

СИСТЕМА ЕНЕРГОМОНІТОРИНГУ ТА УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯМ НА ПІДЗЕМНОМУ ВИДОБУТКУ ВУГІЛЛЯ

Г. Г. Півняк, В. В. Ткачов, В. Т. Заїка

Національний гірничий університет, Дніпропетровськ

Надійшла до редакції 28.03.06

Резюме: Проаналізовано рівень використання гірничих машин і установок в процесі видобутку вугілля за критерієм енерговитрат. Встановлено, що потужність приводів на даний час зросла в десятки разів і досягла для комбайнів 710 кВт, для дільничних скребкових та стрічкових магістральних конвеєрів, а також прохідницьких комплексів – 400–500 кВт, проте це не призвело до зниження питомої витрати електроенергії на процесах, пов'язаних з вуглевидобутком. Навпаки, простежується стійка тенденція до її збільшення. За результатами наукових експериментів резерви електрозбереження на дільницях видобутку вугілля складають 13–19 %, на магістральному конвеєрному транспорті 12–57 %, на водовідливі 3–10 %. Для використання цих резервів запропонована система енергоконтролю та управління підземним електропостачанням шахти (СЕУПЕШ). СЕУПЕШ реалізується на платформі сучасних комп'ютерних технологій. Доведено, що СЕУПЕШ за рахунок створення достовірної бази даних щодо електроспоживання дасть можливість організувати оперативну і довгострокову роботу з енергозбереження на основних дільницях та підняти рівень управління і безпеки експлуатації підземного електроенергетичного комплексу шахти. Окупність СЕУПЕШ на шахтах з видобутком вугілля 1,0–1,2 млн т/рік складає 12–15 місяців.

Ключові слова: гірничі машини, електропостачання, потенціал енергозбереження, енергоконтроль, управління, система.

Г. Г. Пивняк, В. В. Ткачов, В. Т. Заика. СИСТЕМА ЭНЕРГОМОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕМ НА ПОДЗЕМНОЙ ДОБЫЧЕ УГЛЯ.

Резюме: Проведен анализ уровня использования горных машин и установок в процессе добывания угля по критерию энергозатрат. Установлено, что мощность приводов к настоящему времени выросла в десятки раз и достигла для комбайнов 710 кВт, для забойных и магистральных конвейеров, а также проходческих комплексов – 400–500 кВт, но это не привело к снижению удельного расхода электроэнергии на процессах, связанных с угледобычей. Наоборот, прослеживается устойчивая тенденция к его увеличению. По результатам научных экспериментов резервы электросбережения на участках добычи угля составляют 13–19 %, на магистральном конвейерном транспорте 12–57 %, на водотливе 3–10 %. Для использования этого потенциала предложена система энергомониторинга и управления подземным электроснабжением шахты (СЭУПЭШ). СЭУПЭШ реализуется на платформе современных компьютерных технологий. Доказано, что СЭУПЭШ за счет создания достоверной базы данных электропотребления позволит организовать оперативную и долгосрочную работу по энергосбережению на основных участках и поднять уровень управления и безопасности эксплуатации подземного электроэнергетического комплекса шахты. Окупаемость СЭУПЭШ на шахтах с добычей 1,0–1,2 млн т угля за год составляет 12–15 месяцев.

Ключевые слова: горные машины, электроснабжение, потенциал энергосбережения, энергоконтроль, управление, система.

G. G. Pivnyak, V. V. Tkachov, V. T. Zaika. CONTROL SYSTEM OF POWER SUPPLY IN UNDERGROUND COAL MINING.

Abstract: Use level analysis of mining machines and plants by criterion of energy consumption for coal production is adduced in the article. It is noted that installed drive capacity has increased dozens of times more and has amounted to 710 kW of coal-plough machines, 400–500 kW of longwall and trunk conveyors and tunnel complexes, but it has not resulted in coal mining energy intensity reduction. On the contrary, steady tendency to increase is traced. According to experimental results energy saving reserves amount to 13–19 % for production units, 12–57 % for trunk conveyor transport, 3–10 % for pumping. Control system of underground mining power supply (CSUMPS) is offered for using of the reserves. CSUMPS is based on up-to-date computer technologies. It is noted that CSUMPS allows to organize effective long-term energy saving work at main units and raise level of control and underground electric system operational safety owing to making of reliable electric energy demand database. Pay-back period of the system is 12–15 months at mines with 1,0–1,2 million tons annual output.

