

М.С. ЧЕРНЮК, магістрант, М.П.ТИХАНСЬКИЙ, канд. техн. наук, доц.,  
Л.І. ЄФІМЕНКО, канд. техн. наук, доц., Криворізький національний університет

## РІШЕННЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ НА ОСНОВІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ WONDERWARE ДЛЯ КОНВЕРТОРНОГО ВИРОБНИЦТВА СТАЛІ

**Мета.** Метою цієї роботи є впровадження існуючого програмного забезпечення Wonderware та дослідження інтегрування програмних продуктів у автоматизовану систему керування конверторним виробництвом сталі, що дасть можливість надати широкий спектр рішень з автоматизації для різних галузей промисловості. Дана робота створює умови для підвищення техніко-економічних показників за рахунок більш ефективного управління технологічними процесами, тому удосконалення та впровадження MES-систем є актуальною задачею.

**Методи дослідження.** Для вирішення цього завдання виконано аналіз існуючих систем автоматизації виробничих процесів вітчизняних та закордонних вчених. Задачі вирішувалися з використанням сучасних методів управління технологічними та виробничими процесами в сталеплавильному виробництві, математичного моделювання. З використанням методу пасивного експерименту досліджено можливості та переваги Wonderware.

**Наукова новизна.** На основі аналізу існуючих систем та рішень з автоматизації виробничих процесів виявлена необхідність більш тісної взаємодії MES-систем із суміжними інформаційними системами підприємства для підвищення ефективності виробничих процесів. Запропоновані системи управління виробництвом і технологічна платформа Wonderware допомагають досягти максимальних робочих характеристик і ефективності виробництва.

**Практична значимість.** На підставі результатів, отриманих у роботі, можна удосконалити системи управління процесом конверторного виробництва сталі шляхом модернізування існуючої системи за рахунок впровадження рішень автоматизації на основі програмного забезпечення Wonderware та виконати такі завдання: збір, обробки та обміну основної інформації з іншими системами конверторного виробництва. Результати дослідження можуть використовуватися на підприємствах, які займаються розробкою систем управління. Тому, розробка новітніх рішень автоматизації керування виплавою сталі є доцільною з технічної й експлуатаційної точок зору.

**Результати.** Для вирішення задач автоматизації на основі програмного забезпечення Wonderware для конверторного виробництва розглянуто її основні властивості, компоненти, особливості впровадження в інших галузях промисловості. В роботі показана можливість впровадження технології Wonderware для конверторного виробництва сталі ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», що створює умови для підвищення техніко-економічних показників за рахунок більш ефективного управління технологічними та виробничими процесами. Для того, щоб збільшити продуктивність виробництва сталі необхідно провести додаткові дослідження та адаптувати дане програмне забезпечення для ефективного виробництва.

**Ключові слова:** конвертор, Wonderware, виробництво сталі, системи керування, автоматизація.

doi: 10.31721/2306-5435-2017-1-102-40-45

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** За останній час виявлена необхідність більш тісної взаємодії MES-систем із суміжними інформаційними системами, такими, як системи управління ланцюгами поставок, взаємодії з замовниками, фінансовими системами підприємства як всередині підприємства, так і між взаємодіючими підприємствами для підвищення ефективності виробничих процесів. Тому, системи оперативного управління виробництвом і технологічна платформа Wonderware, а також система партнерів Wonderware допомагають високопродуктивним організаціям досягти максимальних робочих характеристик і ефективності в ключових галузях виробництва, тому удосконалення та впровадження MES-систем є актуальною задачею.

**Аналіз досліджень та публікацій.** Розглянемо існуючі варіанти застосування сучасних технологій промислової автоматизації на прикладі одного з найбільших в Південній Африці підприємств – SCAW Metals, яка виробляє широкий асортимент сталевих виробів. Основні виробництва SCAW Metals - виплавка сталі, виготовлення сталевого прокату і ливарні роботи. SCAW Metals поставили перед виконавцем проекту наступні цілі: забезпечення високого ступеня керованості заводів з використанням звичайних SCADA/MES – технологій автоматизації, що мають системи оповіщення та моніторингу процесів; забезпечення гарантованого дотримання термінів проектів для кожного заводу; інтеграція систем на всіх заводах, включаючи інтеграцію шести локальних систем, збір даних з контролерів різних виробників (Siemens, Allen Bradley і т.д.), створення централізованої системи моніторингу, можливість модернізації ПЗ з єдиного центру. Застосування Wonderware в металургійному виробництві дасть можливість підвищити техніко-економічні показники всього виробництва.

