

І. Ш. НЕВЛЮДОВ, В. В. ЄВСЄЄВ, Н. П. ДЕМСЬКА, М. Г. СТАРОДУБЦЕВ

ВИРІШЕННЯ ПИТАННЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ ВИРОБНИЧОГО ОБЛАДНАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ КІБЕР-ФІЗИЧНИХ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

Постійне вдосконалення парку технологічного обладнання, в умовах існуючого виробництва, є складним завданням, при вирішенні якого необхідно враховувати багато параметрів, таких як механізація, автоматизація і застосування нових технологій в рамках концепції Industry 4.0. Одним з ефективних методів підвищення техніко-економічних показників та надійності виробництва є модернізація існуючого технологічного оснащення, яка ґрунтується на необхідності використання сучасних методів розробки і впровадження інформаційних технологій, таких як Industrial Internet of Things, кібер-фізичних виробничих систем. **Предметом** даного дослідження є апробація методів розробки адитивного кібер-дизайну для автоматизації складного промислового обладнання. **Метою** даної статті є розробка кібер-фізичної виробничої системи керування, для модернізації преса гідравлічного ДА2238Б. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **завдання**: провести аналіз технічних характеристик і системи керування преса гідравлічного ДА2238Б; провести дослідження схеми гідравлічної принципової на базі якої обрати датчики і виконавчі механізми, а також режими роботи; розробити схему включення гідро обладнання; розробити автоматизовану систему керування на базі сучасного одноплатного комп'ютера і розробити інтуїтивно зрозумілий адитивний кібер-дизайн інтерфейсу оператора; провести експериментальні дослідження. **Висновки**: в результаті досліджень було розроблено структурну схему та реалізовано автоматизовану систему керування на базі LattePanda. Обрані датчики тиску і температури для контролю процесів пресування, що дозволило забезпечити точне дотримання вимог технологічного процесу. Розроблено автоматизоване робоче місце оператора, в якому реалізовано сенсорне управління на базі адитивного кібер-дизайну. Розроблена система керування забезпечує: збір та аналіз виробничих даних, на базі яких можна вдосконалити технологію виробництва і забезпечити прогнозування досягнення "Lean Manufacturing".

Ключові слова: Industry 4.0; Smart Manufacturing; кібер-фізичні виробничі системи; адитивний кібер-дизайн; модернізація.

Вступ

Однією з основних умов, що забезпечує високі темпи зростання продуктивності праці в промисловості, є постійне вдосконалення парку технологічного обладнання. Це досягається насамперед заміною застарілого обладнання новим, сучасним. Однак не завжди така заміна буде економічно виправданою. Нерідко, застарілому обладнанню можуть бути забезпечені підвищені техніко-експлуатаційні якості, шляхом конструктивних змін окремих систем і агрегатів [1] чи додавання деяких систем, що не потребує великих витрат, що дозволяє використовувати його з не меншим виробничим ефектом ніж нове. Такого роду удосконалення обладнання, зване модернізацією [2], в кінцевому рахунку переслідує ту ж мету, що і ремонт, – збільшити термін ефективного використання, діючого обладнання.

У порівнянні з обладнанням, яке випускалося раніше, сучасні моделі мають, як правило, більш високу продуктивність і точність, більшу надійність і довговічність, їх обслуговування є менш трудомістким і більш безпечним, вимагає менших експлуатаційних витрат. Такі ж результати повинні досягатися і модернізацією. Це визначає наступні її основні напрямки: підвищення швидкохідності, потужності, жорсткості, вібростійкості і точності, скорочення допоміжного часу, автоматизації робочого циклу, концентрації операцій, поліпшення експлуатаційних якостей. Можливість забезпечення значного підвищення ефективності чинного парку обладнання, з невеликими витратами і швидкою окупністю, за рахунок модернізації, є причинами

досить великої уваги, яка приділяється таким роботам на виробництві.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Найбільш ефективна комплексна модернізація, в результаті якої всі техніко-економічні та експлуатаційні показники модернізованої машини наближаються до сучасного рівня [3].

Однак, коли для вирішення конкретних виробничих завдань потрібно поліпшення лише окремих параметрів обладнання, часто обмежуються частковою його модернізацією.

Модернізуючи застаріле обладнання для виконання конкретних функцій за модульним принципом, замінюючи окремі системи і агрегати обладнання, можна привести виробництво до сучасних стандартів без величезних капітальних витрат [4-6]. До робіт з модернізації відносять також конструктивні переробки обладнання, що мають на меті розширення технологічних можливостей або зміну технологічного призначення обладнання [7-9]. Ці конструктивні зміни також дозволяють продовжити термін ефективного використання обладнання, а в деяких випадках, навіть значно збільшити його продуктивність.

Таким чином, актуальним стає завдання модернізації при мінімальних фінансових і часових витратах. Можливим її рішенням є модернізація обладнання за допомогою синтезу технологій ІоТ і сучасних одноплатних комп'ютерів і сучасних сенсорів.

Даний симбіоз дозволяє здійснити часткову модернізацію застарілого обладнання, при цьому

забезпечити контроль параметрів виробничого процесу, для подальшого аналізу. Одним із сучасних підходів до автоматизації виробництва, є впровадження кібер-фізичних виробничих систем (СРПС) [10, 11], тобто інтеграції в одній екосистемі фізичних та інформаційних потоків даних [12, 13].

Мета роботи. Розробка кібер-фізичної виробничої системи керування, для модернізації преса гідравлічного ДА2238Б.

1. Аналіз параметрів преса гідравлічного ДА2238Б

Загальний вигляд преса ДА2238Б до модернізації представлений на рис. 1. Прес є універсальним обладнанням, основне призначення якого – пресування виробів з пластмас в закритих прес-формах. Може бути використаним для виконання операцій неглибокої витяжки, гнуття і рихтування металевих виробів. Технічні характеристики преса гідравлічного ДА2238Б наведено в табл. 1.

Система управління преса гідравлічного ДА2238Б представлена на рис. 2. Як можна бачити з рисунків 1 і 2 прес керувався тільки в ручному режимі, контроль за технологічними параметрами виготовлення виробів проводиться оператором у візуальному режимі. Відповідно це не дозволяє контролювати параметри та режими роботи преса гідравлічного ДА2238Б, який в залежності від переходу від одного типу деталей на інший, вимагає тривалого настроювання, що призводить до



Рис. 1. Загальний вигляд преса ДА2238Б до модернізації

Тому для вирішення поставленого завдання модернізації преса гідравлічного ДА2238Б, відповідно до запропонованих у [10, 14] методів і моделей, було проведено декомпозицію мети на наступні підцілі:

- дослідити схему гідравлічну принципову (фрагмент представлений на рис. 3);

збільшення часу простою обладнання, а отже знижує ритмічність виробництва і збільшує вартість виробів [14].

