

В. Я. БУНЬКО

кандидат технічних наук, доцент,

доцент кафедри енергетики і автоматики

Відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів
і природокористування України «Бережанський агротехнічний інститут»

ORCID: 0000-0002-9403-8135

АНАЛІЗ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ КЕРУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИМИ ПРИСТРОЯМИ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ ТА АВТОМАТИЗАЦІЇ ЕНЕРГОСИСТЕМ

В даній статті розглянуто питання щодо правильної та безпечної роботи із сервісним програмним забезпеченням «Монітор-2» при використанні персонального комп'ютера для керування інтелектуальними мікропроцесорними пристроями релейного захисту та автоматики серії РЗЛ-05, РЗЛ-06. Дане програмне середовище «Монітор-2» дозволяє керувати пристроями релейного захисту серії РЗЛ-05, РЗЛ-06 за допомогою персонального комп'ютера в лабораторних умовах або з диспетчерського пункту підприємства електричних мереж. В даному випадку для зв'язку інтелектуальних пристроїв релейного захисту і автоматики із ПК використовується протокол зв'язку MODBUS-RTU.

Варто зазначити, що мікропроцесорний пристрій релейного захисту та автоматики РЗЛ-05М призначений для виконання функцій релейного захисту, автоматики, сигналізації приєднань трансформаторів, кабельних та повітряних ліній електропередач напругою до 6–35 кВ. Пристрої призначені для встановлення в релейних відсіках КСО, КРП, КРПЗ електричних станцій та підстанцій, а також на панелях та в шафах РЗА, розташованих у релейних залах та пунктах керування.

Представлено систему керування для дослідження та налаштування мікропроцесорного терміналу, як виконавчого елемента, що забезпечує підвищення надійності системи релейного захисту та автоматизації станцій, підстанцій та електричних мереж.

При експлуатації пристрою необхідно керуватися паспортом пристрою, Правилами улаштування електроустановок (ПУЕ-2017), Правилами технічної експлуатації електроустановок станцій та мереж (ПТЕ), Правилами безпечної експлуатації електроустановок (ПБЕЕ), СОУ-Н ЕЕ 35.514:2007 «Технічне обслуговування мікропроцесорних пристроїв захисту, протиаварійної автоматики, електроавтоматики, дистанційного керування та сигналізації електростанцій та підстанцій від 0,4 кВ до 750 кВ».

Ключові слова: інтелектуальний пристрій, релейний захист, автоматика, мікропроцесорний термінал, енергосистема, електричні станції, підстанції, електричні мережі.

V. YA. BUNKO

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,

Associate Professor at the Department of Power Engineering and Automation

Separated Subdivision of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

“Berezhany Agrotechnical Institute”

ORCID: 0000-0002-9403-8135

ANALYSIS OF SOFTWARE FUNCTIONAL CAPABILITIES FOR CONTROLLING INTELLIGENT DEVICES OF RELAY PROTECTION AND POWER SYSTEM AUTOMATION

This article discusses the issue of correct and safe work with the «Monitor-2» service software when using a personal computer to control intelligent microprocessor relay protection and automation devices of the RZL-05, RZL-06 series. This «Monitor-2» software environment allows you to control relay protection devices of the RZL-05, RZL-06 series using a personal computer in laboratory conditions or from the control room of an electrical network enterprise. In this case, the MODBUS-RTU communication protocol is used for communication of intelligent relay protection and automation devices with a PC.

It is worth noting that the RZL-05M microprocessor relay protection and automation device is designed to perform the functions of relay protection, automation, signaling of transformer connections, cable and overhead power lines with a voltage of up to 6–35 kV. The devices are intended for installation in relay compartments of KSO, KRP, KRPZ of electric stations and substations, as well as on panels and in RZA cabinets located in relay halls and control points.

A control system is presented for the study and adjustment of the microprocessor terminal as an executive element that ensures increased reliability of the relay protection system and automation of stations, substations and electrical networks.

