

УДК 04.5

DOI <https://doi.org/10.32782/IT/2023-2-3>

Володимир КУВАЄВ

доктор технічних наук, професор кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», просп. Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, Україна, 49005, kuvaiev.v.m@ntu.one

ORCID: 0000-0001-6329-071X

Scopus Author ID: 6602411915

Леонід МЕЩЕРЯКОВ

доктор технічних наук, професор кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», просп. Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, Україна, 49005, meshcheriakov.l.i@ntu.one

ORCID: 0000-0002-9579-1970

Scopus Author ID: 57205282540

Альона ХАРЬ

асистент кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», просп. Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, Україна, 49005, khar.a.t@ntu.one

ORCID: 0000-0003-3176-7792

Артем ПОЛІТОВ

студент факультету фізики, електроніки та комп'ютерних систем, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, просп. Гагаріна, 72, м. Дніпро, Україна, 49000, politov3601@gmail.com

ORCID: 0000-0003-2822-8026

Бібліографічний опис статті: Куваєв, В., Мещеряков, Л., Харь, А., Політов, А. (2023). Інтерфейс технічного супроводження складних інформаційно-керуючих систем автоматизації. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*, 2, 26–33, doi: <https://doi.org/10.32782/IT/2023-2-3>

ІНТЕРФЕЙС ТЕХНІЧНОГО СУПРОВОДЖЕННЯ СКЛАДНИХ ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧИХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Розвиток комп'ютерних технологій у сфері автоматизації технологічних процесів сформував достатньо типові підходи до структури технічних засобів і програмного забезпечення комп'ютерних систем керування. Найбільш поширеним є підхід, що передбачає строгу функціональну ієрархію і відповідну до неї технічних засобів та спеціалізованих інструментальних засобів для розробки прикладного програмного забезпечення для кожного рівня ієрархії. В усіх сучасних складних автоматизованих системах керування передбачається реалізація людино-машинного інтерфейсу (HMI – Human-Machine Interface), який, за визначенням, під «машиною» розуміє систему з усіма технічними засобами, що беруть участь у процесі вимірювання, контролю, сигналізації та керуванні, а під «людиною» – оператора-технолога, який бере безпосередню участь у процесі керування. Власне кажучи, безпосередньо HMI програмується засобами SCADA-системи (Supervisory Control And Data Acquisition – диспетчерське управління та збір даних). Ринок пропонує велику кількість SCADA-систем різних розробників з схожим функціоналом підсистем для оператора-технолога. У той же час, вони залишають по за уваги питання технічного супроводження систем автоматизації побудованих за допомогою засобів SCADA, що ускладнює пошуки порушень у зовнішніх ланцюгах систем автоматизації, уповільнює налаштування системи після ремонтів діючих складних систем автоматизації, які вже введені в експлуатацію і працюють. Питання функціоналу та досвід створення інтерфейсу технічного супроводження складних систем автоматизації, що аналізуються на прикладі систем керування швидкісним режимом прокатки безперервного прокатного стану ПАО «АрселорМіттал Кривий Ріг», можуть бути використані для подальшого розвитку SCADA-систем.

Метою роботи є обґрунтування рішень що до структури і функціоналу інтерфейсу технічного супроводження складних систем автоматизації. Реалізація поставленої мети передбачає обґрунтування структури інтерфейсу з урахуванням функціональних аспектів і форм подання інформації щодо різних параметрів, які дозволяють контролювати зовнішні ланцюги підключення системи автоматизації та внутрішні параметри, які настроюються.

Методологія вирішення поставленого завдання полягає у аналізі і структуруванні масиву інформації, що використовує персонал, який супроводжує експлуатацію системи, та подальшому її групуванню за функціональними ознаками.

Наукова новизна полягає у обґрунтуванні доцільності і необхідності доповнення традиційного людино-машинного інтерфейсу SCADA-систем функціоналом, що забезпечує технічне супроводження систем автоматизації.

Ключові слова: SCADA-система, людино-машинний інтерфейс, технічне супроводження систем автоматизації.

