

УДК 04.5

DOI <https://doi.org/10.32782/IT/2023-1-7>

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, 49000, politov3601@gmail.com

ORCID: 0000-0003-2822-8026

Бібліографічний опис статті: Куваєв, В., Мещеряков, Л., Харь, А., Політов, А. (2023). Розробка інтерфейсу оператора складних інформаційно-керуючих систем критичних до режиму реального часу. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*, 1, 50–57, doi: <https://doi.org/10.32782/IT/2023-1-7>

РОЗРОБКА ІНТЕРФЕЙСА ОПЕРАТОРА СКЛАДНИХ ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧИХ СИСТЕМ КРИТИЧНИХ ДО РЕЖИМУ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ

На протязі достатньо тривалого часу у прокатному виробництві металургійного комплексу України відбувається модернізація технологічних систем автоматизації з заміною старих релейно-контакторних і аналогових систем на інформаційно-керуючі системи, що базуються на комп'ютерних технологіях. Такі системи, як правило, інтегрують у собі декілька старих систем частка з яких є дуже критичними до забезпечення режиму реального часу. Особливістю таких систем є те, що оператор, як правило, керує ходом технологічного процесу через існуючі або оновлені органи керування, а аналіз якості настроювання технологічного процесу здійснює як через візуальний контроль технологічного процесу, так і використовуючи інформацію, яка відображається на дисплеї. Взаємодія з останнім здійснюється через інтерфейс оператора, що надає можливість доступу до всього спектру інформації, що наявна в автоматизованій системі керування технологічним процесом (АСК ТП). Це диктує свої підходи до формування інтерфейсу оператора технологічного процесу при створенні багатofункціональних комп'ютерних систем автоматизації критичних до режиму реального часу для діючих технологічних об'єктів.

Метою роботи є обґрунтування програмних рішень що до структури і функціоналу інтерфейсу оператора складних інформаційно-керуючих систем критичних до режиму реального часу. Реалізація поставленої мети передбачає обґрунтування структури інтерфейсу з урахуванням ергономічних аспектів і форм подання інформації щодо різних параметрів, які характеризують стан технологічного процесу, та застосування паралельних каналів доступу до технологічної інформації.

Методологія вирішення поставленого завдання полягає у аналізі і структуруванні масиву інформації, що використовує оператор при керуванні технологічним процесом, з ранжиром її за важливістю і критичності до часу оновлення в різних режимах функціонування комп'ютерної системи автоматизації технологічного процесу, виявлення додаткової інформації, яка може бути отримана непрямыми методами з базової інформації, що використовується системою для керування технологічним процесом.

Наукова новизна полягає у обґрунтуванні підходів що до структури і функціоналу інтерфейсу оператора складних інформаційно-керуючих систем критичних до режиму реального часу, розміщення інформації та механізмів доступу до неї.

Ключові слова: системи реального часу, інформаційно-керуючі системи, інтерфейс оператора.

Volodymyr KUVAIIEV

Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Computer Systems Software, Dnipro University of Technology, 19 Dmytra Yavornytskoho ave., Dnipro, Ukraine, 49005, kuvaiev.v.m@nmu.one

ORCID: 0000-0001-6329-071X

Scopus Author ID: 6602411915

Leonid MESHCHERIAKOV

Doctor of Engineering, Professor of Department of Software Engineering, Dnipro University of Technology, 19 Dmytra Yavornytskoho ave., Dnipro, Ukraine, 49005, meshcheriakov.l.i@nmu.one

ORCID: 0000-0002-9579-1970

Scopus Author ID: 57205282540

Alona KHAR

Assistant Lecturer of Department of Software Engineering, Dnipro University of Technology, 19 Dmytra Yavornytskoho ave., Dnipro, Ukraine, 49005, khar.a.t@nmu.one

ORCID: 0000-0003-3176-7792

Artem POLITOV

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

ORCID: 0000-0003-2822-8026

To cite this article: Kuvaev, 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, 50–57, doi: <https://doi.org/10.32782/IT/2023-1-7>

DEVELOPMENT OF THE OPERATOR INTERFACE OF COMPLEX INFORMATION AND CONTROL SYSTEMS CRITICAL TO THE REAL-TIME MODE

For quite a long time, the rolling production of the metallurgical complex of Ukraine has been modernizing technological automation systems with the replacement of old relay-contactor and analog systems with information and control systems based on computer technologies. Such systems, as a rule, integrate several old systems, some of which are very critical for ensuring the real-time mode. The peculiarity of such systems is that the operator usually controls the flow of the technological process through existing or updated control bodies and analyzes the quality of the technological process setting both through visual control of the technological process and using the information displayed on the display. Interaction with the display is carried out through the operator interface, which provides access to the entire range of information available in the automated technological process control system (ACS TP). This dictates its approaches to the formation of the technological process operator interface when creating multi-functional computer automation systems critical to the real-time regime for operating technological objects.