When operating the device, it is necessary to be guided by the device passport, the Rules for the arrangement of electrical installations (PUE-2017), the Rules for the technical operation of electrical installations of stations and networks (PTE), the Rules for the safe operation of electrical installations (PBEE), SOU-H EE 35.514:2007 «Maintenance of microprocessor protection devices, emergency automation, electrical automation, remote control and signaling of power plants and substations from 0.4 kV to 750 kV».

Key words: *intelligent device, relay protection, automation, microprocessor terminal, energy system, electrical stations, substations, electrical networks.*

Постановка проблеми

Рівень технічного розвитку будь-якої держави визначається в основному станом її енергетики, потужністю електростанцій і виробництвом електричної енергії. Тому, враховуючи пошкодження значної частини енергетичної інфраструктури, спричинене російською військовою агресією варто звернути увагу на відновлення енергетичної системи України, в тому числі на ефективність її роботи за рахунок мікропроцесорних терміналів релейного захисту та автоматизації ліній електропередач, станцій та підстанцій [2].

В даний час більшість використовуваних в Україні пристроїв релейного захисту і автоматики (РЗА) електроенергетичних мереж (ЕЕМ) відносяться до покоління електромеханічних і мікроелектронних реле і не відповідають сучасним науково-технічним вимогам [1]. Один з напрямків удосконалення – використання інтелектуальних пристроїв для виконання функцій релейного захисту і противарійної автоматики в системі електропостачання. Цифрові пристрої мають ряд переваг у порівнянні із системами, виконаними на традиційній елементній базі, у тому числі більш широкі експлуатаційні показники і можливість інтеграції їх у системи керування електроенергетичними об'єктами [1].

Використання мікропроцесорних терміналів для релейного захисту на даному етапі є основними пристроями електричної автоматики, без якого неможлива нормальна та надійна робота сучасних електроенергетичних систем [2].

Тому, використання мікропроцесорних терміналів різного функціонального призначення в системі енергопостачання є невід'ємною частиною прийняття раціональних інженерно-технічних рішень, які дозволять забезпечити безаварійність такої системи та підвищити її надійність та ефективність [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Дослідженнями мікропроцесорних пристроїв захисту та автоматики (МП РЗА) займалися вчені, зокрема Кузнецов С.М., Яндутьський О.С., Демиденко І.С., Гашкова А.В., Гречишников В.А., Кутін В.М., Кутіна М.В., Ллюхін М.О., Данилов О.А., Гребченко М.В. та інші [1,3]. Значний внесок у розвиток МП систем РЗА внесли: ІЕД НАН України (м. Київ) – Стогній Б.С., Кириленко О.В., Сопель М.Ф. [1]. За останній період щодо науково-технічних розробок, підвищення ефективності функціонування та впровадження МП РЗА ведуться відомими компаніями, зокрема ТОВ «Науково-виробниче підприємство «РЕЛСІС», РЗА СИСТЕМЗ, SCHNEIDER ELECTRIC Україна, ВО «Київприлад», АВВ Україна – General Energy Ukraine», ТОВ НВП «Хартрон Інкор», SIEMENS та інші [1, 4].

Формулювання мети дослідження

Метою даної роботи являється детальний аналіз функціональних можливостей та режимів роботи інтелектуального мікропроцесорного терміналу релейного захисту та автоматики, зокрема використання програмного забезпечення для керування даним пристроєм. Також метою дослідження являється проведення аналізу роботи мікропроцесорного терміналу в лабораторних мовах за допомогою програмного середовища «Монітор-2», як засіб для підвищення надійності та ефективності функціонування елементів електроенергетичної системи, зокрема трансформаторів, автотрансформаторів, кабельних та повітряних ліній електропередач високої напруги тощо.

Викладення основного матеріалу дослідження

На сьогоднішній день в системі електропостачання використовуються мікропроцесорні термінали, які мають програмне забезпечення для надійного та ефективного керування технологічними процесами при виробництві, передачі, розподілі та споживанні електричної енергії. Особливу роль в системі релейного захисту та автоматизації енергосистеми відіграють мікропроцесорні пристрої з спеціалізованим програмним забезпеченням, яке використовується для диспетчеризації об'єкту електропостачання [7].