Таблиця 1. Технічні характеристики преса гідравлічного ДА2238Б

Розмір столу, мм	
зліва направо	1400
спереду назад	1250
Хід повзуна, мм	800
Номінальне зусилля преса, кН	6300
Номінальне зусилля нижнього поршня, кН	1000
Хід нижнього поршня, мм	450
Швидкість холостого ходу повзуна, мм/с	125
Швидкість робочого ходу повзуна, мм/с	3,5
Швидкість поворотного ходу повзуна, мм/с	65
Швидкість робочого ходу нижнього поршня, мм/с	15
Відстань між столом і повзуном, мм	1600
Потужність двигуна головного руху, кВт	30,75
Габарити верстата Д×Ш×В, мм	4100×2330×5580
Система управління	оператор
Маса, кг	33500
Рік випуску:	1982



Рис. 2. Ручна система управління преса гідравлічного ДА2238Б

- розробити таблицю включень електроапаратів в напівавтоматичному режимі і параметрів гідроустаткування на етапах роботи "Виштовхувач", "Пресування", "Підпресовка";

- реалізувати 3 режими роботи преса: "Автоматичний", "Напівавтоматичний" і "Ручний";

- реалізувати 3 режими роботи за швидкістю: "Швидкий режим", "Повільний" і "Режим захисту";
- реалізувати сенсорне управління пресом з контролем наступних параметрів: мнемосхема (призначена для відображення інформації про роботу преса, настройки і налагодження) і панель оператора

(призначена для відображення: тиску пресування, температуру масла, поточний час, положення верхнього повзуна по датчику переміщення, вихідну позицію повзуна, швидкість опускання, номер деталі зі збереженими настройками ТП).

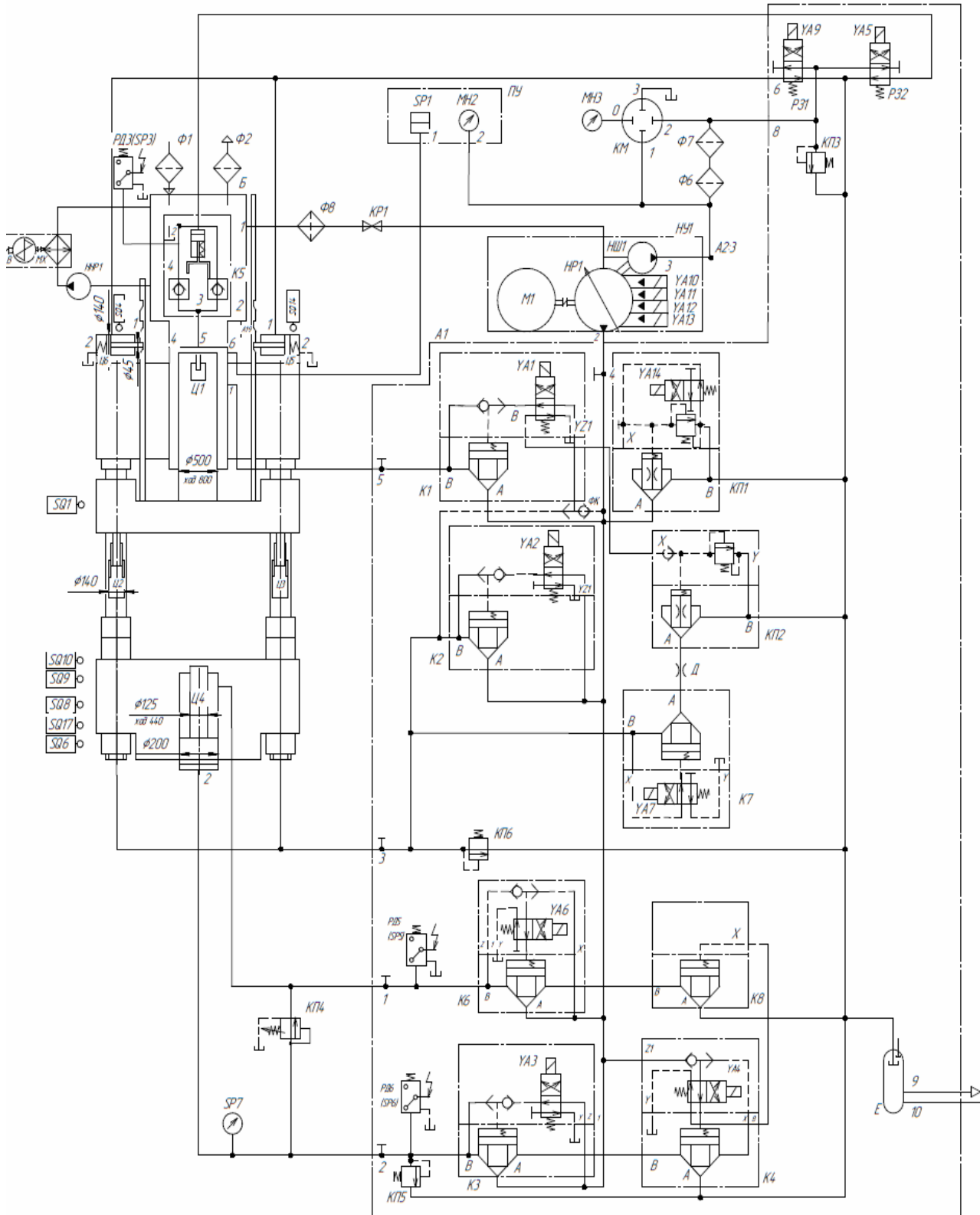


Рис. 3. Схема гідравлічна принципова преса ДА2238Б

Відповідно до поставлених підцелей реалізації автоматизації управління преса ДА2238Б необхідно розробити таблицю включень електроапаратів в напівавтоматичному режимі і параметрів

гідроустаткування на етапах роботи "Виштовхувач", "Пресування", "Підпресовки". Фрагмент таблиці представлений на рис. 4.