Keywords: mining machines, power supply, energy saving reserves, energy usage control, system.

1. СТАН ПРОБЛЕМИ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ПРОЕКТУ

Нині в Україні нараховується більше ста достатньо потужних шахт. Видобуток вугілля здійснюється здебільшого комплексно-механізованими лавами за допомогою потужної техніки. Від часів появи у 1950-і роки першої врубової машини "Урал-2" з електродвигуном 16 кВт потужність приводу вугледобувних комбайнів (наприклад, комбайн КДК-700) на сьогодні досягла 710 кВт, скребкових конвеєрів (конвеєр КСД-28) – 500 кВт, сучасних прохідницьких комплексів – до 400–500 кВт, магістральних конвеєрних установок – 500 кВт і більше. Проте, незважаючи на використання потужної і високопродуктивної техніки в галузі, ще за часів СРСР з'явилася стійка тенденція до зростання питомої витрати електроенергії (ЕЕ) на видобуток вугілля. Особливо це проявилось в період спаду виробництва, коли видобуток вугілля впав до 70 млн т на рік. Питома витрата ЕЕ досягла у середньому по галузі 135 кВт-год/т (1997 р.), а частка ЕЕ в собівартості видобутку вугілля залежно від вуглевидобувного регіону України досягла 7–21 % (2000 р.).

Дослідження за допомогою розробленої в Національному гірничому університеті (НГУ) системи оптимізації електроспоживання

(СОЕ) [1] підтвердили низький рівень використання електроенергії гірничою технікою та устаткуванням систем підземного електропостачання (СПЕП). Водночас ця енергія використовується не ощадливо, тому є значний резерв для збереження електроенергії, а також можливість підвищення продуктивності на більшості дільниць підземного видобутку вугілля за рахунок зменшення часу на відновлення електропостачання при неселективному спрацюванні захистів від пошкоджень в СПЕП. Щоб реалізувати ці резерви і покращити стан використання електроенергії, потрібен облік ЕЕ за допомогою приладів і надійне управління на різних рівнях електропостачання. Проте саме на підземному виробництві облік ЕЕ не ведеться, а сучасні системи контролю й управління практично неіснують, хоча з появою нової більш потужної техніки і зростанням у зв'язку з цим електроспоживання ціна помилок зростає через збільшення тривалості перерв електропостачання та використання менш ефективних з енергетичної точки зору режимів і технологій видобутку вугілля.

2. МЕТА ПРОЕКТУ

Кінцевою метою розглядуваного проекту є вирішення проблеми використання потенційних можливостей щодо підвищення рівня енерго-

ефективності потужної вугледобувної техніки за рахунок оперативного контролю й дистанційного управління розподільним устаткуванням СПЕП шахти.

Розробка та впровадження "інтелектуальної" системи енергомоніторингу та управління підземним електропостачанням шах-

ти (далі – СЕУПЕШ) з такими функціями дасть можливість усім інженерним службам на шахті отримувати оперативну інформацію про режим роботи та споживання енергії важливими енергоємними об'єктами і на цій основі організувати реальну роботу по енергозбереженню. Дистанційне управління і