Volodymyr KUVAIEV

Doctor of Technical Sciences, Professor at the Department of Software Engineering, Dnipro University of Technology, Dmytro Yavornytskyi ave., 19, Dnipro, Ukraine, 49005, kuvaiev.v.m@nmu.one

ORCID: 0000-0001-6329-071X

Scopus Author ID: 6602411915

Leonid MESHCHERIAKOV

Doctor of Technical Sciences, Professor at the Department of Software Engineering, Dnipro University of Technology, Dmytro Yavornytskyi ave., 19, Dnipro, Ukraine, 49005, meshcheriakov.l.i@nmu.one

ORCID: 0000-0002-9579-1970

Scopus Author ID: 57205282540

Alona KHAR

Assistant Lecturer at the Department of Software Engineering, Dnipro University of Technology, Dmytro Yavornytskyi ave., 19, Dnipro, Ukraine, 49005, khar.a.t@nmu.one

ORCID: 0000-0003-3176-7792

Artem POLITOV

Student at the Faculty of Physics, Electronics and Computer Systems, Oles Honchar Dnipro National University, Gagarina ave., 72, Dnipro, Ukraine, 49000, politov3601@gmail.com

ORCID: 0000-0003-2822-8026

To cite this article: Kuvaev, V., Meshcheriakov, L., Khar, A., Politov, A. (2023). Interfeis tekhnichnoho suprovodzhennia skladnykh informatsiino-keruiuchykh system avtomatyzatsii [Interface for technical support of complex automation information control systems]. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*, 2, 26–33, doi: <https://doi.org/10.32782/IT/2023-2-3>

INTERFACE FOR TECHNICAL SUPPORT OF COMPLEX AUTOMATION INFORMATION CONTROL SYSTEMS

The development of computer technologies in the field of technological processes automation has formed typical approaches to the structure of technical means and software of computer control systems. The most common is the approach that involves a strict functional hierarchy and corresponding technical means and specialized tools for developing application software for each level of the hierarchy. In all modern complex automated control systems, the implementation of a human-machine interface (HMI – Human-Machine Interface) is assumed, that understands the “machine” as a system with all technical means involved in the process of measurement, control, signaling and management, and the “person” as the operator-technologist, which is directly involved in the management process. Strictly speaking, the NMI is directly programmed by means of the SCADA system (Supervisory Control and Data Acquisition). The market offers many SCADA systems from different developers with similar functionality of subsystems for the operator-technologist. At the same time, they neglect the issue of technical support of automation systems built with the help of SCADA tools, which complicates the search for violations in the external circuits of automation systems, slows down the system adjustment after repairs of existing complex automation systems that have already been put into operation and are working. Functional issues and the experience of creating an interface for technical support of complex automation systems, which are analyzed using the example of control systems for the high-speed rolling mode of a continuous rolling mill of ArcelorMittal Kryvyi Rih PJSC, can be used for the further development of SCADA systems.

The purpose of the work is to justify decisions regarding the structure and functionality of the technical support interface of complex automation systems. The realization of the set goal involves substantiating the structure of the interface, considering functional aspects and forms of presenting information about various parameters that allow controlling the external connection chains of the automation system and the internal parameters that can be adjusted.

The methodology for solving the given task consists in the analysis and structuring of the information mass used by the personnel accompanying the operation of the system, and its subsequent grouping according to functional characteristics.

The scientific novelty consists in substantiating the expediency and necessity of supplementing the traditional human-machine interface of SCADA systems with functionality that provides technical support for automation systems.

Key words: SCADA system, human-machine interface, technical support of automation systems.