Наименование операции	Электромагниты (У А)																Эл. Двигатель		Командоапараты		Давление МПа
	1	2	3	4	5	6	7	9	10	11	12	13	14	16	М1	М3	Начало операции	Конец операции			
Исходное положение Отбой фиксаторов																X		SQ1, SQ2			
Ускоренное смыкание прессы					X		X	X								X		SQ4, SQ14, SP3	SQ2,2	2,5	
Подпрессовка	Замедленное смыкание прессы и подъем давления до 10МПа	X		X		X	X	X					X		X			SQ2,2	SP11	до 10	
	Подъем давления свыше 10МПа	X		X		X	X	X		X			X		X			SP11	SP13	св 10	
	Выдержка						X	X								X		SP13	KT1	св 10	
	Подпитка	X		X		X	X			X		X			X			SP12	SP13	св 10	
	Сброс давления					X			X							X		KT1	SP3	1	
	Размыкание замедленное		X		X				X		X		X			X		SP3	SQ2,3	2,6	
	Выдержка разомкнутого прессы								X							X		SQ2,3	KT2	2,6	
Прессование	Замедленное смыкание прессы и подъем давления до 10МПа	X		X		X	X	X					X		X			KT2, KC	SP11	до 10	
	Подъем давления свыше 10МПа фиксация ползунка	X		X		X	X	X		X			X		X			SP11	SP15, SP16*, SP7*	10,32	
	Выдержка						X											SP15	KT3	до 32	
	Подпитка	X		X		X	X			X		X			X			SP14	SP15	до 32	
	Пресс1	Сброс давления					X									X		KT3	SP3	1	
		Сброс давления													X	X		KT3	SP13	до 10	
	Пресс2	Выдержка						X								X		SP13	KT4	св 10	
		Подпитка	X		X		X				X		X			X		SP12	SP13	св 10	
		Сброс давления					X									X		KT4	SP3	1	
	Размыкание замедленное		X		X						X		X			X		SP3	KT8	2,6	
Размыкание ускоренное		X		X					X			X			X		KT8	SQ2,1	2,6		

Рис. 4. Фрагмент таблиці включень електроапаратів в напівавтоматичному режимі і параметрів гідроустаткування преса ДА2238Б

2. Розробка АРМ оператора преса гідралічного ДА2238Б

За розробленими схемою гідравлічної принциповою (рис. 3) і таблицею включень електроапаратів в напівавтоматичному режимі і параметрів гідроустаткування преса ДА2238Б (рис. 4), було запропоновано наступне компонування автоматизованого робочого місця (АРМ) оператора

управління преса ДА2238Б, яка представлена на рис. 5 [14].

АРМ оператора управління преса ДА2238Б складається з чотирьох основних компонентів: 1 – манометр; 2 – дисплей індикації та мнемосхеми преса; 3 – сенсорна панель оператора; 4 – перемикачі та кнопки управління.



Рис. 5. АРМ оператора керування преса ДА2238Б

Манометр 1 (рис. 5) відображає робочий тиск управління гідроклапанами. Дисплей індикації та мнемосхеми преса 2 відображає уявну схему преса, індикацію роботи електророзподільних клапанів, кінцевих вимикачів, поточний стан верхнього повзуна і поршня, кінцевиків дверей, представлений на рисунку 6. Сенсорна панель оператора 3 призначена для відображення інформації про роботу преса, настройки і налагодження якої розроблялись з використанням програмного забезпечення "Система розробки кібернетичної складової для автоматизації процесів курування організаційно-технічним виробничим об'єктом", 4 панель перемикачів і кнопок управління пресом ДА2238Б в "Ручному" і "Напівавтоматичному" режимах.

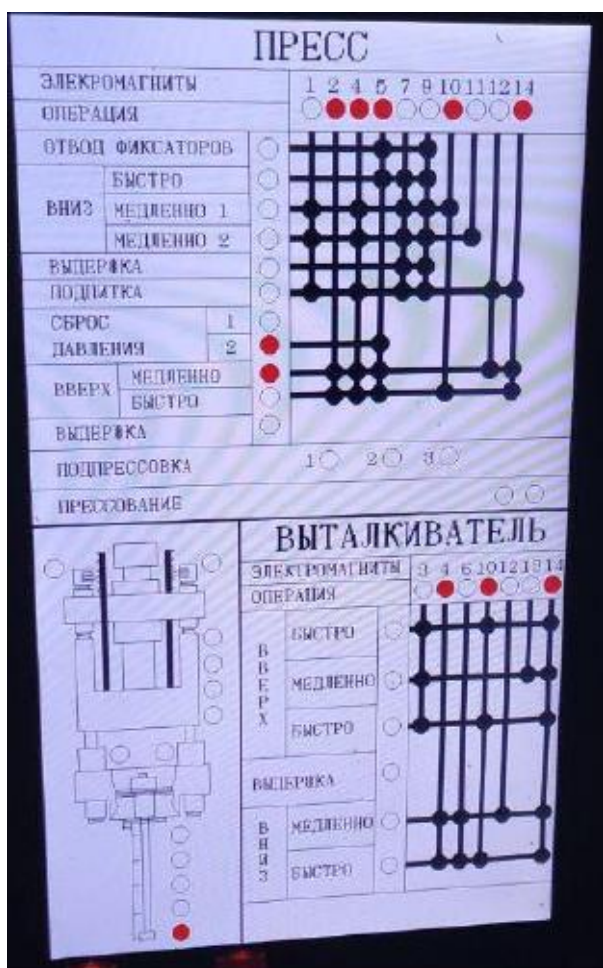


Рис. 6. Мнемосхема преса ДА2238Б

Відповідно до поставлених підцілей і завдань модернізації преса ДА2238Б, було запропоновано реалізувати сенсорне вікно оператора у вигляді 4 програмних форм ($Form_{PO}^{master}$, $Form_{tuning}^{slave}$, $Form_{param_de}^{slave}$ і $Form_{adjustment}^{slave}$), ґрунтуючись на запропонованому застосуванні інформації з сигнально-кодовою конструкцією [14].

На наступному етапі розробки сенсорної панелі оператора управління пресом ДА2238Б необхідно визначити розміщення GUI елементів. Для повного уявлення про обсяги необхідної і достатньої

інформації оператору, на головній формі $Form_{PO}^{master}$, було прийнято рішення відобразити наступну технологічну інформацію:

- тиск пресування;
- температура масла;
- поточний час і дата;
- положення верхнього повзуна по датчику преміщення;
- вихідну позицію повзуна;
- швидкість опускання повзуна;
- № деталі;
- кнопку переходу в настройки.

3. Розробка НМІ панелі оператора

Розробка НМІ панелі оператора проводилась відповідно розроблених моделей і методів в [10, 14]. Варто зауважити, що система управління пресом ДА2238Б реалізована на базі одноплатного комп'ютера LattePanda 4 GB / 64 GB, який підтримує Arduino-сумісний співпроцесор ATmega32u4, GPIO контакти для чипу Intel X-Z8300 і ATmega32u4, методи передачі інформації, як провідні 100 Mbps Ethernet так і бездротові Wi-Fi, Bluetooth 4.0. Структура модернізованого преса ДА2238Б на базі LattePanda 4/64 Gb представлена на рисунку 7.