Розглянемо систему управління машиною подачі кисню для конвертера 160 т на ПАТ

"Новолипецький металургический комбинат". АСУ ТП МПК №3 реалізовано на лінійці контролерів Allen-Bradley - ControlLogix. Система має багаторівневе резервування. Механічна частина - дві фурми для подачі кисню, одна знаходиться в положенні - заміна, інша в роботі.

Система управління машиною подачі кисню конвертерного цеху ВАТ «Дніпродзержинського меткомбінат», м. Дніпродзержинськ, Україна. Система керування фурмами побудована таким чином, що зберігається повна працездатність однієї фурми при проведенні профілактичних робіт на другій фурмі. Завдяки використанню в системі управління двох програмованих контролерів SIMATIC S7-300 по одному на кожну фурму, вдалося домогтися того, що кожна фурма є самостійним об'єктом управління [1-9, 16, 17].

Постановка завдання. З аналізу наведених робіт, встановлено, що в конверторному виробництві сталі програмне забезпечення Wonderware на даний час не використовується. Для того, щоб збільшити продуктивність виробництва сталі необхідно провести додаткові дослідження та адаптувати дане програмне забезпечення для ефективного виробництва. Для вирішення поставленого завдання необхідно модернізувати існуючу систему за рахунок впровадження рішень автоматизації конверторного виробництва на основі програмного забезпечення Wonderware та виконати такі завдання: збір основної інформації, обробки та обміну з іншими системами конверторного виробництва тощо.

Викладення матеріалу та результати. Для вирішення задач автоматизації на основі програмного забезпечення Wonderware для конверторного виробництва сталі розглянемо її основні властивості, компоненти, особливості впровадження в інших галузях промисловості та застосування та металургійного виробництва.

Програмний продукт Wonderware [10] використовується в різних галузях підприємства і різних сегментів ринку, його діяльність дуже поширена і спрямована на вдосконалення роботи.

Програмне забезпечення Wonderware задіяне в різних галузях промисловості, у тому числі: управління нерухомістю, харчової, гірничо-металургійної, електроенергетичної, нафти і газу та води і стічних вод. Компанія Wonderware є підрозділом компанії Invensys - провідного постачальника систем автоматизації та інформаційних технологій [10].

Компанія Klinkmann пропонує широкий асортимент програмних рішень для автоматизації виробництва і технологічних процесів, включаючи широко відоме в світі програмне забезпечення людино-машинного інтерфейсу InTouch, єдину індустріальну платформу System Platform для оптимальної інтеграції виробничих завдань і постійно змінюються потреби замовників, рішення класу SCADA/HMI, системи оперативного управління виробництвом (MES) і інструменти організації інтелектуального виробництва на підприємстві (EMI) та ін. Програмне забезпечення компанії успішно використовується для автоматизації промислових об'єктів в різних галузях промисловості, включаючи енергетичну, нафтову/газову, хімічну, металургійну, металообробку, целюлозно-паперову, харчову, водопостачання і каналізацію, транспортну, електронну та ін.

Розглянемо програмні продукти компанії Wonderware, центром Wonderware System Platform є «виробнича модель» - логічне уявлення фізичних процесів, керованих і контрольованих додатками Wonderware. Об'єктно-орієнтована технологія ArchestrA робить можливим конфігурацію, реєстрацію, доставку та підтримку інформації реального часу і архівної інформації простим натисненням кнопки миші.

Wonderware System Platform включає (рис. 1) високопродуктивний сервер історичних даних з архівацією історії виробництва, ефективною компресією даних і автоконфігурацією архівування, що виключає дублювання роботи, і сервер управління промисловою інформацією, який значно спрощує організацію і доставку оперативної інформації для використання всіма службами організації чи підприємства [10-11].

Більш детально розглянемо компоненти програмного забезпечення Wonderware. Wonderware Development Studio надає комплексний набір інструментів для швидкої розробки і розгортання додатків Wonderware. Ядром Development Studio служить інтегроване компонентне середовище розробки, в рамках якого інженерний персонал може займатися розробкою, тестуванням і розгортан-

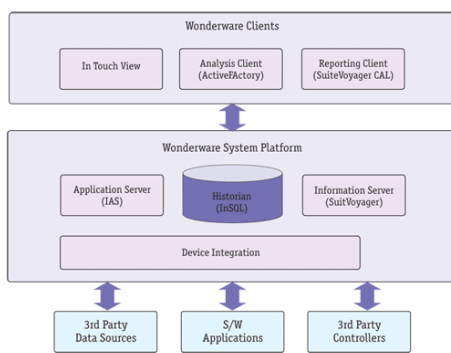


Рис. 1. Архітектура Wonderware System Platform

ням будь-яких промислових додатків автоматизації. Не покидаючи середовища розробки IDE, користувачі можуть створювати ефективні і складні графічні подання та включати їх у HMI, SCADA, MES додатки або системи виробничого інтелекту.