Актуальність проблеми. Розвиток комп'ютерних технологій у сфері автоматизації технологічних процесів сформував достатньо типові підходи до структури технічних засобів і програмного забезпечення комп'ютерних систем керування. Найбільш поширеним є підхід, що передбачає строгу функціональну ієрархію і відповідну до неї технічних засобів та спеціалізованих інструментальних засобів для розробки прикладного програмного забезпечення для кожного рівня ієрархії. В усіх сучасних складних автоматизованих системах керування передбачається реалізація людино-машинного інтерфейсу (HMI – Human-Machine Interface), який, за визначенням, під «машиною» розуміє систему з усіма технічними засобами, що беруть участь у процесі вимірювання, контролю, сигналізації та керуванні, а під «людиною» – оператора-технолог, який бере безпосередню участь у процесі керування. Власне кажучи, безпосередньо HMI програмується засобами SCADA-системи (Supervisory Control And Data Acquisition – диспетчерське управління та збір даних). Ринку пропонує велику кількість SCADA-систем різних розробників з схожим функціоналом підсистем для оператора-технолога. У той же час, вони залишають поза уваги питання технічного супроводження систем автоматизації побудованих за допомогою засобів SCADA, що ускладнює пошуки порушень у зовнішніх ланцюгах систем автоматизації, уповільнює налаштування системи після ремонтів систем автоматизації, які вже введені в експлуатацію і працюють. Таким чином питання функціоналу та досвід створення інтерфейсу технічного супроводження складних систем автоматизації є актуальними.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

На поточний час найбільш широке застосування при розробці людино-машинних інтерфейсів систем технологічної автоматизації знайшли програмні засоби SCADA (Пупена, 2020; Bailey, 2005; activolt.com.ua; sora-data.com.ua). Таки системи надають широкий спектр інструментарію для програмування інтерфейсу операторів технологічних процесів, який спрямований на створення достатньо типових підсистем автоматизації.

Більшість програм SCADA/HMI має типовий набір функціональних можливостей для реалізації завдань керування технологічних процесів, доступ до яких оператори-технологи та інший виробничий персонал має доступ через АРМ (автоматизоване робоче місце):

– збирання інформації про контрольовані технологічні параметри (даних реального часу) з контролерів та засобів віддаленого введення/виведення;

– графічне представлення стану технологічного процесу і устаткування в зручній для сприйняття формі у вигляді мнемосхем;

– вторинне оброблення інформації (масштабування, обмеження вводу, перевірка коректності тощо);

– приймання команд оператора і передача їх на контролер, або засіб віддаленого виведення;

– збереження даних реального часу в архівах даних і графічне представлення історичної інформації в зручній для сприйняття формі у вигляді графіків, гістограм тощо;

– сповіщення експлуатаційного і обслуговуючого персоналу про виявлені аварійні події в технологічному процесі і програмно-апаратних засобах;

– фіксація в електронних журналах виникнення аварійних подій у контрольованому технологічному процесі та дій експлуатаційного персоналу;

– формування звітів на основі архівної інформації, тривоги та даних реального часу;

– обмін інформацією з автоматизованими системами керування виробництвом та підприємством у складі інтегрованих систем керування;

– виконання певної логіки оброблення даних з використанням вбудованих мов, наприклад, VBA;

– захист від несанкціонованого доступу до компонентів і файлів;

– формування, записування, читання та збереження даних у вигляді рецептів;

– створення оперативних календарних планів керування устаткуванням.

Цей перелік і особливості реалізації наведеного функціоналу у SCADA різних виробників наведено в (Пупена, 2020). Як можна побачити, сучасні SCADA не передбачають реалізацію функціоналу щодо технічного супроводження

складних систем автоматизації та, відповідно, АРМів для персоналу, який обслуговує такі системи.

Слід зазначити ще один аспект з яким будуть стискатися при організації АРМів для персоналу, який обслуговує системи автоматизації – перевірку ланцюгів підключення датчиків, виконавчих механізмів тощо частіше зручно проводити з точок розміщення контролерів, які входять до системи автоматизації, а от дії з налаштування параметрів системи та окремих її елементів – з місць операторів-технологів або місць де є візуальний контроль за датчиками чи механізмами, які налаштовуються.

Більш гнучкі можливості для реалізації задач різного функціонального призначення, зокрема у організації комп'ютерних вузлів змішаного типу – які одночасно вирішують завдання, що притаманні контролерам, і забезпечують інтерфейси різних типів, надає використання операційних системи реального часу (Зайцев, 2019).