The purpose of the work is to substantiate software solutions regarding the structure and functionality of the operator interface of complex information and control systems critical to the real-time mode. Realization of the set goal involves substantiation of the interface structure considering ergonomic aspects and forms of information presentation regarding various parameters characterizing the state of the technological process, and the use of parallel access channels to technological information.

The methodology for solving the task consists in the analysis and structuring of the array of information used by the operator in managing the technological process, with its ranking by importance and criticality to the time of updating in different operation modes of the technological process automation computer system, identifying additional information that can be obtained indirect methods from the basic information used by the system to control the technological process.

The scientific novelty consists in substantiating approaches to the structure and functionality of the operator interface of complex information and control systems critical to the real-time regime, information placement and access mechanisms.

Key words: real-time systems, information management systems, operator interface.

Актуальність проблеми. На протязі достатньо тривалого часу у прокатному виробництві металургійного комплексу України відбувається модернізація технологічних систем автоматизації з заміною старих релейно-контакторних і аналогових систем на інформаційно-керуючі системи, що базуються на комп'ютерних технологіях. Такі системи, як правило, інтегрують у собі декілька старих систем частка з яких є дуже критичними до забезпечення режиму реального часу. Особливістю таких систем є те, що оператор, як правило, керує ходом технологічного процесу через існуючі або оновлені органи керування, а аналіз якості настроювання технологічного процесу здійснює візуально контролюючи технологічний процес і, в більший мірі, використовуючи інформацію, яка відображається на дисплеї. Взаємодія з останнім здійснюється через інтерфейс оператора, що надає можливість доступу до всього спектру інформації, що наявна в автоматизованій системі керування технологічним процесом (АСК ТП). Це диктує свої підходи до формування інтерфейсу оператора технологічного процесу при створенні багатофункціональних комп'ютерних систем автоматизації критичних до режиму реального часу для діючих технологічних об'єктів. Тому вирішення задачі створення ергономічного людино-орієнтованого інтерфейсу складних багатофункціональних комп'ютерних систем при модернізації технологічної автоматизації діючих промислових об'єктів є актуальною.

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). Такі системи надають широкий спектр інструментарію для програмування інтерфейсу операторів, який є, за суттю, віртуальним відображенням пультів операторів і щитів диспетчерського керування. Але їх застосування передбачає строгу ієрархічну структуру апаратних і програмних засобів АСК ТП – SCADA системи використовуються на рівні станцій оператора і призначені для підтримки режимів «м'якого» реального часу. Цей рівень керування не передбачає реалізації, хоча б в обмеженому обсязі, задач критичних до режиму реального часу.

Більш гнучкі можливості для реалізації задач критичних до реального часу, зокрема у організації комп'ютерних вузлів змішаного типу – які одночасно вирішують завдання, що притаманні контролерам, і забезпечують інтерфейс оператора, надає використання операційних системи

реального часу (Зайцев, 2019). Так операційна система реального часу QNX, що була використана для реалізації програмних рішень по забезпеченню надійного функціонування складних інформаційно-керуючих систем критичних до режиму реального часу на обчислювальному вузлі, через який організовано інтерфейс оператора (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 як засоби SCADA, так і Photon надають тільки інструментарій до реалізації інтерфейса оператора, а рішення до його структури, інформаційної насиченості, форми надання інформації тощо лежать на розробнику. Так у (Доценко, 2022) описані різні інструментарії, що використовуються для створення людино-машинного інтерфейсу, але рекомендації що до його компонування відсутні.

Метою статті є обґрунтування рішень що до структури і функціоналу інтерфейсу оператора складних інформаційно-керуючих систем критичних до режиму реального часу та ознайомлення з досвідом їх практичної реалізації.

