «ДніГЕС-ЛадТЕС» при вимкненні «ДніГЕС-Бар»
6	Ремонт ПЛ-330кВ ДніГЕС-Бар	2100	8% - запас по Р при вимкненні «ДніГЕС-ЛадТЕС»	2000	Переобтяження «ДніГЕС-ЛадТЕС» при вимкненні «ДніГЕС-ДніГЕС»

На наступному, другому, етапі проведено розрахунки усталених режимів, статичної та динамічної стійкості Дністровського енерговузла та прилеглих магістральних мереж з використанням відповідних розроблених засобів автоматизації розрахунків (рис. 3, 4), а також виконано розрахунок струмів КЗ.

Так, в рамках проведення досліджень, сформовані відповідні розрахункові сценарії охоплюють відключення ПЛ 330 кВ, які відходять від Дністровської ГАЕС: «Дністровська ГАЕС – Дністровська ГЕС», «Дністровська ГАЕС – Бар» та «Дністровська ГАЕС – Ладжинська ТЕС». Врахування цих ПЛ обумовлено значним їх впливом на режими роботи станції. Так, за результатами розрахунків динамічної стійкості, в нормальній схемі мережі потужність генерації Дністровської ГАЕС в режимі генератора та двигуна не обмежується. Робота трьома блоками станції в генераторному режимі допускається і при одинарних ремонтних схемах. Водночас, при ремонті ПЛ 330 кВ «Дніст-

ровська ГАЕС – Дністровська ГЕС» та «Івано-Франківська – Чернівецька» потужність споживання Дністровської ГАЕС повинна обмежуватись на рівні двох гідроагрегатів (ГА), а при ремонті ПЛ 330 кВ «Дністровська ГАЕС – Бар» (або «Дністровська ГАЕС – Ладжинська ТЕС») – на рівні одного ГА. Таким чином, дослідження динамічної стійкості Дністровської ГАЕС дозволило визначити необхідний склад генерації (споживання) цієї станції для різних режимів умов роботи прилеглих магістральних мереж ОЕС України.

На третьому етапі роботи виконано розрахунок асинхронних режимів з використанням створених засобів автоматизації побудови графіків асинхронного ходу, а також сформовано базу даних керуючих дій пристроїв ПА Дністровських ГАЕС та ГЕС на основі результатів комплексних досліджень усталених режимів, статичної та динамічної стійкості для нормальних та ремонтно-аварійних схем, направлених на визначення такого складу гене-



Параметри розрахунків: вид КЗ; тривалість КЗ; місце КЗ; НАПВ (АПВ); ПРВВ; навантаженість генераторів; режим роботи ГА (генератор/двигун); зима/літо; макс/мін навантаження ОЕС

Рис. 4. Алгоритм роботи програми автоматизації розрахунків динамічної стійкості

рації Дністровської ГАЕС, при якому зберігається її стійка робота. При цьому необхідні керуючі дії, що виробляються ПА Дністровської ГАЕС, будуть визначатися найбільш «важким» з трьох вищезазначених режимів. Як показав аналіз отриманих результатів досліджень, поява основних режимних проблем спостерігається при роботі ГА Дністровської ГАЕС у режимі двигуна. Найбільш важкою ава-

рією є вимкнення ПЛ 330 кВ «Бурштинська ТЕС – Івано-Франківська», що призводить до зниження напруги на системах шин (СШ) 110 кВ підстанцій «Чернівецька» та «Івано-Франківська». Нормалізація напруги на СШ вказаних підстанцій потребує відключення одного ГА на Дністровській ГАЕС, а у разі вимкненої ПЛ 330 кВ «Дністровська ГАЕС – Дністровська ГЕС» – автоматичного завантаження гідрогенераторів на Дністровській ГЕС.