Так операційна система реального часу QNX була використана для реалізації програмних рішень по забезпеченню надійного функціонування складних інформаційно-керуючих систем критичних до режиму реального часу як на обчислювальному вузлі який виконував функції контролера, так і вузлі через який організовано інтерфейс оператора та вирішувалися задачі критичні до реального часу (Куваєв, 2021). Сумісна робота задач, критичних до режиму реального часу, і задач «м'якого» реального часу, була досягнена завдяки використанню для програмування інтерфейсу графічної оболонки Photon, що працює під керівництвом операційної системи реального часу QNX (rts.ua).

Слід зазначити, що якщо засоби SCADA надають інструментарій орієнтований на реалізацію HMI оператора-технолога, тоді як Photon надають інструментарій до реалізації інтерфейсу оператора без прив'язки до його функціоналу, а рішення до його структури, інформаційної насиченості, форми надання інформації тощо лежать на розробнику. Подібні інструментарії, що використовуються для створення людино-машинного інтерфейсу описані у (Доценко, 2022), але рекомендації що до його компонування відсутні. В роботі (Куваєв, 2023) описаний HMI оператора-технолога, що було виконано з використанням графічної оболонки Photon, у той же час питання розробки інтерфейсу технічного супроводження складних систем автоматизації в неї не розглядалися.

Метою статті є обґрунтуванні програмних рішень що до структури і функціоналу інтерфейсу технічного і програмного супроводження

складних систем автоматизації. Реалізація поставленої мети передбачає обґрунтування структури інтерфейсу з урахуванням функціональних аспектів і форм подання інформації щодо різних параметрів, які дозволяють контролювати зовнішні ланцюги підключення системи автоматизації, внутрішні параметри, які налаштовуються.

Виклад основного матеріалу. Використання комп'ютерних технологій у системах, що призначені для керування технологічними процесами, дозволяють інтегрувати у них цілу низку функцій, що раніше були притаманні різним системам автоматизації, та отримати синергетичний ефект від такого об'єднання. У той же час суттєво зросла складність таких систем і, відповідно, вимоги до організації у них людино-машинного інтерфейсу. Перш за все, це торкнулося операторів технологічних процесів, що є достатньо логічним, оскільки від якості налаштування і контролю технологічного процесу залежить його продуктивність, якість продукції і своєчасність виявлення порушень як режимів роботи обладнання, так і його стану. Тем не менш, як питання скорочення часу локалізації і усунення таких порушень, так і питання налаштування параметрів елементів апаратно-програмного забезпечення таких систем, наприклад, після їх заміни у ремонті, залишилися поза увагою розробників програмного інструментарію HMI SCADA-систем, які і користувачів цього продукту.

Проблема створення зручного людино-машинного інтерфейсу для налагодження і супроводження технічного забезпечення складної комп'ютерної системи, критичної до режиму реального часу, вирішувалася при впровадженні і супроводженні комп'ютерної системи керування швидкісним режимом прокатки сортової лінії дрібно-соротно-дротового стана ДСДС 250/150 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».

З функціональною структурою і основними програмними рішеннями цієї системи можна ознайомитися в (Куваєв, 2021). Людино-машинний інтерфейс для супроводження технічного забезпечення комп'ютерної системи керування швидкісним режимом прокатки створювався як окрема підсистема, доступ до якої здійснювався з HMI оператора технолога, опис якої наведено в (Куваєв, 2023).

Загальний вигляд людино-машинного інтерфейсу для супроводження технічного забезпечення комп'ютерної системи керування швидкісним режимом прокатки сортової лінії клітей стана ДСДС 250/150 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» наведено на рис. 1, а чистових груп клітей дрібно-соротного стана ДСС 250-2 того ж підприємства – на рис. 2.

Структури меню людино-машинних інтерфейсів для супроводження технічного забезпечення цих систем ідентичні. При їх розробці були використані підходи, що аналогічні описаним у (Куваєв, 2023) – вони виконані у вигляді дворівневого блокнути у якому права сторінка є ведучою і вміщає перелік модулів з прив'язкою до обчислювальних вузлів комп'ютерної системи, в яких вони встановлені, та перелік параметрів, що доступні до налаштування. Ліва сторінка є підлеглою вибраному пункту меню на правій сторінці, відображає інформацію і вміщає елементи що потрібні для встановлення відповідних параметрів системи або перевірки її зовнішніх ланцюгів підключення датчиків, органів керування, виконуючих механізмів тощо.