Виклад основного матеріалу. При корінній модернізації існуючих систем автоматизації на підприємствах гірничо-металургійного комплексу одним з провідних напрямків є застосування сучасних комп'ютерних технологій, що дозволяє вирішувати задачі комплексної автоматизації ділянок технологічного процесу, що раніше керувалися декількома локальними системами автоматизації. Як правило, такі системи інтегрують в собі такі локальні системи та забезпечують розширення функціональних можливостей оператора по керуванню технологічним процесом на підставі посилення інформаційного забезпечення процесу керування. В той же час такі особливості складних інформаційно-керуючих систем, що функціонально інтегрують в собі декілька локальних систем автоматизації, які вирішують задачі критичні до режиму реального часу, пред'являють ряд специфічних умов до організації інтерфейсу оператора і форми надання інформації для нього. До таких умов відносяться, перше за все, забезпечення швидкого доступу до потрібної інформації і надання інформації у найбільш зручному вигляді для різних режимів настроювання і ведення технологічного процесу.

Розглянемо процес розробки такого інтерфейсу оператора на прикладі системи керу-

вання швидкісним режимом прокатки дрібно-сортно-дротового стана ДСДС 250/150 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».

З функціональною структурою і основними програмними рішеннями цієї системи можна ознайомитися в (Куваєв, 2021). Тому в цій статті обмежмося тільки питаннями розробки саме інтерфейсу оператора цієї системи.

Перше за все зазначимо, що процес керування швидкісним режимом прокатки здійснюється оператором комбіновано: як з через інтерфейс оператора так і через органи керування існуючого пульта оператора. Це пов'язано з критичним часом реакції оператора на низку технологічних ситуацій при яких більш оперативне втручання оператора в хід технологічного процесу через органи керування, що розташовані на пульту, дозволяє запобігти його порушення або знизити негативні наслідки такого порушення. Практика показала доцільність і ефективність такого рішення. З цього можна зробити висновок, що при розробці інтерфейсу

оператора-технолога інформаційно-керуючих систем слід враховувати вимоги реального часу не тільки для функцій, що виконуються в автоматичному режиму «жорсткого» реального часу, а і автоматизованих функцій які відносяться до функцій «м'якого» реального часу. Така ситуація характерна для технологічних процесів з високою швидкістю їх протікання. Наприклад, швидкість прокатки на стані ДСДС 250/150 досягає 18м/с і процес прокатки візуального контролюється оператором.

Загальна структура інтерфейсу орієнтована на мінімізацію часу доступу оператора до потрібної інформації при керуванні технологічним процесом в режимі реального часу. Загальний простір екрану розбито на зони (див. рис. 1), функціонал яких пов'язаний з найбільш зручним зосередженням уваги оператора на тієї чи іншій ділянці екрану. Найбільш актуальна інформація відображається у центральній області екрану і ліворуч неї, що відповідає природній звички читання і перегляду малюнк-