Програмний компонент Wonderware Historian є високопродуктивною базою даних реально-го часу для промислових підприємств, яка пропонує можливості розширення до 500 000 тегів, з ще більшою продуктивністю при пошуку даних. Historian можна конфігурувати як окрему систему збору та агрегації даних, чи як частину великої багаторівневої архітектури. Локальні засоби мають дані, що необхідні для докладного виявлення несправностей для того, щоб особи компанії, які приймають рішення, могли використовувати агреговані дані для порівняння продуктивності виконання робіт за участю кількох робітників.

Для географічно розподілених станцій Wonderware Historian є ідеальним рішенням завдяки своїй здатності підтримувати цілісність даних при обробці нестабільних, пізніх або окремих даних. Багатьом промисловим компаніям необхідний цілодобовий доступ до обробки даних, при цьому зберігаючи взаємну ізольованість керуючої та комерційної мереж. Wonderware Historian пропонує економічно вкрай вигідне рішення, яке задовольняє обом вимогам. Опція Redundant Historian (дублюючий архіватор) надає просте, економічно вигідне і доступне рішення, а також пропонує ефективну за вартістю взаємну ізоляцію керуючої та комерційної мереж. Завдяки доданій потужності та різнобічності Wonderware Historian Client, можна швидко візуалізувати порушення технологічних параметрів і прискорити прийняття рішень, пошук помилок і спроби оптимізації технологічного процесу виплавки сталі. Оскільки архіватор (Historian) підтримує SQL, дані процесу стають доступними для безлічі різних рішень щодо складання звітів. Historian є основним компонентом системної платформи та ArchestrA.

У даний час компонент Wonderware HMI Reports - це інтуїтивно зрозуміле і просте у використанні рішення для роботи з звітами з доступних на ринку. Wonderware HMI Reports дозволяє представляти різноманітні вихідні дані з Wonderware InTouch HMI і численних інших джерел в зручній уніфікованій формою звіту - швидко, легко, з мінімальними витратами.

Система Wonderware HMI Reports значно скорочує час складання звітів, спрощує внесення змін і дозволяє конвертувати необроблені дані в придатну для використання інформацію. Звіти тепер можна створювати просто, швидко та економічно, розміщуючи їх потім на вбудованому веб-порталі, де вони будуть доступні для потрібних користувачів в будь-якому місці і в будь-який час. Wonderware HMI Reports може працювати з інформаційним веб-порталом підприємства Wonderware Information Server або іншими джерелами даних, що забезпечує максимальну доступність до звітності в рамках усього підприємства та за його межами [12].

Wonderware Information Server надає єдине просте рішення по агрегуванню і поданням даних про функціонування та продуктивності підприємства через Інтернет або корпоративну мережу. З його допомогою навіть мінімально навчені фахівці, зможуть встановити, конфігурувати і впровадити високоефективний інформаційний веб-сайт підприємства, що виключає потребу у замовному програмуванні. За допомогою Information Server можна об'єднувати великі обсяги даних про процеси в змістовні виробничі звіти, що відповідають інформаційним потребам персоналу підприємства. Контент, отриманий від Wonderware Information Server, можна вбудувати в інші веб-портали, підвищуючи таким чином інформативність і корисність існуючого IT-порталу металургійного підприємства.

Технологія ArchestrA являє собою розвинену програмну архітектуру для вирішення завдань комплексної автоматизації металургійного підприємства та інформаційних служб. Архітектура ArchestrA, заснована на відкритих промислових стандартах, що використовує переваги найсучасніших технологій, призначена продовжити термін служби вже існуючих систем. Також використання єдиної платформи ArchestrA дозволяє об'єднувати продукти компанії Invensys Operations Management для інтеграції системи управління підприємством InFusion ECS. Технологія ArchestrA ґрунтується на останніх технологіях Microsoft.NET, забезпечуючи найбільш ефективний набір інструментів для розробки програмних рішень для критичних режимів управління технологічними операціями виплавки сталі, виробничою діяльністю та обладнанням.