Як можна бачити з рисунка 7 для модернізації системи управління пресом ДА2238Б, необхідно забезпечити контроль таких параметрів: тиск пресування (бар); час пресування (с); температура масла (0С); вихідна позиція повзуна (мм); час затримки фіксації повзуна (мс); тиск переходу повзуна на робочий хід (бар); максимальний тиск повзуна (бар); крайнє положення повзуна при пробиванні (мм); час витримки утримання (с); тиск підпресовки (бар); час підпресовки (с); час витримки поршня вгорі (с); мінімальний тиск підпресовки (бар); контроль розкриття повзуна (мм); час розмикання повзуна (мс). Для забезпечення роботи преса ДА2238Б використовуються 14 електромагнітних клапани, схема підключення, яких представлена на рис. 3, а таблиця включення режимів: "Виштовхувач", "Пресування", "Підпресовка" представлена на рис. 4.

Для контролю технологічних параметрів, в даному дослідженні були використані датчики:

- датчик температури TER8, який відповідає суворим вимогам гігієнічних стандартів, всі контактуючі частини захищені РЕЕК-конусом. Точність датчиків TER8 на рівні $<0,25$ °С. Компактне виконання корпусу під вузькі труби;

- датчик тиску MBS 3207, який підтримує інтерфейс CAN open, середовищ з температурою від 0°С до 125°С, що повністю відповідає вимогам до температурних режимів роботи преса ДА2238Б, з допустимою температурної компенсацією в діапазоні від 0 до 100 °С і діапазон вимірювань від 0 до 600 бар;

- лінійний датчик положення WDS-MP/MPW. Серія MPW (водонепроникна) передбачена спеціально для використання у важких умовах навколишнього середовища. Точність $+ \setminus - 0,5$ мм.

Для розробки кібернетичної складової системи управління пресом ДА2238Б був обраний

одноплатний комп'ютер LattePanda 4/64Gb на базі OS Windows 10. Обґрунтуванням цього вибору послужило те, що LattePanda 4/64 Gb реалізований на 4-х ядерному процесорі Intel Cherry Trail Z8350 з частотою 1,44 ГГц. Об'єм оперативної пам'яті 4 Gb DDR3L і з зовнішньою eMMC пам'яттю 64 Gb. Так само LattePanda 4/64 Gb повністю підтримує:

бездротовий інтерфейс Wi-Fi 802.11n 2.4G; Bluetooth 4.0 і Ethernet 100 Mbps. На платі реалізовані GPIO входи/виходи, які підтримують: GPIO процесора Intel x 6, GPIO контролера ATmega32U4 x 20, інтерфейсні роз'єми x 6, при цьому розмір плати 88 мм × 70 мм і вага 55 г.

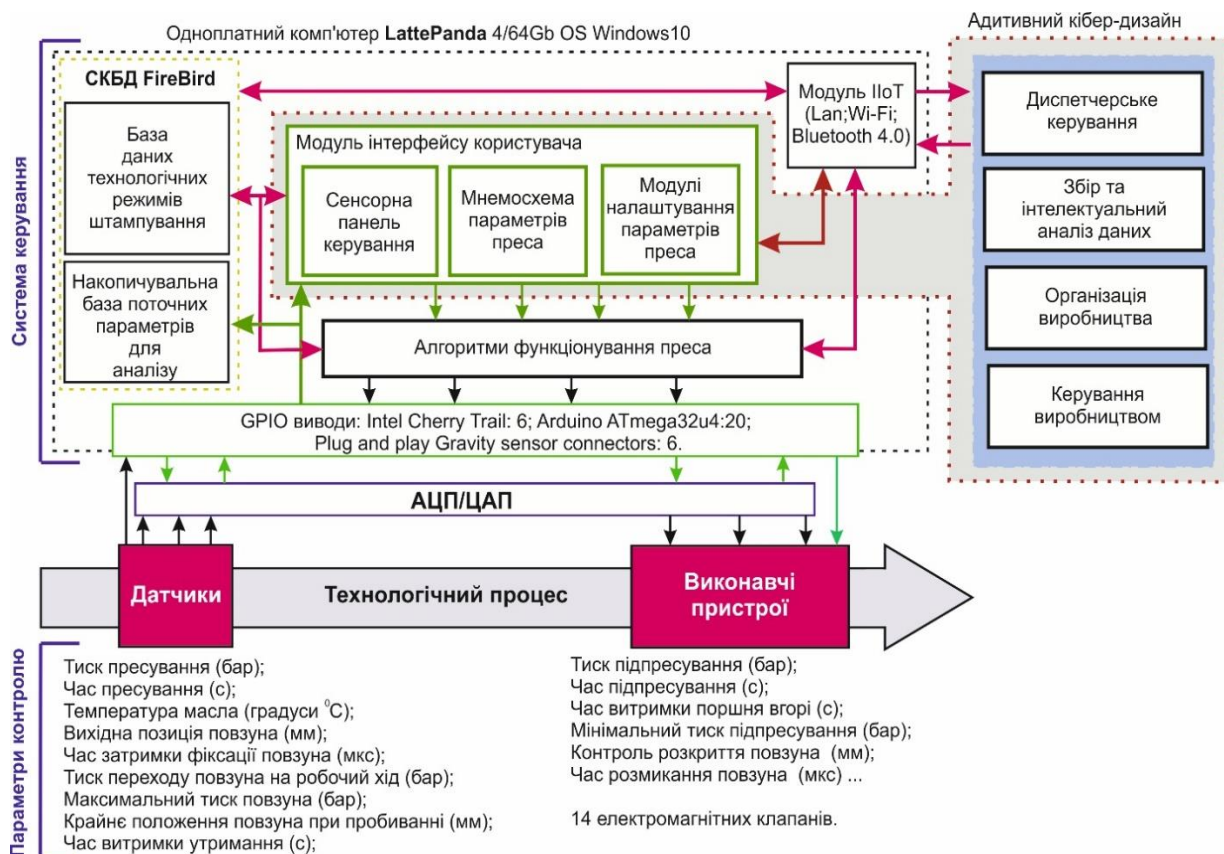


Рис. 7. Структура модернізованого преса DA2238B на базі LattePanda 4/64 Gb

Розроблений модуль перетворення АЦП/ЦАП дозволив підключити датчики до шини GPIO контролера ATmega32U4 на LattePanda 4/64Gb. На OS Windows 10 було розгорнуто сервер на базі СКБД FireBird, який містить дві бази даних: базу даних технологічних режимів штампування і накопичувальну базу даних поточних параметрів для аналізу, яка дозволяє проводити моніторинг і прогнозування зносу штампа.

Кібернетична система управління пресом DA2238B реалізована у вигляді клієнт-серверної архітектури з адитивним кібер-дизайном. На пульті керування пресом DA2238B виведені: сенсорна панель управління; мнемосхема параметрів преса і модулів налаштування. Віддалений доступ до управління і моніторингу здійснюється за допомогою реалізації віддаленого підключення до LattePanda 4/64 Gb через Wi-Fi мережу із зовнішнім виходом в мережу Internet. При цьому для віддаленого управління і моніторингу параметрами преса DA2238B використовується адитивний кібер-дизайн [15].