Програма верхнього рівня «Монітор-2» призначена для керування пристроями релейного захисту серій РЗЛ-05, РЗЛ-06 за допомогою персонального комп'ютера. Для зв'язку пристроїв захисту із ПК використовується протокол зв'язку MODBUS-RTU [5–7].

Варто зазначити, що програмне середовище «Монітор-2» має широкі функціональні можливості для керування даними інтелектуальними пристроями і дозволяє [5–6]: зчитувати інформацію про пристрій захисту (тип пристрою, серійний номер пристрою, версію та дату запису програмного забезпечення); переглядати вимірювані величини у первинних чи вторинних величинах; синхронізувати годинник пристрою з ПК; переглядати стан дискретних входів, стан контактів реле, стан світлодіодного індикатора (СДІ), стан віртуальних виходів пристрою; проводити дистанційне керування пристроєм (вмикання, вимикання, квітування, пуск осцилограм тощо)

за командами з ПК; переглядати події в реальному часі; переглядати та змінювати параметри пристрою такі як: пароль, адреси та швидкості портів, відображення вимірювань, перемикання групи уставок, коефіцієнти трансформації трансформаторів струму (ТС) та напруги (ТН) та ін.; переглядати та змінювати налаштування мережевих інтерфейсів RS-485 та USB; переглядати та змінювати уставки функцій захисту, автоматики та контролю, а також режими роботи дискретних входів (ДВ), реле та СДІ; зберігати значення уставок у файл і завантажувати їх з файлу в пристрій; зберігати таблиці налаштувань параметрів та уставок у форматі Excel; переглядати журнал подій пристрою, налаштовувати та зберігати його у форматі Excel; зчитувати з пристрою аварійні та користувальницькі осцилограми, налаштовувати та зберігати їх на ПК у форматі COMTRADE; налаштувати умови запису користувальницьких осцилограм (за допомогою вільно програмуємої логіки (ВПЛ) або уставок); здійснювати запис користувальницьких осцилограм у пристрої за командою з ПК; здійснювати друк лічених осцилограм; переглядати, зберігати та роздруковувати журнал адрес MODBUS пристрою; формувати та переглядати звіти щодо подій; створювати і редагувати логічні схеми користувача, в пристроях, які підтримують ВПЛ (рис. 1); зберігати у файл та завантажувати логічні схеми (для пристроїв, що підтримують ВПЛ).

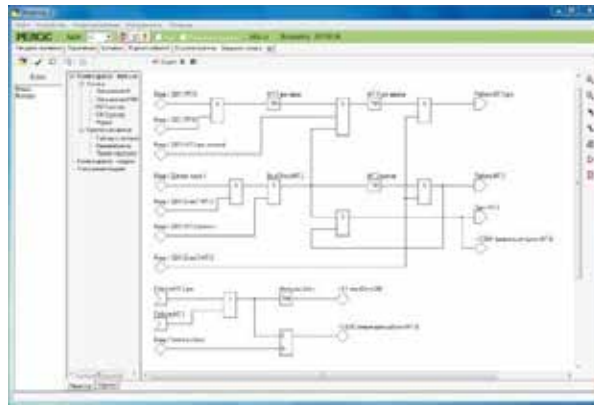


Рис. 1. Спрощена ступінь МСЗ, що створена за допомогою редактора вільної програмованої логіки (ВПЛ) [5, 6]

Керування пристроєм захисту можливе як при підключенні через передній порт USB, так і через інтерфейс RS-485.

Вкладка «Поточні значення» ПЗ «Монітор-2» призначена для моніторингу стану пристрою і може бути налаштована під потреби користувача. Вид панелі представлений рисунку 2.