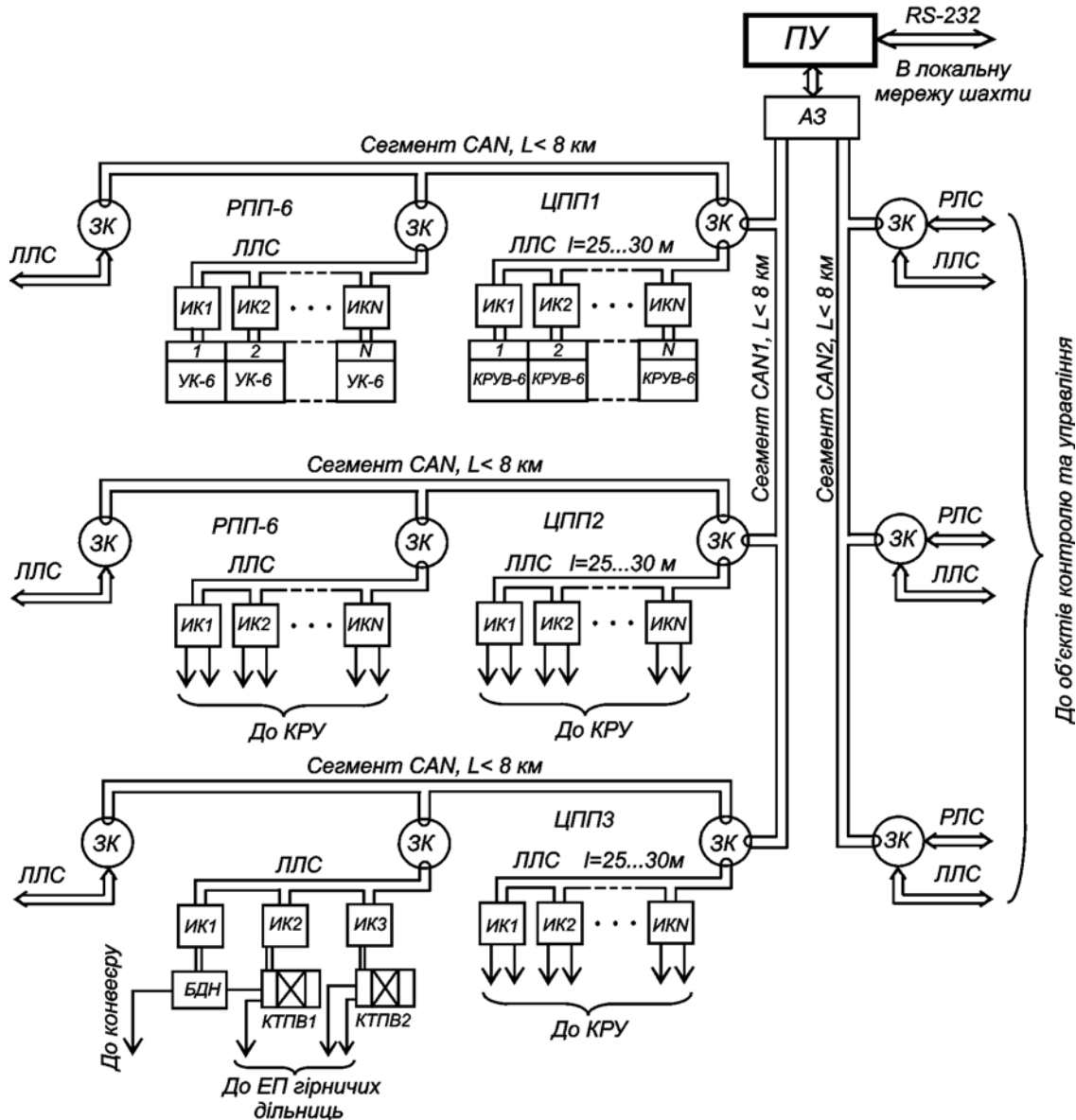


Рис. 1. Структурна схема територіально-розподіленої системи енергомоніторингу та управління розподільним устаткуванням СПЕП