На базі запропонованих досліджень був розроблений гнучкий НМІ, який дозволив реалізувати доступ в режимі реального часу доступ для: диспетчерського

управління, збору та інтелектуального аналізу даних, організації виробництва і управління виробництвом, при цьому відповідність поточної технологічної інформації не має спотворення і достовірна для всіх зарезервованих користувачів. Дане рішення дозволяє адекватно представляти інформацію про стан обладнання і протікання технологічного процесу, оперативного втручання і коригування відхилення і похибок, розрахунок продуктивності і зносу штампа, що дає можливість забезпечити мінімальний простій обладнання при плановому ремонті. Провівши опис структури, на базі запропонованої в 5 розділі мови, були отримані наступні інтерфейси оператора: на рисунку 8 представлена конструкція головного вікна управління ($Form_{PO}^{master}$), на рис. 9 представлена конструкція вікна настройки ($Form_{tuning}^{slave}$) [10, 15].

Вікно ($Form_{tuning}^{slave}$) керування пресом DA2238B (рис. 9) призначене для налаштування основних параметрів преса. Тут можна змінювати і задати такі технологічні параметри:

- тиск пресування SP1.5, в барах;
- вихідну позицію повзуна SQ2.1 (вибір з чотирьох можливих варіантів);



Рис. 8. Конструкция главного окна управления ($Form_{PO}^{master}$) пресом DA2238B

- перехід на уповільнений хід SQ2.2, в міліметрах (при досягненні даного параметра повзун переходить на уповільнене опускання);
- висоту поршня SA5 (задається вибір від першого до четвертого кінцевого вимикача, при спрацьовуванні якого виштовхувач зупиниться);
- затримку фіксації кінцевих вимикачів поршня, в мілісекундах;
- дату і час;
- вибір номера деталі;
- режим введення параметрів деталі;
- кнопки повернення до "Основного вікна" і переходу в "Налагодження".

$Form_{param_de}^{slave}$ призначена для налагодження параметрів преса DA2238B. Для захисту від несанкціонованого доступу замовнику запропонований метод ідентифікації користувача за рахунок установки пароля. Вкладкою можуть користуватися лише сервісні інженери або налагодчики з боку замовника.

Конструкція вікна $Form_{param_de}^{slave}$ (рис. 10) містить GUI елементи для реалізації наступних функцій управління параметрами налагодження [15]:

- тиск переходу повзуна на робочий хід SP1.1, в барах (при досягненні зазначеного тиску – повзун з режиму тиску переходить на робочий хід);
- максимальний тиск повзуна SP1.6, в барах (при досягненні заданого значення – залишковий тиск повзуна буде скидатися);

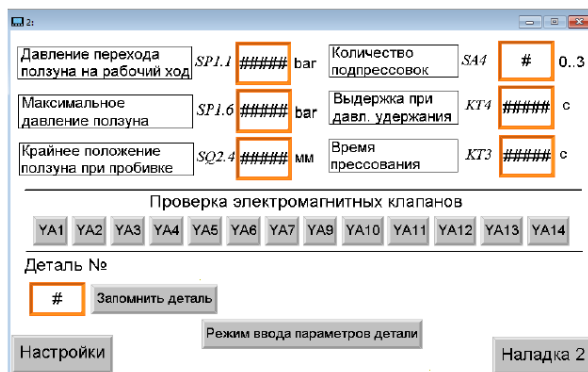


Рис. 10. Конструкция окна наладки ($Form_{param_de}^{slave}$)

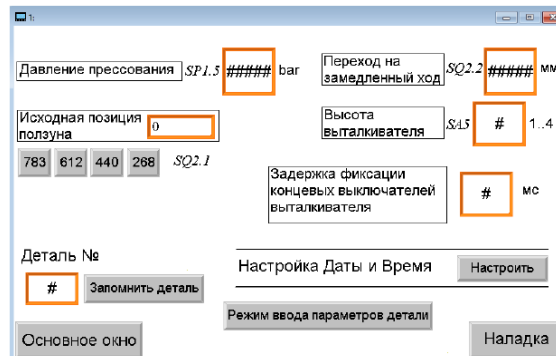


Рис. 9. Конструкция окна настройки ($Form_{tuning}^{slave}$)

- крайне положения повзуна при пробивании SQ2.4, в миллиметрах;
- количество подпрессовок SA4, від нуля до трьох;
- витримка при тиску утримання KT4, в секундах;
- час пресування KT3, в секундах;
- перевірка електромагнітних клапанів (дає можливість перевірити гідророзподільник кожного клапана окремо. При натисканні клапан спрацьовує, при повторному натисканні – вимикається);
- вибір деталі;
- режим введення параметрів деталі;
- кнопка "Налаштування" для повернення в попереднє вікно.

$Form_{adjustment}^{slave}$ призначена для настройки технологічних параметрів підпресовки і реалізує управління наступними параметрами:

- тиск підпресування SP1.3, в барах;
- час підпресування KT1, в секундах;
- час паузи підпресування KT2, в секундах;
- час витримки поршня вгору KT5, в секундах;
- прискорений хід поршня KT6, в секундах;
- мінімальний тиск підпресування SP1.2, в барах;
- мінімальний тиск пресування SP1.4, в барах;
- контроль розкриття SQ2.3, в міліметрах;
- опускання вниз поршня SA6;
- швидкість розмикання.

Розміщення GUI елементів на НМІ формі

$Form_{adjustment}^{slave}$ представлено на рисунку 11.

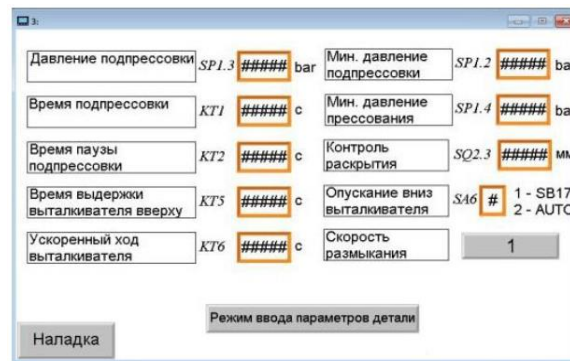


Рис. 11. Конструкция окна наладки $Form_{adjustment}^{slave}$

Отримані конструкції розроблених форм, на базі "Система розробки кібернетичної складової для автоматизації процесів курування організаційно-технічним виробничим об'єктом" [10], були впровадженні для управління преса ДА2238Б і представлені на рис. 8-11.