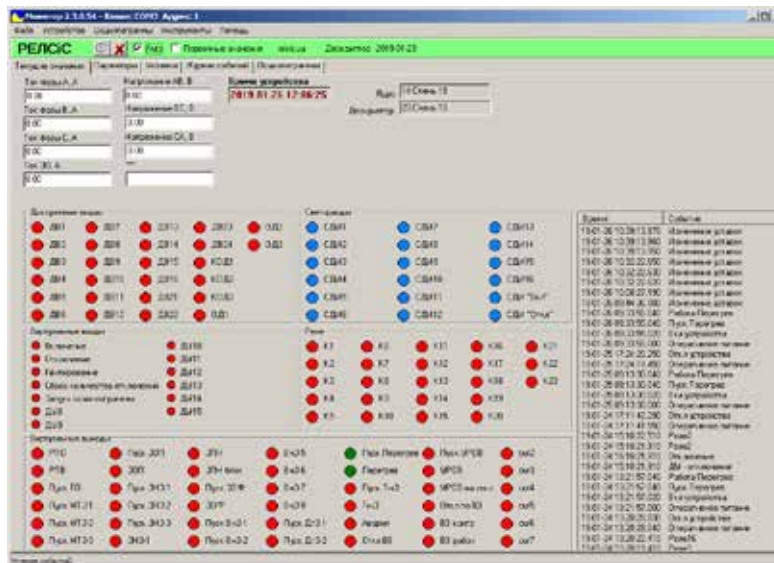


Рис. 2. Панель «Поточні значення» [5, 6]

Ця панель може працювати в режимі автоматичного оновлення або статичному режимі. Вибір режиму здійснюється міткою біля «Auto» на рядку статусу або пунктом меню «Пристрій» – > «Автоповтор».

У режимі автооновлення ПЗ «Монітор-2» з деякою періодичністю зчитує дані про стан пристрою (такі як значення часу пристрою, значення вимірюваних величин, стану дискретних входів, реле, СДІ, віртуальних виходів тощо) та виводить їх на панель «Поточні значення» [5, 6].

Період зчитування інформації може бути змінений, але не менше значення часу повної вичитки інформації. Час вичитування інформації залежить від кількості об'єктів на панелі та від конкретного виконання пристрою [5, 6].

Найбільш цікавим та відповідальним при налаштуванні даних мікропроцесорних реле являється розділ «Уставки», від якого залежить правильність та ефективність роботи системи релейного захисту та автоматики. Панель «Уставки» призначена для відображення або зміни вставок функцій захисту, автоматики та контролю конкретного пристрою. Зовнішній вигляд панелі «Уставки» в режимі відтворення наведено на рисунку 3.

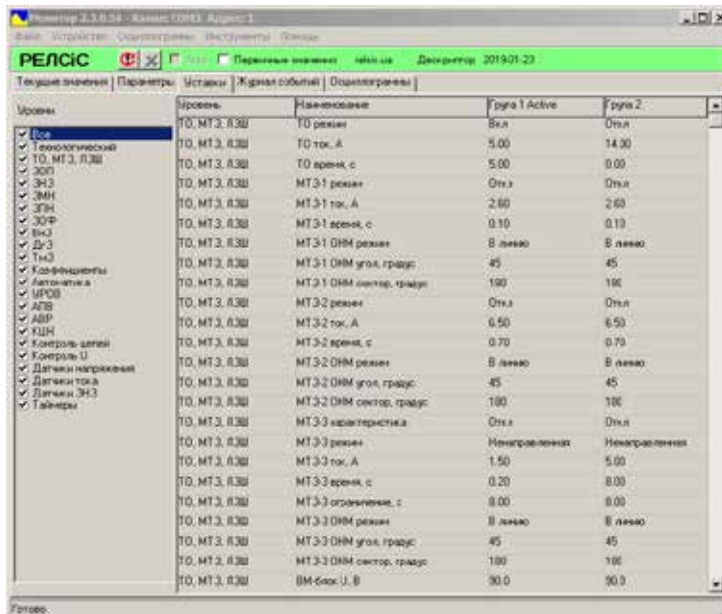


Рис. 3. Панель «Уставки» [5, 6]

Читання значень вставок панелі «Уставки» відбувається автоматично після встановлення зв'язку програми з пристроєм. Повторне читання значень уставок панелі «Уставки» (наприклад, після розриву з'єднання) можна здійснити натисканням на кнопку «Оновити» (або поєднанням клавіш «Ctrl + R»).