контроль за станом розподільного устаткування СПЕП дасть можливість скоротити час на включення-відключення комплектного розподільного устаткування (КРУ) будь-якого розподільного підземного пункту (РПП) чи центральної підземної підстанції (ЦПП) у нормальному режимі експлуатації, а також на пошук відмов і відновлення електропостачання на підземних дільницях у післяаварійних ситуаціях. Безперервний моніторинг завантаження електрообладнання гірничих машин і СПЕП дасть змогу поступово оптимізувати за потужністю і кількістю парк підземних підстанцій, параметри кабельних ліній, потужність електроприводу енергоємних установок, уникнути їх перегрівання та пошкодження і зменшити ймовірність виникнення пожеж та вибухів на шахтах.

3. ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ І ХАРАКТЕРИСТИКА СЕУПЕШ

Цільове призначення СЕУПЕШ – виконання автоматизованого управління і контролю за станом високовольтних КРУ типу КРУВ-6 та УК-6, а також розгалужений детальний і систематизований технічний облік витрат електроенергії як групою користувачів виробничих дільниць, так і окремими потужними установками, що використовуються на шахтах та рудниках, у тому числі на вибухонебезпечних.

Особливістю побудови систем на базі інформаційних технологій є те, що частина вузлів обробки інформації і формування команд з верхніх рівнів переноситься на нижні. Це скорочує час на їх монтаж при одночасному, доволі різкому зменшенні витрат кабельної продукції. Перенесення "інтелекту" на нижні рівні створює також передумови для проведення глибокої діагностики устаткування, що дає можливість різко підвищити надійність систем та поліпшити експлуатаційні характеристики як технологічних установок,

так і власне систем контролю й управління. І саме цей принцип повною мірою був використаний при побудові СЕУПЕШ.

За функціональним призначенням в системі виділено (рис. 1) три ієрархічних рівня (підсистеми):

- рівень I (нижній) – підсистема енергоконтролю потужних установок і технологічних процесів та управління високовольтними КРУ (базові елементи: індивідуальні контролери ІК, трансформатори струму (ТА) та напруги (ТВ), які вбудовані в шафи КРУ, а для низьковольтних приєднань зібрані в блок датчиків навантаження (БДН);
- рівень II (середній) – підсистема зв'язку та обміну інформацією (базові елементи: збірні контролери (ЗК), ретрансляційні (РЛС) і локальні (ЛЛС) лінії зв'язку, а також типу польової шини CAN-bus, лінійні модулі, один з яких, а саме адаптер зв'язку АЗ наведений на рис. 1;
- рівень III (верхній) – пульт управління (ПУ) – підсистема проблемної обробки інформації та прийняття рішень. Основним елементом його є промисловий комп'ютер (ПК) або ПЕОМ зі спеціальним програмним забезпеченням і комунікаційним обладнанням.

Кожна підсистема є "інтелектуальною" і має відповідний склад технічних засобів, програмне, методичне та інформаційне забезпечення.

Складові елементи СЕУПЕШ. Система (див. рис. 1) утворюється на базі сучасних комп'ютерних технологій з використанням досвіду і основних ключових моментів та ідей попередніх розробок НГУ – системи автоматизованого управління конвеєрними лініями (САУКЛ) [2] і СОЕ [3].

Контролери ІК вмонтовуються в шафи КРУ, з яких побудовані ЦПП і РПП. Вони встановлюються в кожному КРУ і забезпечують вимірювання активної та реактивної по-

тужності, облік спожитої електроенергії, контролюють стан КРУ і причини відключення, передають цю інформацію збірному контролеру.

Збірний контролер з іскробезпечним джерелом живлення встановлюється в камерах підстанцій і обслуговує звичайно від 8 до 16 КРУ. Завданням ЗК є обробка інформації з контролерів ІК і передача її на пульт управління.

Пульт управління системи СЕУПЕШ – це ПЕОМ зі спеціальним програмним забезпеченням, яке сумісно з пристроями сполучення (АЗ), лінійними модулями і лініями зв'язку (ЛС, РЛС, ЛЛС) об'єднує всі апаратні засоби в єдину розподілену систему.