Концепція побудови системи класу MES з використанням ПЗ Wonderware, де дані про хід виробничого процесу збираються з різних джерел - SCADA, PLC, ручне введення даних і т.п. Ці дані обробляються і зберігаються в централізованій базі даних. Бізнес-логіка обробки виробничих даних визначається налаштуванням функціональних компонентів системи - Wonderware

Operations і Wonderware Performance. У свою чергу, після обробки виробничих даних керуючі впливу можуть бути передані як на екрани операторів, так і безпосередньо в SCADA або PLC (рис. 2).

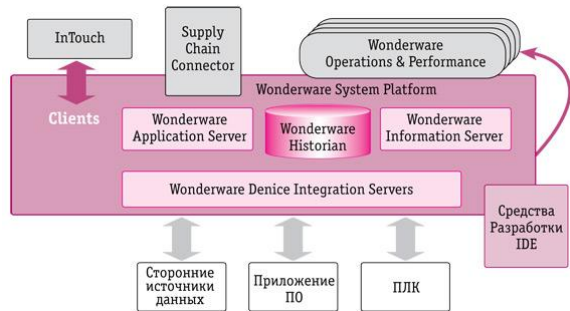


Рис. 2. Побудова MES на ПЗ Wonderware

Розглянемо застосування програмного продукту Wonderware для підприємств енергетичної галузі.

Маючи великий досвід і величезну базу встановленого програмного забезпечення для додатків генерації звітів, передачі та розподілу даних, корпорація Wonderware пропонує нову альтернативу традиційним системам SCADA - системну платформу Wonderware System Platform на основі техно-

нології ArchestrA. Фактори, як реструктуризація промисловості, скорочення витрат на виробництво електроенергії, зростаючий попит, інтеграція розподіленої генерації в системи енергопостачання, переміщують електроенергетичні компанії енергосистеми загального користування в динамічно складне навколишнє середовище, що вимагає забезпечити безперервний потік інформації в масштабованому, надійному та безпечному середовищі [13-15].

Розглянемо застосування програмного продукту Wonderware для підприємств нафтової та газової промисловості. Для досягнення максимальної ефективності при використанні технології Archestra, Wonderware запропонувала системну платформу System Platform як принципово нову альтернативу традиційним SCADA-системам в нафтовій і газовій промисловості.

За допомогою об'єднання різних додатків в єдину систему отримали істотну економію витрат для нафтової і газової промисловості, включаючи моніторинг виробництва, оптимізацію видобутку нафти і газу, поточний контроль і управління роботою трубопроводів.

Метою впровадження АСУП для конверторів конвертерного цеху ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» є створення умов для підвищення техніко-економічних показників роботи конвертерів за рахунок більш ефективного управління технологічними та виробничими процесами. При цьому ефективність управління досягається за рахунок застосування сучасних методів управління технологічними та виробничими процесами і використання новітніх технічних засобів автоматизації та програмного забезпечення в сталеплавильному виробництві. Пост машиніста дистрибутора, помітно відрізняється від попередньої моделі. Для візуального спостереження за технологічними процесами пульт обладнаний трьома моніторами, які за допомогою комп'ютерної графіки відображають все, що відбувається під час операції виплавки сталі в конверторі. Крім цього, зображення супроводжується звітними цифровими показниками параметрів технологічних процесів та виробничих процесів [13-17].

До впровадження засобів автоматизації машиніст дистрибутора керував процесом виплавки сталі маючи під рукою лише свідчення контрольно-вимірвальних приладів, при цьому якісні показники сталі, що виплавляється від плавки до плавки багато в чому залежали від досвіду і практичних навичок машиніста дистрибутора.

Зв'язок АСУП з АСУТП конвертерного цеху, передача інформації з АСУТП до сервера АСУП:

збір первинної обробки інформації з датчиків та первинних перетворювачів об'єктів конвертерного виробництва сталі;

дистанційне і логічне управління об'єктами автоматизації;

автоматичним регулювання об'єктами автоматизації;

автоматичним дозуванням матеріалів тракту сипучих та феросплавів;

обміну інформацією з іншими системами конвертерного цеху;

представлення інформації оперативному персоналу конвертерного цеху;

архівування (зберігання даних за тривалий період часу);

здійснення метрологічної повірки вимірвальних каналів і працездатності контролерів;

інструментальні (для супроводу системи, налаштування прикладних програм, інформаційної бази).