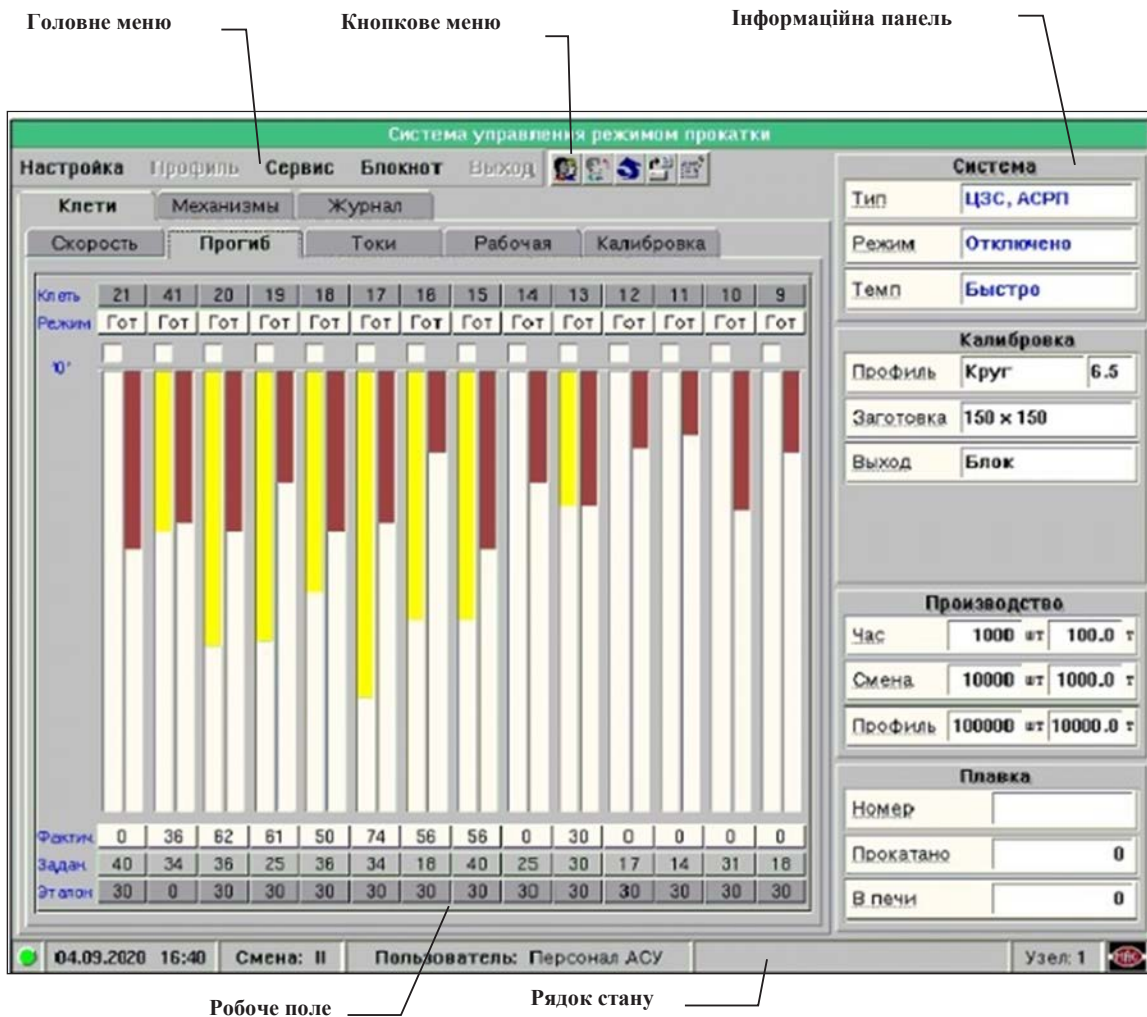


Рис. 1. Відеограма підсистеми автоматичної стабілізації прогину прокату між клітями

ків, меню розташована в зоні заголовків, справа розташована загальна інформація про робочу систему, поточний профіль та загальні параметри виробництва. У нижньому рядку представлена додаткова інформація.

Основна технологічна інформація відображається на сторінках блокноту, розміщеного на робочому полі. У верхній частині робочого поля знаходяться закладки сторінок блокнота, виділяючи які оператор вибирає дані для перегляду. Система відображення включає два типи блокнотів – основний, його закладки розташовані у верхньому рядку та підпорядкований. Вибір закладки основного блокнота відкриває пов'язаний із нею підпорядкований блокнот. Перемикаючись між сторінками підпорядкованих блокнотів, можна отримати доступ до потрібної інформації.

Головне меню містить усі інструменти керування системою, а також дублює всі закладки блокнотів. Меню кнопок призначене для швидкого виклику тих чи інших функцій системи – функції кнопок відповідають функціям аналогічних пунктів головного меню.

Поле індикації режимів і додаткової інформації включає п'ять панелей для відображення загальносистемних параметрів, таких як: тип системи, режим управління клітьми, профіль, що прокочується та ін.

Рядок стану містить такі поля: індикація порушення технологічного режиму, кнопка швидкого переходу до перегляду журналу порушень, поточний час, категорія користувача, зареєстрованого в системі, номер вузла.

Сторінки блокнотів містять зведені таблиці базових (еталонних), змінних та контрольованих параметрів клітей і механізмів, згрупованих відповідно до їх індивідуальних властивостей та призначення. При проектуванні системи відмовились від представлення інформації в вигляді мнемосхем технологічного процесу на користь більш щільного розміщення інформації та мінімізації сторінок блокноту. Це дає певне скорочення кількості перемикачів між сторінками блокноту при настроюванні, аналізу та корекції швидкісного режиму прокатки оператором.

Оскільки основним призначенням системи, що розглядається, є керування швидкісним режимом прокатки, розглянемо інструментарій технологічного інтерфейсу цього функціоналу більш докладно.