Так, рис.1 ілюструє елементи меню, що використовуються для налаштування параметрів

встановлення датчиків прогину прокату, який використовується для контролю відхилення прокату від осі прокатки і стабілізації цього відхилення в положення, що задано оператором.

Для коректної роботи системи у кожному міжкільтовому проміжку, де прокатка ведеться з автоматичною стабілізацією прогину прокату, треба знати положення осі прокатки, тобто положення прокату що відповідає «нульовому» прогину, і положення дна передавального жолоба у перетині контролю положення прокату датчиком прогину – максимально можливого прогину прокату у міжкільтовому проміжку. Датчики встановлюються безпосередньо поблизу руху прокату, працюють у важких умовах і захищені спеціальними кожухами. Вони періодично знімаються для профілактики при проведенні штатних ремонтних робіт на прокатному стані.

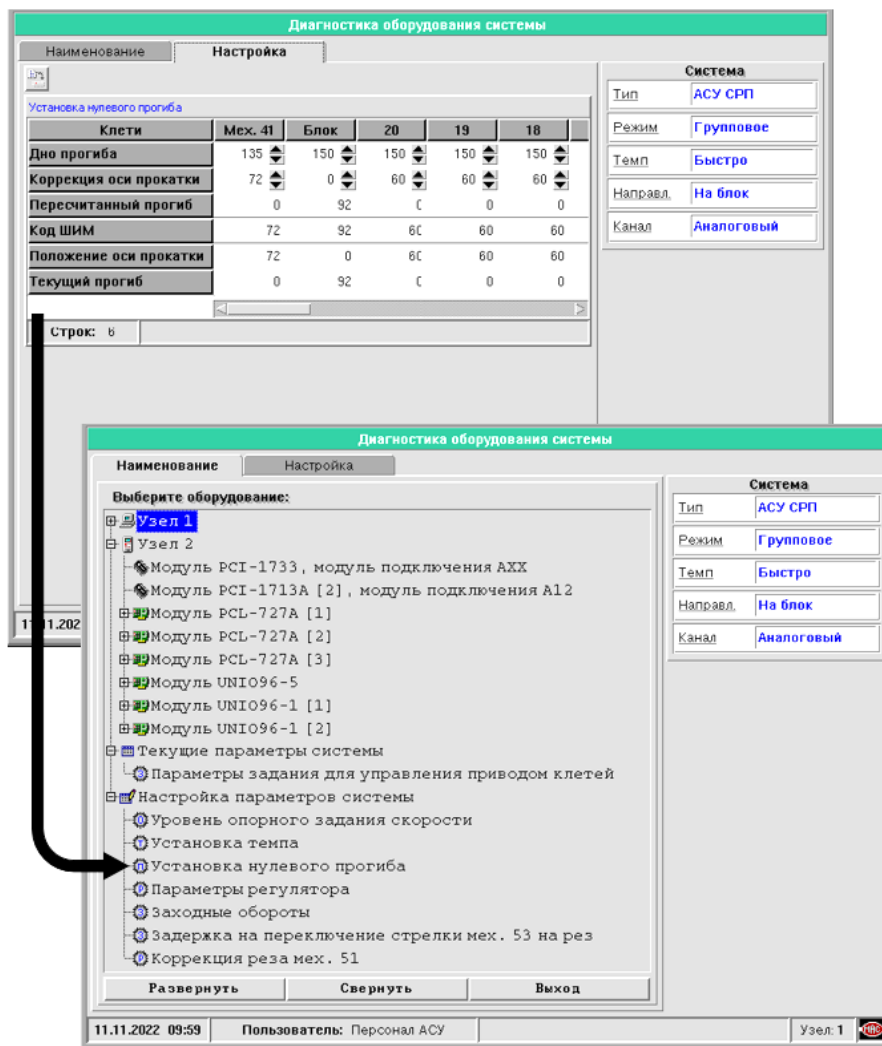


Рис. 1. Людино-машинний інтерфейс для супроводження технічного забезпечення комп'ютерної системи керування швидкісним режимом прокатки сортової лінії дрібносоротно-дротового стану ДСДС 250/150 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Налаштування параметрів встановлення датчиків прогину прокату