Зв'язок та передача інформації з сервера АСУП до АСУТП конвертерного цеху:

консолідація даних в єдиному сховищі;

створення централізованого архіву технологічної інформації конверторного виробництва;  
можливість ручного введення даних про стан технологічних процесів на об'єктах автоматизації, не обладнаних автоматизованими джерелами даних;  
обробка (математична, статистична, структурна) даних;  
надання інформації, що зберігається в системі, за допомогою автоматизованих робочих місць (АРМ);  
організація доступу до даних для суміжних систем за стандартними протоколами і інтерфейсів для різних рівнів управління конверторного виробництва;  
горизонтальна інтеграція різнорідних джерел даних, що входять до складу об'єктів автоматизації, на базі єдиної архітектурної та програмної платформи;  
вертикальна інтеграція різнорідних джерел даних, що входять до складу об'єктів автоматизації, з корпоративної інформаційною системою управління підприємства;  
своєчасне надання необхідної інформації керівникам усіх рівнів.

**Висновок та напрямки подальших досліджень.** Дослідження існуючого програмного забезпечення Wonderware показало, що є можливість доцільно впровадити та інтегрувати програмні продукти Wonderware і можливості партнерських компаній, дозволять надати широкий спектр рішень для різних галузей промисловості.

Від систем диспетчерського контролю та управління до комплексних систем оперативного управління – Wonderware пропонує технічні рішення для різних виробничих процесів, включаючи виробництво хімічних препаратів, нафтову, гірничо-металургійну, газову та фармацевтичну промисловість.

Завдяки системній платформі Wonderware, побудованій на технології ArchestrA і програмним рішенням Operations & Performance – клієнти Wonderware, пов'язані з автоматизацією промислового виробництва, отримали можливості для збільшення продуктивності, рентабельності виробництва та ефективності функціонування підприємства в цілому.

Від функцій збору даних, складання звітів і візуалізації процесів до передових систем управління процесами дозування й змішування, прикладними процесами та оперативного управління виробництвом - програмні рішення Wonderware дозволили задовольнити найвищі вимоги додатків промислової автоматизації.

Можливе впровадження технології Wonderware для конверторного виробництва сталі конвертерного цеху ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» є створення умов для підвищення техніко-економічних показників роботи конвертерів за рахунок більш ефективного управління технологічними та виробничими процесами.

Дослідження впровадження програмного продукту Wonderware необхідне для того, щоб збільшити продуктивність виробництва сталі та необхідно провести додаткові дослідження та адаптувати дане програмне забезпечення для ефективного виробництва сталі та для цього потрібно створити рішення автоматизації конверторного виробництва на основі програмного забезпечення Wonderware.

### *Список літератури*

1. Автоматизовані системи керування процесами термічної обробки обкотитів на конвеєрній випалювальній машині: **В.Й. Лобов, Л.І. Єфіменко, М.П. Тиханський, С.А. Рубан.** – Кривий Ріг: Видавець ФО-П Чернявський Д.О., 2015. -236с.
2. Автоматизовані системи керування конвеєрними установками. / **В.Й. Лобов, Л.І. Єфіменко, М.П. Тиханський, С.А. Рубан.**- Кривий Ріг: Видавничий центр ДВНЗ «Криворізький національний університет. 2015. -450с.
3. **Єфіменко Л.І., Тиханський М.П.** Моделювання навантаження на опорні конструкції важких стрічкових конвеєрів / Вісник КНУ: Кривий Ріг. 2013. - Вип. 34. - С. 34-37
4. Автоматизация без Wonderware – деньги на ветер [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://isup.ru/articles/5/3197/>.
5. Система управления машиной подачи кислорода для конвертера 160 т // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.intechcom.ru/projects/mashinostroenie-i-metallurgiya/sistema-upravleniya-mashinoy-podachi-kisloroda-dlya>
6. Электроприводы и система управления машины подачи кислорода конвертерного цеха ОАО «Днепрдзержинского меткомбината» // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://tra5.com.ua/электроприводы-и-система-управления-2/>
7. Развитие систем автоматизации от SCADA к MES на базе современных технологий от Invensys Wonderware [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [http://www.remmag.ru/admin/upload\\_data/remmag/07-5/Klinkmann.pdf](http://www.remmag.ru/admin/upload_data/remmag/07-5/Klinkmann.pdf).
8. Создание системы сбора и обработки параметров технологических процессов производства электроэнергии и тепла, автоматизация деятельности служб [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [http://appau.org.ua/files/98/Wonderware\\_sstory\\_Kvadra\\_ru\\_0113.pdf](http://appau.org.ua/files/98/Wonderware_sstory_Kvadra_ru_0113.pdf).