Підготовка до прокатки нового профілерозміру починається з формування для нього робочої таблиці прокатки (див рис. 2). Базовими даними робочої таблиці є діаметри валків і частота обертання привода клітей, що відпо-

відають налагодженому режиму прокатки цього профілерозміру. В якості початкових даних може бути використані дані еталонної таблиці прокатки даного профілерозміру чи вже існуючі дані робочої таблиці даного профілерозміру, що були збережені при його попередній прокатки – задана частота обертів клітей узгодженого режиму прокатки береться з таблиці поточного швидкісного режиму прокатки. Оператор редагує робочу таблицю через внесення в неї діаметрів валків, що будуть встановлені в кліті. При цьому частота обертання привода клітей перераховується автоматично. Лінійна швидкість проката на виході клітей вираховується теж автоматично по частоті обертання привода кліті, діаметру її валків і додатковим параметрам, що беруться з еталонної таблиці прокатки даного профілерозміру. Еталонні таблиці заповнюються системним програмістом разом з відповідальним технологом на підставі технологічних інструкцій (таблиць калібровок відповідних профілерозмірів).

Поточний швидкісний режим прокатки відображається на сторінки блокнота «Кліті>Швидкість», де: N_z – базове задане число обертання привода кліті (формується системою); N_f – фактичне число обертання привода кліті (вимірюється системою); V – лінійна швидкість прокату на виході кліті (розраховується системою); « \updownarrow » – напрям корекції базового завдання числа обертання привода кліті підсистемою автоматичного налаштування швидкісного режиму прокатки.

Відеограми на сторінках блокнота «Кліті>Прогин» (див. рис. 1), «Кліті>Струм» (див. рис. 3) теж формуються за табличним принципом, хоча основними інформаційними елементами цих відеограм є стовпчикові діаграми.

Таке подання інформації дозволяє значно легше аналізувати якість налаштування швидкісного режиму прокатки для окремих міжклітьових проміжків по динаміці змін контрольованого параметра при проходженні переднього і заднього ділянок прокату міжклітьових проміжків та контролювати прокатку заготовок у лінії клітей в цілому. Для підвищення точності аналізу оператором настроювання режиму безперервної прокатки по зміні струмів приводів клітей застосована адаптивна шкала стовпчикових діаграм – вони перебивають тільки робочі діапазони зміни струмів приводів кожної з робочих клітей індивідуально.

Запропонований комплекс апаратно-програмних рішень дозволив підвищити точність налаштування швидкісного режиму безперервної прокатки і забезпечити виробництво прокату