Визначення керуючих дій ПА Дністровської ГАЕС також виконано з урахуванням ремонтно-аварійних схем магістральних мереж. Так, найбільш «важким» режимом є аварійне вимкнення ПЛ 330 кВ «Бурштинська ТЕС – Івано-Франківська» у разі ремонту наступних ПЛ 330 кВ «Дністровська ГАЕС – Бар», «Дністровська ГАЕС – Ладизинська ТЕС» та «Дністровська ГЕС – Бельці». В таких режимних умовах робота жодного ГА Дністровської ГАЕС без ПА не допустима, а з використанням ПА на цій станції можливим є підключення до мережі лише одного ГА. Таким чином, покращення режимних умов роботи Дністровської ГАЕС в таких умовах потребує додаткового будівництва нової ПЛ 330 кВ. Проведений аналіз показав, що найбільш ефективним заходом є спорудження нової ПЛ 330 кВ «Дністровська ГАЕС – Вінницька-750».

В ході роботи також визначено керуючі дії ПА Дністровської ГАЕС у разі роботи ГА цієї станції у режимі генератора. Аналіз отриманих результатів досліджень свідчить про значне покращення режимних умов при генеруванні активної потужності. Так, обмеження потужності на рівні двох ГА спостерігається лише при ремонті ПЛ 330 кВ «Дністровська ГАЕС – Дністровська ГЕС», або «Дністровська ГАЕС – Бар», або «Дністровська ГАЕС – Ладизинська ТЕС», тобто при відключенні однієї з ПЛ 330 кВ, що відходить від Дністровської ГАЕС. Таким чином, отримані результати досліджень дозволили сформуванню бази даних керуючих дій ПА Дністровської ГАЕС з врахуванням її роботи в режимах насоса та генератора.