Для зручності уставки розбиті на рівні. Кожен із рівнів містить уставки тієї чи іншої функції захисту, автоматики та контролю. У правій частині вікна панелі «Уставки» є фільтр «Рівні». Використовуючи цей фільтр, користувач може вибрати один або кілька рівнів уставок, необхідних для роботи на даний момент.

Список уставок, як правило, поділено на чотири стовпці, зокрема:

1. «Рівень» – вказує, до якого рівня відноситься дана уставка (наприклад, ЗНЗ, ВнЗ, ЗОФ і т.д.);
2. «Найменування» – власне найменування уставки (наприклад, «МТЗ-1 струм», «ЗОФ режим»);
3. «Група 1» – значення уставок для першої групи уставок;
4. «Група 2» – значення уставок для другої групи уставок.

Варто зауважити, що деякі пристрої можуть мати більше двох груп уставок. Активна група уставок позначена позначкою «Active» у верхньому рядку стовпця значень уставок.

Для редагування вставок необхідно перейти в режим редагування, вибравши, перебуваючи на панелі «Уставки», пункт меню «Файл» -> «Редагувати параметри/уставки» (рисунок 4).

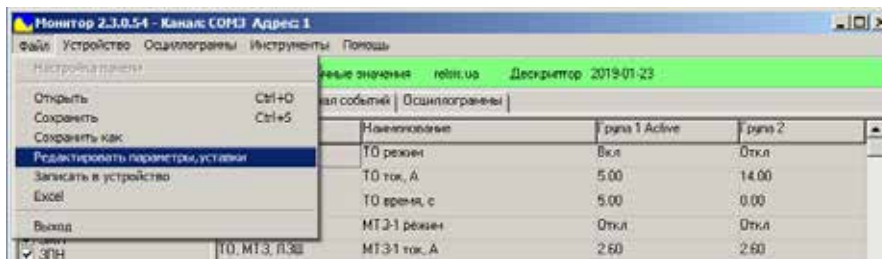


Рис. 4. Активация режима редактирования панели «Уставки» [5, 6]

Для ефективної та оперативної роботи диспетчеризації використовується так званий «Журнал подій», який призначений для збереження всіх подій, що відбуваються із мікропроцесорним пристроєм. Для перегляду журналу подій необхідно натиснути кнопку, перебуваючи в панелі «Журнал подій». Вигляд панелі «Журнал подій» після завантаження даних із пристрою наведено на рисунку 5.

Категорія	Найменування	Момент	Рівень	Ток фаз А, А	Ток фаз В, А	Ток фаз С, А	Ток фаз А, А	Напряження АВ	Напряження ВС	Напряження СА	Напряження А, В	Дискретні входи
Система	Контролювана	2018-01-24 11:26:19.418	0	0	0	0	0	0	0	0	0	ДВ1
Система	Категорія	2018-01-24 11:26:19.418	0	0	0	0	0	0	0	0	0	ДВ2
Система	Категорія СЕРГОС	2018-01-24 11:26:19.418	0	0	0	0	0	0	0	0	0	ДВ3
Реле	Реле2	2018-01-24 11:19:22.538	5.79	5.01	5.30	0.697	84.6	84.3	82.6	26.3		ДВ4
Пуск захист	Пуск ТД	2018-01-24 11:19:22.949	5.79	5.88	5.89	0.696	84.4	84.1	82.4	26.3		ДВ5
Реле	Реле14	2018-01-24 11:19:22.939	5.79	5.89	5.89	0.696	84.5	84	82.5	26.3		ДВ6
Реле	Реле2	2018-01-24 11:19:22.938	5.79	5.89	5.89	0.696	84.6	84	82.5	26.3		ДВ7
Осередок захиста	Осередок захиста	2018-01-24 11:19:22.938	5.79	5.89	5.89	0.696	84.6	84	82.5	26.3		ДВ8
Реле	Реле3	2018-01-24 11:19:22.938	5.79	5.89	5.89	0.696	84.6	84	82.5	26.3		ДВ9
Мікроатомка	Стиглевач	2018-01-24 11:19:22.938	5.79	5.89	5.89	0.696	84.6	84	82.5	26.3		ДВ8
Робота захист	Робота ТД	2018-01-24 11:19:22.939	5.79	5.89	5.89	0.696	84.5	84	82.5	26.3		ДВ8
Пуск захист	Пуск ТД	2018-01-24 11:19:17.938	5.64	5.82	5.79	0.627	83.8	84.1	82.2	26.28		ДВ8
Реле	Реле18	2018-01-24 11:19:16.363	0	0	0	0	0	0	0	0		ДВ8
Реле	Реле3	2018-01-24 11:19:13.363	0	0	0	0	0	0	0	0		ДВ8
Система	Контролювана	2018-01-24 11:19:13.363	0	0	0	0	0	0	0	0		ДВ8
Система	Категорія СЕРГОС	2018-01-24 11:19:13.363	0	0	0	0	0	0	0	0		ДВ8