Результати дослідження та їх обговорення

Проводячи аналіз отриманих тимчасових тайменгів виконання поставленого завдання з модернізації гідравлічного преса ДА2238Б, на базі

розроблених моделей і методів і стандартних підходів (експериментальна розробка системи управління проводилась паралельно), були отримані наступні результати, представлені на рисунку 12.

Для зручності візуалізації отриманих даних [10], весь процес модернізації гідравлічного преса ДА2238Б згрупований в 4 етапи:

- постановка цілей і завдань;
- розробка фізичної складової;
- розробка кібернетичної складової;
- впровадження.

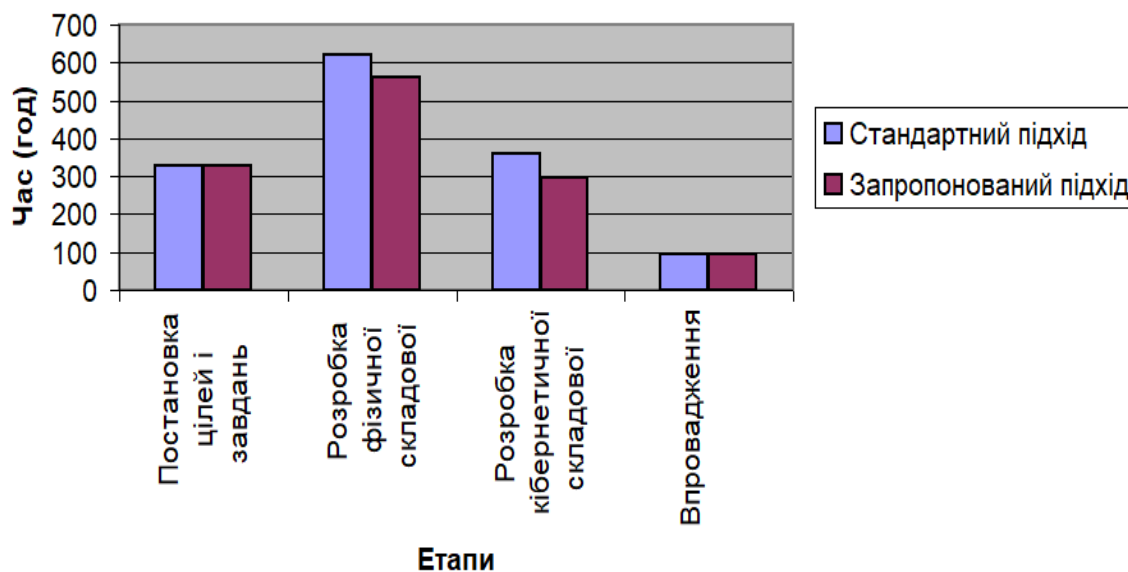


Рис. 12. Графік витрат часу на модернізацію гідравлічного преса ДА2238Б

З графіку (рис. 12) можна помітити, що застосування розроблених методів і моделей управління організаційно-технічним виробничим об'єктом на базі кібер-фізичних систем, дозволив скоротити витрати часу на етапі розробки фізичної складової, у порівнянні зі стандартним підходом, на 10,71 % і на 17,78 % на етапі розробки кібернетичної складової.

Варто зауважити, що результати кібернетичного етапу і частково фізичного, які були реалізовані на базі "Система розробки кібернетичної складової для автоматизації процесів керування організаційно-технічним виробничим об'єктом", були впроваджені у виробництво, що підтверджується відповідним актом впровадження ТОВ "НВП УКРІНТЕХ" від 23.10.2019 р.

Результати впровадження довели, що запропоновані методи та моделі, дозволили удосконалити процес керування та дозволили підвищити продуктивність на 1,2 % та ритмічність 1,8 % за місяць.

Список літератури

1. Ляшук О. Л., Гевко Р. Б., Дзюра В. О. та ін. Створення та модернізація транспортно-технологічних механізмів машин і обладнання [Електронний ресурс] : монографія. Тернопіль : ТНТУ, 2019. 167 с. ISBN 978-617-7331-96-3

Висновки

У даній статті розглядаються питання модернізації застарілого обладнання. В ході досліджень автори провели аналіз публікацій в даному напрямку, який показав що модернізація є складним і трудомістким процесом, при цьому більш економічно вигідним на відміну від покупки нового обладнання. Для вирішення поставлених завдань з модернізації гідравлічного преса ДА2238Б, було прийнято рішення використовувати нові методи розробки інтерфейсу оператора на базі адитивного кібер-дизайну, в рамках кібер-фізичних виробничих систем. Для досягнення мети було запропоновано ряд рішень з розробки структури системи керування та інтерфейсу користувача. Правильність прийнятих рішень з модернізації обладнання доведено експериментально. Результати показали, що використання розробленої системи керування дозволило підвищити продуктивність на 1,2 % та ритмічність 1,8 % за місяць. Це підтверджує підвищення економічної ефективності виробництва.