Основні функції СЕУПЕШ

За допомогою спеціального програмного забезпечення СЕУПЕШ здатна виконувати цілу низку корисних функцій, а саме:

з управління:

- 1) автоматизоване управління високовольтними КРУ;
- 2) розшифровка причин відключення КРУ і електронне документування;
- 3) графічне відображення стану КРУ і характеристик електроспоживання;

з енергомоніторингу:

- 1) облік витрат ЕЕ на виробничих дільницях, комплексах і установках;
- 2) автоматичне формування бази даних про витрати ЕЕ окремими споживачами або їх групами;
- 3) контроль за нормами витрат ЕЕ;
- 4) контроль за завантаженням ліній і устаткуванням по активній та реактивній потужності (струму).

З викладеного вище випливає, що система СЕУПЕШ є інтегрованою. Вона одночасно виконує функції енергомоніторингу й автоматизованого управління комплектними розподільними пристроями в системі підземного електропостачання. СЕУПЕШ слугує як для підвищення рівня енерговикористання гірничої техніки, так і для зниження тривалості простоїв основних виробничих дільниць в результаті більш швидкого виявлення пошкоджень і скорочення часу відновлення електропостачання після аварій або помилкових відключень. Для цієї системи характерним є те, що об'єднання окремих її елементів і підсистем в єдине ціле здійснюється за допомогою відповідного програмного забезпечення і ліній зв'язку.

Перспективним рішенням цієї проблеми є польова шина CAN-bus і програмне середовище CANopen (рис. 2). Система організації мережі базується на послідовній CAN-шині. Сімейство профілів CANopen забезпечує стандартні механізми зв'язку і функціонування різних пристроїв, що дає змогу вести управління в реальному масштабі часу і спрощує інтеграцію на системному рівні.

Як видно з рис. 2 система має деревовидну структуру, що обумовлює наявність маршрутизаторів інформації, а значна протяжність ліній зв'язку викликає необхідність використання ретрансляторів. Всі підключення до системи передачі інформації здійснюються через універсальний для всіх пристроїв термінал.

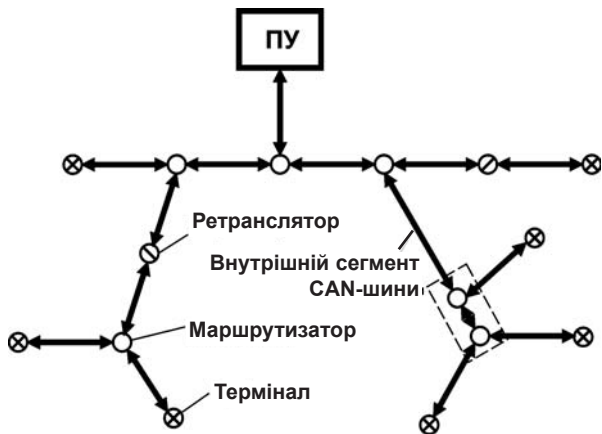


Рис. 2. Система передачі інформації з деревовидною структурою

Особливістю системи є те, що формування, передачу і приймання повідомлень здійснює спеціальний CAN-процесор. Повідомлення не містять адреси пристрою (приймача), а містять ідентифікатор даних. Таким чином, одне повідомлення може бути прийняте і прочитане кількома пристроями, CAN-процесор фільтрує всі потрібні повідомлення без використання ресурсів центрального процесора.

4. ПЕРЕВАГИ СЕУПЕШ У ПОРІВНЯННІ З АНАЛОГАМИ

В Україні такого рівня технічні пристрої створюються вперше. Аналоги, які існують на діючих шахтах, виконують незначну частку функцій СЕУПЕШ, морально та фізично застаріли, великі за розмірами і мають дуже низькі показники надійності.