Рис. 5. Панель «Журнал подій» [5, 6]

Події відображаються у зворотному порядку, тобто в першому рядку відображається остання подія. Максимальна кількість подій, збережених у пристрої, залежить від типу пристрою (як правило 256). Оскільки буфер подій циклічний, нові події заміняють старі. При завантаженні з пристрою відображаються всі події, збережені на ньому в даний момент [5, 6].

Список усіх подій та їх можливі фронти є унікальними для кожного виконання таких мікропроцесорних терміналів. У стовпці «Категорія» відображається назва рівня події. Усі події розділені на кілька рівнів (системні, події ДВ та реле, пуски та роботи захисту тощо). У стовпці «Найменування» відображається найменування події, що відбулася. У стовпці «Момент» відображається точний час події, зафіксований пристроєм. У стовпці «Значення» кольором відображається яким фронтом сталася подія. Червоний колір означає початок події, а зелений – його закінчення. Наприклад, пуск будь-якого захисту має початок і закінчення, реле має момент замикання та момент відпускання тощо. У стовпцях «Вимірювання» відображаються значення струмів і напруг на вимірювальних каналах на момент події. Варто зауважити, що вимірювання можуть відображатися як і у вторинних значеннях, так і первинних. Зміна режиму відображення здійснюється міткою біля «Первинні значення» на рядку статусу [5, 6].

У стовпцях «Дискретні входи» та «Реле» відображаються стани конкретних дискретних входів та реле на момент події. Ширину стовпців можна змінювати шляхом переміщення ліній, що їх розділяють, прибравши у вкладці «Рівні» всі мітки. У лівій частині панелі журналу подій відображаються параметри відображення списку журналу подій. Закладка «Рівні» призначена для фільтрації подій за рівнями. Вибір необхідних рівнів для відображення здійснюється мітками біля назви рівня, а всі інші рівні ховаються [5, 6].

Висновки

Отже, аналіз функціональних можливостей програмного забезпечення для керування інтелектуальними пристроями релейного захисту та автоматизації енергосистем на базі РЗЛ-05 або РЗЛ-06 показує, що досягнення абсолютної автоматизації енергетичних мереж та трансформаторних підстанцій досягається завдяки використанню таких мікропроцесорних терміналів з відповідним програмним забезпеченням, які дозволяють на верхньому рівні здійснювати керування та диспетчеризацію енергетичної системи в цілому.

Список використаної літератури

1. Яндудьський О.С. Релейний захист. Цифрові пристрої релейного захисту, автоматики та управління електроенергетичних систем : навч. посіб. / О.С. Яндудьський, О.О. Дмитренко. Під загальною редакцією д.т.н. О.С. Яндудьського. Київ : НТУУ «КПІ». 2016. 102 с.
2. Бунько В.Я., Дарморіс П.М. Дослідження інтелектуального терміналу для релейного захисту та автоматизації систем. *Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова* № 1 (490) / 2023. С. 135–142.