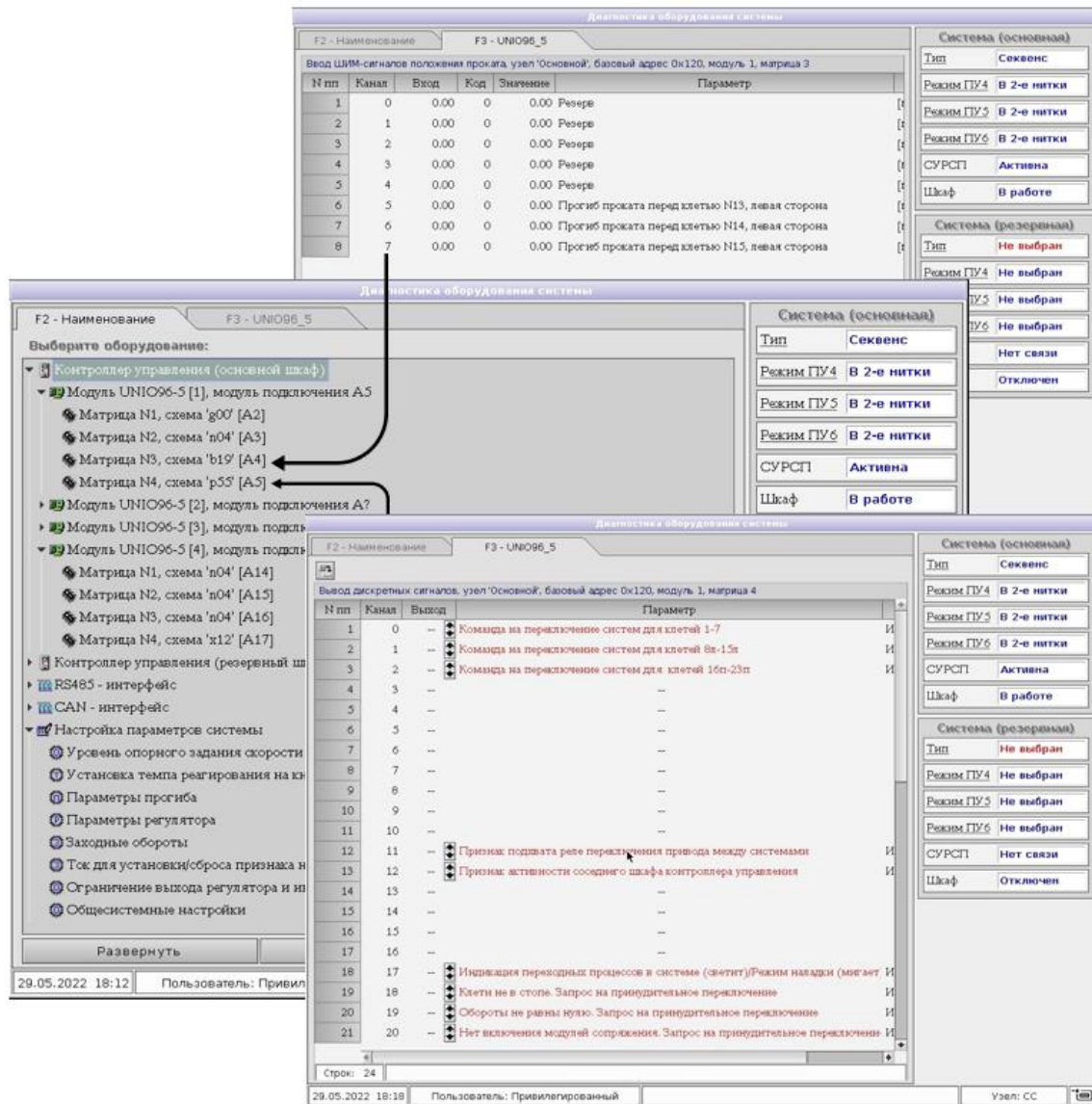


Рис. 2. Людино-машинний інтерфейс для супроводження технічного забезпечення комп'ютерної системи керування швидкісним режимом прокатки чистових груп клітей дрібносортового стану ДСС 250-2 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Контроль вхідних ШІМ сигналів від датчиків прогину прокату і імітація вихідних дискретних сигналів