СЕУПЕШ має вищу гнучкість і надійність функціонування, кращі масогабаритні показники та метрологічні характеристики (прогнозована похибка, без урахування внеску первинних датчиків, не перевищує 2,5 %), забезпечує діагностику електроустаткування,

потрібну глибину контролю, має зручний для користувача ("дружній") інтерфейс і не поступається розробкам такого ж цільового призначення, зробленим в розвинутих країнах, наприклад Німеччині. Досягнуто все це за рахунок застосування способів і технічних рішень, які захищені авторськими свідоцтвами та патентами.

Наприклад, в [4] показано, що в підземних електричних мережах, які мають рівномірне по фазах навантаження, але обмежену кількість первинних датчиків у електромережному вибухозахищеному обладнанні, необхідну "глибину" контролю потоків ЕЕ можна забезпечити за допомогою принципово нового методу – імітації схем підключення трансформаторів струму і напруги на основі формування дискретних обчислювальних моделей і перетворення векторів контрольованих напруги і струму.

У рамках вирішення цієї задачі показана можливість використання для енергоконтролю первинних датчиків, вмонтованих у КРУ і комплектні вибухозахищені трансформаторні підстанції (КТПВ). Для цього були роз-

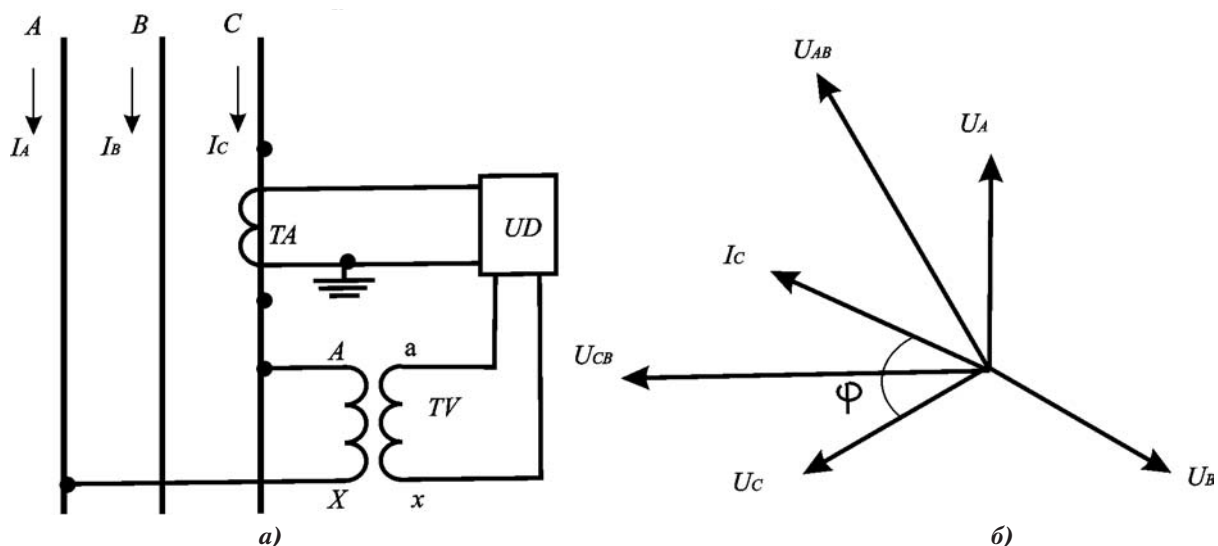


Рис. 3. Схема підключення трансформаторів TA і TV (а) та векторна діаграма (б) струму і напруги, які контролюються

роблені схеми сполучення вимірювальних каналів аналогового і цифрового типу (*UD*) з іскробезпечними ланцюгами відповідних первинних датчиків для трьох вузлових точок: на приєднаннях напругою 0,38–1,14 кВ потужних ЕП, трансформаторних підстанціях КТПВ і на високовольтних приєднаннях КРУ.