9. Развитие систем автоматизации от SCADA к MES на базе современных технологий от Invensys Wonderware [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: [http://www.remmag.ru/admin/upload\\_data/remmag/07-5/Klinkmann.pdf](http://www.remmag.ru/admin/upload_data/remmag/07-5/Klinkmann.pdf)

10. Официальный сайт Wonderware [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://www.wonderware.ru>.

11. Опыт внедрения MES-системы Wonderware на металлургическом заводе [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: [http://mescenter.ru/mesaconf/presentations/mesa2009\\_127\\_kondratiev\\_wonderware.pdf](http://mescenter.ru/mesaconf/presentations/mesa2009_127_kondratiev_wonderware.pdf).

12. Wonderware MES 2014 [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://wonderwarepacwest.com/uploads/2014/10/MES2014.pdf>.

13. Production and Inventory Management is an Integral Part of Wonderware MES/Operations [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.wonderware.com/manufacturing-operations-management/manufacturing-execution-svstem-operations/>.

14. Wonderware MES 4.0/Operations and Performance Software [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://software.schneider-electric.com/pdf/datasheet/wonderware-mes-4-operations-and-performance-software/>.

15. Wonderware MES - Managing the transformation of materials into finished products in real time [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://software.schneider-electric.com/pdf/datasheet/wonderware-mes-operations/>.

16. Jämsä-Jounela S-L., Current status and future trends in the automation of Mineral and Metal Processing, 2001, Control Eng. Practice, (9), pp 1019-1024.

17. L.G. Bergh, P. Chacana and C. Carrasco, Diagnosis and control strategy for a teniente converter, 2005, Caletones Smelter, El Teniente Division, Codelco-Chile.

Рукопис подано до редакції 20.03.17

УДК 621.314

И.О. СИНЧУК, канд. техн. наук, доц., Криворожский национальный университет

## О ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГИДРОАККУМУЛИРУЮЩИХ МИНИЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В КОМПЛЕКСЕ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

**Цель.** Целью работы является оценка возможностей, уровня целесообразности и эффективности включения в структуру систем электроснабжения железорудных шахт автономных источников электрической энергии – мини-гидроаккумулирующих электростанций на базе водоотливных установок.

**Методы исследования.** Анализ реальных графиков потребления электрической энергии железорудными предприятиями, на примере железорудных шахт Криворожского железорудного бассейна. Оценка разниц в оплате за потребляемую предприятиями энергию в ночное и дневное время.

**Научная новизна.** Обосновано направление реализации этого процесса путем применения автономных источников производства электрической энергии в структуре систем электроснабжения железорудных предприятий. Предлагается использовать в структуре систем энергосбережения железорудных предприятий энергию солнца и воздуха.

**Практическая значимость.** Учитывая, что одним из значимых по уровню потребления электрической энергии является процесс откачки воды с подземных горных выработок – водоотлив, предложено использовать этот комплекс для выравнивания графика потребления электрической мощности, для чего, в частности, как вариант, рекомендовано использовать гидроаккумулирующие миниэлектростанции.

**Результаты.** Применение минигидроэлектростанций использующих энергию естественного водопритока в системах электроснабжения железорудных шахт позволило существенно выравнивать суточные графики электропотребления, повысить эффективность использования энергии и значительно снизить оплату генерирующим организациям за потребленную электроэнергию этих видов предприятий.

**Ключевые слова:** энергоэффективность, гидроаккумуляция, электрическая энергия, горные предприятия, энергосбережение.

doi: 10.31721/2306-5435-2017-1-102-45-51

**Проблема и ее связь с научными и практическими заданиями.** Крупнейшим источником добычи (около 90% общегосударственного), наличия потенциала и обеспечения основной части экспорта железорудного сырья (ЖРС) (до 65%) в Украине служит и будет служить еще минимум 50-85 лет Криворожский железорудный бассейн [1,2]. За почти 250 лет добычи в Криворожском регионе ЖРС глубины добычи при подземном способе достигли запроектных значений 1500-1750 м с перспективой до 2500 м, а в карьерах практически до 500 м [3,4]. Эти показатели, наряду с другими факторами, в силу естественных причин, внесли свои значимые отрицательные коррективы в экономические показатели процесса добычи ЖРС [1].

Понижение глубин добычи ЖРС, а так же ряд других в т. ч. вышеотмеченных технологиче-