Наявність сервісу по встановленню «нульового прогину» у людино-машинному інтерфейсу технічного супроводження системи спрощує процедуру налаштування положення датчика прогину при його встановленні на штатне місце. Так відкривши пункт меню «Встановлення нульового прогину» і перейшовши на сторінку «Налаштування» можна безпосередньо контролювати код широтно-імпульсному модульованому (ШІМ) сигналу, який надходить від датчику прогину прокату і який пропорціональний величині прогину прокату. Встановивши на дно передавального жолоба імітатор гарячого прокату, корегують

кут нахилу датчика у вертикальній площині таким чином, щоб код ШІМ, що надходить з датчика, був близьким до максимально можливого значення. Після завершення регулювання кута нахилу датчика, він фіксується, а поточний код ШІМ заносяться у стовбець таблиці, який відповідає датчику, що налаштовується, у рядок «Дно прогину». Потім встановлюють імітатор у положення осі прокатки і код ШІМ датчика прогину заносяться у той ж стовбець, рядок «Корекція осі прокатки». Таким чином, наявність цього сервісу значно спрощує і скорочує час налаштування параметрів встановлення датчиків прогину.

За допомогою інтерфейсу технічного супроводження системи автоматизації можуть бути безпосередньо проконтрольовані вхідні сигнали, що надходять у систему. Так, наприклад, сигнали ШІМ з датчиків прогину прокату можна також проконтролювати через меню технічного супроводження системи до входів модулів вводу відповідних сигналів. На рис. 2 наведені відеограми входів матриці № 3 модуля UNIO95-5, що запрограмована на введення ШІМ-модульованих сигналів. Доступ до цієї інформації здійснюється вибором на сторінці «Найменування» пункту «Пристрій-модуль-матриця» відповідного елемента з наступним переходом на підлеглу сторінку.

Інша, матриця № 4 модуля UNIO95-5, запрограмована на вивід дискретних сигналів. Оскільки операція ручного виводу сигналів може бути небезпечною, то вона є доступною (активною) тільки в режимі «теплого» резерву роботи пристрою при перевірці вихідних ланцюгів, а назви параметрів надані червоним кольором.

Запропонований комплекс рішень по людино-машинному інтерфейсу технічного супроводження складних інформаційно-керуючих систем автоматизації дозволив скоротити час і спростити обслуговування системи автоматизації як під час вводу в експлуатацію, так і в процесі її подальшого супроводження.

Висновки. При розробці складних інформаційно-керуючих систем автоматизації слід перед-

бачати крім традиційного людино-машинного інтерфейсу оператора-технолога ще й людино-машинний інтерфейс технічного супроводження цієї системи, що скорочує витрати часу на її налагодження і супроводження. Такий інтерфейс повинен забезпечувати швидкий і зручний доступ до вхідних/вихідних сигналів з можливостями їх безпосереднього зчитування/видачі через модулі введення/виведення з/на зовнішні пристрої, а також налаштування параметрів елементів апаратно-програмного комплексу систем після їх заміни, після ремонтів, при внесення змін у технологічний процес тощо.

Організація людино-машинного інтерфейсу технічного супроводження у вигляді дворівневого блоку, в якому на першій сторінці відображається меню, за яким відбувається вибір модуля введення/виведення для перевірки зовнішніх ланцюгів підключення системи чи параметрів, що підлягають налаштуванню, а на другій, підлеглий, відображається у табличному вигляді інструментарій для такого налаштування, забезпечує прозору та зручну реалізацію такого інтерфейсу.