2. Gnidenko, A., Sobolevsky, V., Potriasaev, S., Sokolov, B. (2019), "Methodology and integrated modeling technologies for synthesis of cyber-physical production systems modernization programs and plans", *IFAC-PapersOnLine*, No. 52 (13), P. 642–647. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.305>
3. Zhilevski, M., Mikhov, M. (2018), "Performance Improvement of a Type of Turning Machines", *EJERS, European Journal of Engineering Research and Science*, Vol. 3, Issue 8, P. 44–49. DOI: <https://doi.org/10.24018/ejers.2018.3.8.871>
4. Platonov, V. V., Platonova, E. V. and Maizel, I. G. (2017), "Modernization of numerically controlled machine tools on modular principles", *Russian Engineering Research*, No. 37, pp. 140–143. DOI: <https://doi.org/10.3103/S1068798X17020150>
5. Mikhov, M., Zhilevski, M. (2021), "Study and Analysis of the Drive System for a Type of Milling Machines Aiming at Performance Improvement", *New Ideas Concerning Science and Technology*, Vol. 7, P. 31–43. DOI: <https://doi.org/doi.org/10.9734/bpi/nicst/v7/7254D>
6. Radu, R., Marian, B., Alexandru, H., Bogdan T. (2020), "Contributions to the modernization of fluid power field by integration of intelligent equipment", *Instytut Techniki Górniczej KOMAG*, Vol. 4, P. 39–47. DOI: <https://doi.org/doi.org/10.32056/KOMAG2020.4.5>
7. Frolov, A. V. (2021), "The Experience of the Portal Machine Control System Modernizing for Automatic Arc Welding and Surfacing in a Shielded Gas", *Current Problems and Ways of Industry Development: Equipment and Technologies*, No. 7, P. 622–631. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-69421-0_66
8. Yakovenko, I., Permyakov, A., Naboka, O., Prihodko, O., Havryliuk, Y. (2020), "Parametric Optimization of Technological Layout of Modular Machine Tools", *DSMIE 2020: Advances in Design, Simulation and Manufacturing III*, Vol. 1, P. 85–93. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-50794-7_9
9. Waśik, M., Lis, K., Lehigh, K. and Mucha, Ł. (2018), "Model-Based Dynamic Structural Modification of Machine Tools", *Shock and Vibration*, Vol. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1155/2018/3469171>
10. Nevliudov, I., Yevsieiev, V., Demska, N., Novoselov, S. (2020), "Development of a software module for operational dispatch control of production based on cyber-physical control systems", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 4 (14), P. 155–168. DOI: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.14.155>
11. Osadchy, S., Demska, N., Oleksandrov, Y., Nevliudova, V. (2021), "Research of DIKW and 5C architectural models for creation of cyber-physical production systems within the concept of Industry 4.0", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 1 (15), P. 132–140. DOI: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2021.15.132>
12. Zakoldaev, D. A., Shukalov, A. V., Zharinov, I. O., Zharinov, O. O. (2019), "Modernization stages of the Industry 3.0 company and projection route for the Industry 4.0 virtual factory", *In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Vol. 537, Issue 3, P. 538–541. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/537/3/032005>
13. Pančík, J., Beneš, V. (2019), "IoT Challenge: Older Test Machines Modernization in an Automotive Plant", *Smart Technology Trends in Industrial and Business Management*, P. 85–100. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-76998-1_7
14. Євсєєв В. В. Методи та моделі кібер-фізичного керування процесами в організаційно-технічних виробничих об'єктах: автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.13.07 "Автоматизація процесів керування"; М-во освіти і науки України, Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. Харків, 2021. 45 с. URL: <https://openarchive.nure.ua/handle/document/16097>
15. Nevliudov, I., Yevsieiev, V., Lyashenko, V., Ahmad, M. A. (2021), "GUI Elements and Windows Form Formalization Parameters and Events Method to Automate the Process of Additive Cyber-Design CPPS Development", *Advances in Dynamical Systems and Applications*, No. 16 (2), P. 441–455. URL: <https://www.ripublication.com/adsa21/v16n2p04.pdf>

References

1. Liashuk, O. L., Hevko, R. B., Dziura, V. O. (2019), *The development and modernization of transport and technological mechanisms of machines and possession [Stvorennia ta modernizatsiia transportno-tekhnologichnykh mekhanizmiv mashyn i obladannia]*: Monograph, Ternopil, TNTU, 167 p. ISBN 978-617-7331-96-3
2. Gnidenko, A., Sobolevsky, V., Potriasaev, S., Sokolov, B. (2019), "Methodology and integrated modeling technologies for synthesis of cyber-physical production systems modernization programs and plans", *IFAC-PapersOnLine*, No. 52 (13), P. 642–647. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.305>
3. Zhilevski, M., Mikhov, M. (2018), "Performance Improvement of a Type of Turning Machines", *EJERS, European Journal of Engineering Research and Science*, Vol. 3, Issue 8, P. 44–49. DOI: <https://doi.org/10.24018/ejers.2018.3.8.871>
4. Platonov, V. V., Platonova, E. V., Maizel, I. G. (2017), "Modernization of numerically controlled machine tools on modular principles", *Russian Engineering Research*, No. 37, P. 140–143. DOI: <https://doi.org/10.3103/S1068798X17020150>
5. Mikhov, M., Zhilevski, M. (2021), "Study and Analysis of the Drive System for a Type of Milling Machines Aiming at Performance Improvement", *New Ideas Concerning Science and Technology*, Vol. 7, P. 31–43. DOI: <https://doi.org/10.9734/bpi/nicst/v7/7254D>
6. Radu, R., Marian, B., Alexandru, H., Bogdan, T. (2020), "Contributions to the modernization of fluid power field by integration of intelligent equipment", *Instytut Techniki Górniczej KOMAG*, Vol. 4, P. 39–47. DOI: <https://doi.org/10.32056/KOMAG2020.4.5>
7. Frolov, A. V. (2021), "The Experience of the Portal Machine Control System Modernizing for Automatic Arc Welding and Surfacing in a Shielded Gas", *Current Problems and Ways of Industry Development: Equipment and Technologies*, No. 7, P. 622–631. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-69421-0_66

8. Yakovenko, I., Permyakov, A., Naboka, O., Prihodko, O., Havryliuk, Y. (2020), "Parametric Optimization of Technological Layout of Modular Machine Tools", *DSMIE 2020: Advances in Design, Simulation and Manufacturing III*, Vol. 1, P. 85–93. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-50794-7_9
9. Wąsik, M., Lis, K., Lehrich, K., Mucha, Ł. (2018), "Model-Based Dynamic Structural Modification of Machine Tools", *Shock and Vibration*, Vol. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1155/2018/3469171>
10. Nevliudov, I., Yevsieiev, V., Demska, N., Novoselov, S. (2020), "Development of a software module for operational dispatch control of production based on cyber-physical control systems", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 4 (14), P. 155–168. DOI: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.14.155>
11. Osadchy, S., Demska, N., Oleksandrov, Y., Nevliudova, V. (2021), "Research of DIKW and 5C architectural models for creation of cyber-physical production systems within the concept of Industry 4.0", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 1 (15), P. 132–140. DOI: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2021.15.132>
12. Zakoldaev, D. A., Shukalov, A. V., Zharinov, I. O., Zharinov, O. O. (2019), "Modernization stages of the Industry 3.0 company and projection route for the Industry 4.0 virtual factory", *In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Vol. 537, Issue 3, P. 538–541. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/537/3/032005>
13. Pančík, J., Beneš, V. (2019), "IoT Challenge: Older Test Machines Modernization in an Automotive Plant", *Smart Technology Trends in Industrial and Business Management*, P. 85–100. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-76998-1_7
14. Yevsieiev, V. V. (2021), "Methods and models of cyber-physical process control in organizational and technical production facilities" ["Metody ta modeli kiber-fizychnoho keruvannya protsesamy v orhanizatsiino-tekhnichnykh vyrobnychkykh ob'ektakh"]: avtoref. dis. ... Dr. Tech. Sciences, Kharkiv, NURE, 45 p., available at : <https://openarchive.nure.ua/handle/document/16097>
15. Nevliudov, I., Yevsieiev, V., Lyashenko, V., Ahmad, M. A. (2021), "GUI Elements and Windows Form Formalization Parameters and Events Method to Automate the Process of Additive Cyber-Design CPPS Development", *Advances in Dynamical Systems and Applications*, No. 16 (2), P. 441–455, available at : <https://www.ripublication.com/adsa21/v16n2p04.pdf>

Надійшла (Received) 28.08.2021

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Невлюдов Ігор Шакирович – доктор технічних наук, професор, Харківський національний університет радіоелектроніки, завідувач кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки, Харків, Україна; email: igor.nevliudov@nure.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9837-2309>.