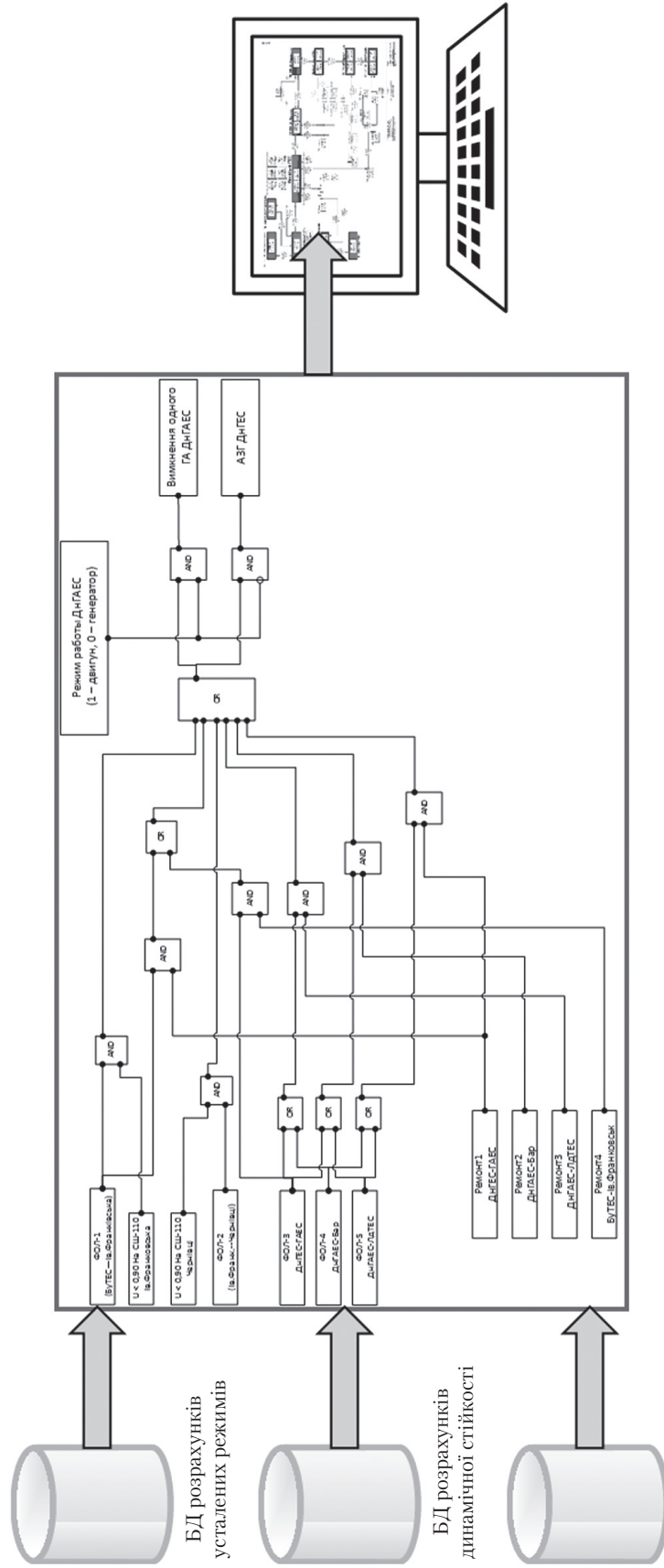


Рис. 5. Структурна схема прототипу ПА Дністровської ГАЕС

Структурну схему прототипу ПА Дністровської ГАЕС подано на рис. 5.

Необхідно зазначити, що, на основі проведених досліджень, додатково сформовано базу даних налаштування уставок РЗ, а також базу даних параметрів АР, які захищені відповідними авторськими свідоцтвами. Відмітимо, що створені засоби автоматизації розрахункових досліджень дозволяють провести аналогічні розрахунки і для інших електроенергетичних об'єктів ОЕС України, що, в цілому, дозволить підвищити надійність роботи вітчизняної ОЕС.

Стаття надійшла до редакції 04.05.17

*Stognii, B.S., Kyrylenko, O.V., Pavlovsky, V.V.,
Steliuk, A.O., and Lukianenko, L.M.*

Institute of Electrodynamics of NAS of Ukraine,
56, Peremogy Ave., Kyiv, 03057, astelyuk@gmail.com

DEVELOPMENT OF TOOLS FOR IDENTIFYING
THE EMERGENCY OPERATION PARAMETERS
OF UKRAINIAN IPS FOR THE DIGITAL
EMERGENCY PREVENTION AND PROTECTION
OF AUTOMATICS AT DNIESTER PSPP

The basic phases of innovation project on the development of means enabling to identify the emergency operation parameters at the Dniester pumped storage power plant (PSPP) have been considered. The verification results of AVR models at Dniester PSPP have been shown. The basic information and data on the designed means for automating

the steady-state and dynamic stability calculations have been provided. The structure diagram of the emergency system prototype of Dniester PSPP has been presented.

Keywords: Dniester pump-storage power plant, interconnected power system of Ukraine, steady-state and dynamic stability, and operation parameters database.

*Б.С. Стогній, А.В. Кириленко, В.В. Павловський,
А.О. Стелюк, Л.М. Лук'яненко*

Институт электродинамики НАН Украины,
пр. Победы, 56, Киев, 03057, Украина,
astelyuk@gmail.com

СОЗДАНИЕ СРЕДСТВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ПАРАМЕТРОВ АВАРИЙНЫХ РЕЖИМОВ
ЭНЕРГОУЗЛА ОЭС УКРАИНЫ ДЛЯ ЦИФРОВЫХ
ПРОТИВОАВАРИЙНЫХ АВТОМАТИК
И ЗАЩИТ ДНЕСТРОВСКОЙ ГАЭС

Рассмотрены основные этапы выполнения инновационного проекта, направленного на создание средств определения параметров аварийных режимов Днестровского энергоузла. Приведены результаты верификации моделей автоматических регуляторов возбуждения гидроагрегатов Днестровской гидравлической аккумулирующей электростанции (ГАЭС). Представлены основные сведения о разработанных средствах автоматизации расчетов статической и динамической устойчивости. Приведена структурная схема прототипа противоаварийной автоматики Днестровской ГАЭС.

Ключевые слова: Днестровская гидроаккумулирующая электростанция, объединенная энергосистема Украины, статическая и динамическая устойчивость, база данных параметров режимов.