Людино-машинний інтерфейс технічного супроводження складних інформаційно-керуючих систем автоматизації скорочує час на пошук порушень у зовнішніх ланцюгах підключення системи і налаштування її параметрів, що в кінцевому рахунку запобігає непродуктивним простоям технологічного процесу і спрощення вимог до технічного персоналу, що її обслуговує.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Пупена О.М. Розроблення людино-машинних інтерфейсів та систем збирання даних з використанням програмних засобів SCADA/HMI : навч. посіб. Київ : Видавництво Ліра-К, 2020. 594 с.
2. Bailey D., Wright E. Practical SCADA for Industry. Newnes, 2005. 304 p.
3. Автоматизована система диспетчерського керування WindEx. URL: https://activolt.com.ua/wp-content/uploads/2021/04/windex-2_2021.pdf (дата звернення 24.04.2023).
4. Навчальні матеріали SCADA zenon. Базовий курс. URL: http://www.copa-data.com.ua/files/pdf/zenon_basic_training_UKR.pdf (дата звернення 24.04.2023).
5. Зайцев В.Г., Цибаєв Є.І. Комп'ютерні системи реального часу : навчальний посібник. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 162 с.
6. Куваєв В., Іщук П., Політов А., Буряк В. Програмні рішення по забезпеченню надійного функціонування складних інформаційно-керуючих систем критичних до режиму реального часу. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*. 2021. № 1. С. 16–24. DOI: <https://doi.org/10.32782/IT/2021-1-3>
7. Графічна оболонка Photon – революція у світі інтерфейсів. URL: <https://www.rts.ua/rus/articles/360/0/32/> (дата звернення 24.04.2023).
8. Доценко С. І. Людино-машинний інтерфейс : навч. посібник. Харків : УкрДУЗТ, 2022. 135 с.
9. Куваєв В., Мещеряков Л., Харь А., Політов А. Розробка інтерфейсу оператора складних інформаційно-керуючих систем критичних до режиму реального часу. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*. 2023. № 1. С. 41–48.

REFERENCES:

1. Pupena, O.M. (2020). Rozroblennia liudyno-mashynnykh interfeisiv ta system zbyrannia danykh z vykorystanniam prohramnykh zasobiv SCADA/HMI: Navch. posib. [Development of human-machine interfaces and data collection systems using SCADA/HMI software]. Kyiv : Lira-K [in Ukrainian].
2. Bailey, D., Wright, E. (2005). Practical SCADA for Industry. Newnes.
3. Avtomatyzovana systema dyspetcherskoho keruvannia WindEx [WindEx automated dispatch control system]. *activolt.com.ua*. Retrieved from https://activolt.com.ua/wp-content/uploads/2021/04/windex-2_2021.pdf [in Ukrainian].
4. Navchalni materialy SCADA zenon. Bazovyi kurs [Educational materials SCADA zenon. Basic course]. *copa-data.com.ua*. Retrieved from http://www.copa-data.com.ua/files/pdf/zenon_basic_training_UKR.pdf [in Ukrainian].
5. Zaitsev, V.G., Tsybaev, E.I. (2019). Kompiuterni systemy realnoho chasu. Navchalnyi posibnyk [Real-time computer systems. Tutorial]. Kyiv: KPI im. Ihoria Sikorskoho [in Ukrainian].
6. Kuvaiev, V., Ishchuk, P., Politov, A., Buriak, V. (2021). Prohramni rishennia po zabezpechenniu nadiinoho funktsionuvannia skladnykh informatsiino-keruiuchykh system krytychnykh do rezhymu realnoho chasu [Software solutions to ensure the reliable operation of complex information and control systems critical to real-time]. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*, 1, 16–24. [in Ukrainian]. doi: <https://doi.org/10.32782/IT/2021-1-3>
7. Hrafichna obolonka Photon – revoliutsiia u sviti interfeisiv [The Photon graphic shell is a revolution in the world of interfaces]. *rts.ua*. Retrieved from <https://www.rts.ua/rus/articles/360/0/32/> [in Ukrainian].
8. Dotsenko, S.I. (2022). Liudyno-mashynnyi interfeis: navch. posibnyk [Human-machine interface: tutorial]. Kharkiv: UkrDUZT [in Ukrainian].
9. Kuvaiev, V., Meshcheriakov L., Khar A., Politov A. (2023). Rozrobka interfeisu operatora skladnykh informatsiino-keruiuchykh system krytychnykh do rezhymu realnoho chasu [Development of the operator interface of complex information and control systems critical to the real-time mode]. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*, 1, 41–48 [in Ukrainian].