Невлюдов Игорь Шакирович – доктор технических наук, профессор, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, заведующий кафедрой компьютерно-интегрированных технологий, автоматизации и мехатроники, Харьков, Украина.

Nevliudov Igor – Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Kharkiv National University of Radio Electronics, Head of the Department of Computer-Integrated Technologies, Automation and Mechatronics, Kharkiv, Ukraine.

Євссєєв Владислав В'ячеславович – доктор технічних наук, доцент, Харківський національний університет радіоелектроніки, професор кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки, Харків, Україна; email: vladyslav.yevsieiev@nure.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2590-7085>.

Евсеев Владислав Вячеславович – доктор технических наук, доцент, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, профессор кафедры компьютерно-интегрированных технологий, автоматизации и мехатроники, Харьков, Украина.

Yevsieiev Vladyslav – Doctor of Sciences (Engineering), Associate Professor, Kharkiv National University of Radio Electronics, Professor of the Department of Computer-Integrated Technologies, Automation and Mechatronics, Kharkiv, Ukraine.

Демська Наталія Павлівна – кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний університет радіоелектроніки, доцент кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки, Харків, Україна; email: demska.nataliia@nure.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9931-9964>.

Демская Наталья Павловна – кандидат технических наук, доцент, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, доцент кафедры компьютерно-интегрированных технологий, автоматизации и мехатроники, Харьков, Украина.

Demska Nataliia – PhD (Engineering Sciences), Associate Professor, Kharkiv National University of Radio Electronics, Associate Professor of the Department of Computer-Integrated Technologies, Automation and Mechatronics, Kharkiv, Ukraine.

Стародубцев Микола Григорович – кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний університет радіоелектроніки, доцент кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки, Харків, Україна; email: nikolaj.starodubcev@nure.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7856-5771>.

Стародубцев Николай Григорьевич – кандидат технических наук, доцент, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, доцент кафедры компьютерно-интегрированных технологий, автоматизации и мехатроники, Харьков, Украина.

Starodubcev Nikolaj – PhD (Engineering Sciences), Associate Professor, Kharkiv National University of Radio Electronics, Associate Professor of the Department of Computer-Integrated Technologies, Automation and Mechatronics, Kharkiv, Ukraine.

РЕШЕНИЕ ВОПРОСА МОДЕРНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КИБЕР-ФИЗИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Постоянное совершенствование парка технологического оборудования, в условиях существующего производства, является сложной задачей, при решении которой необходимо учитывать много параметров, таких как механизация, автоматизация и применение новых технологий в рамках концепции Industry 4.0. Одним из эффективных методов повышения технико-экономических показателей и надежности производства является модернизация существующего технологического оснащения, которая основывается на необходимости использования современных методов разработки и внедрения информационных технологий, таких как Industrial Internet of Things, кибер-физических производственных систем. **Предметом** данного исследования является апробация методов разработки аддитивного кибер-дизайна для автоматизации сложного промышленного оборудования. **Целью** данной статьи является разработка кибер-физической производственной системы управления, для модернизации прессы гидравлического DA2238B. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**: провести анализ технических характеристик и системы управления прессы гидравлического DA2238B; провести исследование схемы гидравлической принципиальной на базе которой выбрать датчики и исполнительные механизмы, а также режимы работы; разработать схему включения гидро-оборудования; разработать автоматизированную систему управления на базе современного одноплатающего компьютера и разработать интуитивно понятный аддитивный кибер-дизайн интерфейса оператора; провести экспериментальные исследования. **Выводы**: в результате исследований была разработана структурная схема и реализована автоматизированная система управления на базе LattePanda. Выбраны датчики давления и температуры для контроля процессов прессования, что позволило обеспечить точное соответствие требованиям технологического процесса. Разработано автоматизированное рабочее место оператора, в котором реализовано сенсорное управление на базе аддитивного кибер-дизайна. Разработанная система управления обеспечивает: сбор и анализ производственных данных, на базе которых можно усовершенствовать технологию производства и обеспечить прогнозирование достижения "Lean Manufacturing".

Ключевые слова: Industry 4.0; Smart Manufacturing; кибер-физические производственные системы; аддитивный кибер-дизайн; модернизация.

SOLVING THE ISSUE OF MODERNIZATION OF PRODUCTION EQUIPMENT USING CYBER-PHYSICAL MANUFACTURING CONTROL SYSTEMS

Continuous improvement of the fleet of technological equipment, in the conditions of existing production, is a difficult task, the solution of which must take into account many parameters, such as mechanization, automation and application of new technologies within the concept of Industry 4.0. One of the effective methods of improving the technical and economic indicators and reliability of production is the modernization of existing technological equipment, which is based on the need to use modern methods of development and implementation of information technology, such as Industrial Internet of Things, cyber-physical production systems. The **subject** of this study is the testing of methods for developing additive cyber design for automation of complex industrial equipment. The **goal** of this article is to develop a cyber-physical production control system for the modernization of the DA2238B hydraulic press. To achieve this goal it is necessary to solve the following **tasks**: to analyze the technical characteristics and control system of the hydraulic press DA2238B; to carry out research of the scheme of hydraulic basic and, taking it into account, to choose sensors and executive mechanisms, and also operating modes; to develop the scheme of inclusion of the hydro equipment; to develop an automated control system based on a modern single-board computer and to develop an intuitive additive cyber-design of the operator interface; to conduct experimental research. **Conclusions**: as a result of research, a block diagram was developed and an automated control system based on LattePanda was implemented. Selected pressure and temperature sensors for control of pressing processes, which allowed to ensure accurate compliance with the requirements of the technological process. An automated operator's workplace has been developed, in which touch control based on additive cyber-design has been implemented. The developed control system provides: collection and analysis of production data on the basis of which it is possible to improve production technology and to provide forecasting of achievement "Lean Manufacturing".

Keywords: Industry 4.0; Smart Manufacturing; cyber-physical production systems; additive cyber design; modernization.

Бібліографічні описи / Bibliographic descriptions

Невлюдов І. Ш., Євсєєв В. В., Демська Н. П., Стародубцев М. Г. Вирішення питання модернізації виробничого обладнання з використанням кібер-фізичних виробничих системи керування. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2021. № 3 (17). С. 106–116. DOI: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2021.17.106>

Nevliudov, I., Yevsieiev, V., Demska, N., Starodubcev, N. (2021), "Solving the issue of modernization of production equipment using cyber-physical manufacturing control systems", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 3 (17), P. 106–116. DOI: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2021.17.106>