3. Кутін В.М. (2017). Засоби діагностування релейного захисту та автоматики електроенергетичних систем : навч. посіб. / В.М. Кутін, М.В. Кутіна, М.О. Ілюхін. Вінниця: ВНТУ. 120 с.
4. Бунько В.Я. (2019). Дослідження та аналіз роботи мікропроцесорного пристрою в умовах зміни потужності споживача. [Електронний ресурс] / В.Я. Бунько, П.М. Дарморіс. // Енергетика і автоматика. № 1. С. 64–72. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/eia_2019_1_9.
5. Пристрої серії РЗЛ-05 з вільно програмованою логікою. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://reلسis.ua/ua/products/relay-protection-automation/rzl-05/rzl-05-spl> (дата звернення 12.11.2023)
6. Пристрій захисту та контролю для підстанцій та приєднань 6–35 кВ РЗЛ-05.М [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://reلسis.ua/ua/products/relay-protection-automation/rzl-05/rzl-05m>. (дата звернення 15.11.2023)
7. Гребченко М.В., Нікіфоров А.П., Бунько В.Я. Релейний захист і автоматика розподільних електричних мереж. Частина 1. Навчальний посібник. Київ : ЦП «КОМПРИНТ». 2019. 314 с.

References

1. Yandulskiy, O.S. & Dmytrenko, O.O. (2016). *Releinyi zakhyst. Tsyfrovi prystroi releinoho zakhystu, avtomatyky ta upravlinnia elektroenerhetychnykh system [Relay protection. Digital devices of relay protection, automation and control of power systems]*. Kyiv: NTUU «KPI». [in Ukrainian].
2. Bunko, V.Ia. & Darmoris, P.M. (2023). Doslidzhennia intelektualnogo terminalu dlia releinoho zakhystu ta avtomatyzatsii system. *Zbirnyk naukovykh prats Natsionalnogo universytetu korablebuduvannia imeni admiralа Makarova* № 1 (490) / 2023. S. 135–142 [in Ukrainian].
3. Kutin, V.M., Kutina, M.V., & Iliukhin, M.O. (2017). *Zasoby diahnostuvannia releinoho zakhystu ta avtomatyky elektroenerhetychnykh system [Diagnostic tools for relay protection and automation of electric power systems]*. Vinnitsa: VNTU [in Ukrainian].
4. Bunko, V.Ia. & Darmoris, P.M. (2019). Doslidzhennia ta analiz roboty mikroprotsesorного prystroiu v umovakh zminy potuzhnosti spozhyvacha [Research and analysis of the operation of the microprocessor device under the conditions of changing the power of the consumer]. *Enerhetyka i avtomatyka – Energy and automation*, № 1. 64–72. Retrieved from: http://nbuv.gov.ua/UJRN/eia_2019_1_9 [in Ukrainian].
5. Prystroi serii RZL-05 z vilno prohramovanoiu lohikoiu. [Devices of the RZL-05 series with freely programmable logic]. *reلسis.ua*. Retrieved from: <https://reلسis.ua/ua/products/relay-protection-automation/rzl-05/rzl-05-spl> [in Ukrainian].
6. Prystrii zakhystu ta kontroliu dlia pidstantsii ta pryednan 6–35 kV RZL-05.M [Protection and control device for substations and connections 6–35 kV RZL-05.M]. *reلسis.ua*. Retrieved from: <https://reلسis.ua/ua/products/relay-protection-automation/rzl-05/rzl-05m> [in Ukrainian].
7. Hrebchenko, M.V., Nikiforov, A.P. & Bunko, V.Ia. (2019). *Releinyi zakhyst i avtomatyka rozpodilnykh elektrychnykh merezh [Relay protection and automation of electrical distribution networks]*. Kyiv: TsP «KOMPRYNТ» [in Ukrainian].