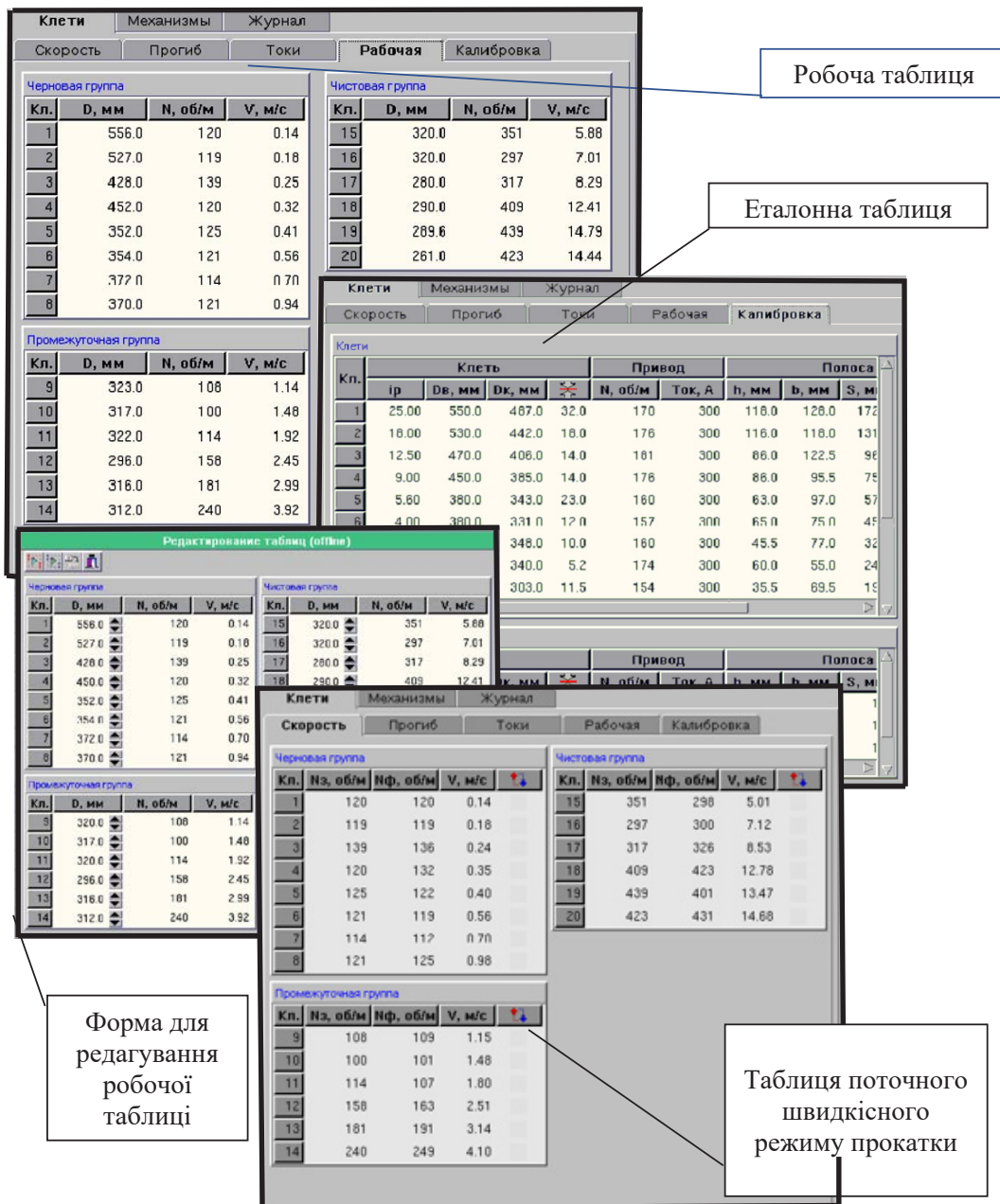


Рис. 2. Экранні форми для попереднього розрахунку і контролю швидкісного режиму прокатки

з підвищеною точністю геометричних розмірів його перетину та скоротити час налаштування швидкісного режиму прокатки до прокатки першої заготовки, що дозволило зменшити непродуктивні втрати металу.

Висновки. При розробці інтерфейсу оператора-технолога інформаційно-керуючих систем слід враховувати вимоги реального часу не тільки для функцій, що виконуються в автоматичному режимі «жорсткого» реального часу, а і автоматизованих функцій які відносяться до функцій «м'якого» реального часу. Керування оператором технологічним проце-

сом з високою швидкістю протікання доцільно здійснювати комбіновано: як з через інтерфейс оператора так і через органи керування пульта оператора.

Організація інтерфейсу оператора у вигляді дворівневого блокнота дозволяє організувати швидкий доступ до актуальної інформації, а таблична організація даних на сторінках блокноту – зробити їх інформаційно насиченими.

Досвід впровадження і експлуатації системи керування швидкісним режимом прокатки підтвердив ефективність запропонованих рішень організації інтерфейсу оператора.

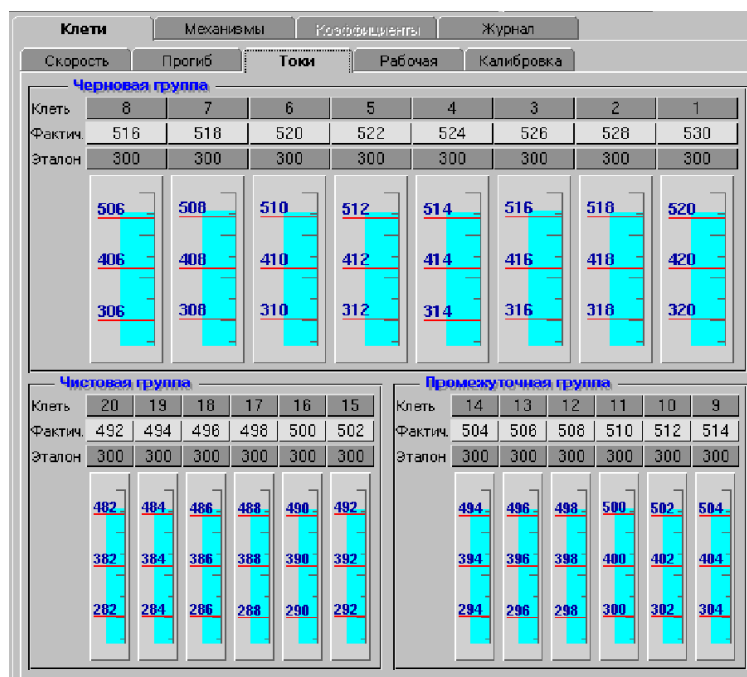


Рис. 3. Відеограма сторінки «Кліті>Струм»

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., Ішчук 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.

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. Kuvaev, V., Ishchuk, P., Polotov, 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].