Відповідно до схеми, яка зображена на рис. 3 і для якої вимір потужностей за класичними схемами неможливий, обчислювальні моделі для одержання інформації про активну \tilde{P} і реактивну \tilde{Q} потужності за період промислової частоти з низьковольтних приєднань при мінімальній кількості первинних перетворювачів мають вигляд [4]:

$$\tilde{P} = \frac{k_i k_u \sqrt{3}}{m} \sum_{i=1}^m i_{C(i+m/6)} u_{CB(i+m/4)}, \quad (1)$$

$$\tilde{Q} = \frac{k_i k_u \sqrt{3}}{m} \sum_{i=1}^m i_{C(i+m/6)} u_{CBi}, \quad (2)$$

де k_i, k_u – коефіцієнти пропорційності (передачі каналу) відповідно для струму i_C і напруги u_{CB} ; $m = T / \Delta t$ – кількість відліків на інтервалі, що дорівнює періоду T синусоїдальних функцій напруги і струму; Δt – крок дискретизації синусоїдальних функцій напруги і струму; $i = 1, 2 \dots N$; $N = 1,25m$ – повне число відліків.

Особливість обчислювальних моделей полягає в тому, що програмно здійснений поворот вектора напруги \vec{U}_{CB} на кут 30° при обчисленні активної потужності (1) і на кут 60° – реактивної (2).

Подібні обчислювальні моделі використовуються для контролю електроспоживання у вузлах підключення КТПВ і КРУ.

Крім зазначеного, СЕУПЕШ від інших відрізняє те, що вона забезпечує:

- 1) підвищення технічного рівня експлуатації і безпеки підземного електроустановки;

- 2) швидке налаштування під конкретний склад споживачів і конфігурацію СПЕП без зміни апаратної частини;
- 3) розшифровку причин відключення КРУ, самодіагностику і самотестування;
- 4) низький показник електроспоживання за власною потужністю – до 10 Вт на КРУ;
- 5) можливість функціонального з'єднання з подібними системами на програмному рівні.

Таким чином, функціонально і за технічними показниками СЕУПЕШ відповідає усім сучасним вимогам, які висуваються до систем контролю електроспоживання і комп'ютерних систем управління та автоматики.

5. ДЖЕРЕЛА ЕФЕКТИВНОСТІ СЕУПЕШ

Як показує досвід, за рахунок впровадження системи можна оптимізувати роботу електрогосподарства шахти і знизити такі складові витрати:

в області ресурсозбереження:

- потужність підземних підстанцій (КТПВ) в середньому на 120–150 кВ·А з розрахунку на одну комплексно-механізовану лаву з навантаженням 1 000 т/добу і більше;
- перетин високовольтних кабелів (матеріал – мідь) до пересувних підземних підстанцій на 1–2 ступені;
- потужність двигунів насосів, конвеєрів та ін. на 10–20 %;

в області електрозбереження:

- витрати і втрати електроенергії на виробничих дільницях і технологічних процесах в таких розмірах:
 - а) дільниці видобутку – 13–19 %;
 - б) магістральний конвеєрний транспорт – 12–57 %;
 - в) водовідливні установки – 3–10 %;

в області управління високовольтними КРУ системи підземного електропостачання і максимумом навантаження шахти:

- тривалість перерв в електропостачанні виробничих ділянок – на 30–50 год. на рік за рахунок скорочення часу відновлення електропостачання;
- максимум активної потужності шахти на 5–15 %;

в соціальній сфері ефект від впровадження СЕУПЕШ досягається за рахунок:

- забезпечення культури виробництва і престижності професій;
- підвищення безпеки праці шахтарів в результаті зниження ймовірності виникнення пожеж і вибухів від перегріву електроустаткування.

Окупність серійної СЕУПЕШ на шахті з видобутком 1,0–1,2 млн т вугілля на рік складає 12–15 місяців.

6. ВИСНОВОК

Отже, завдяки СЕУПЕШ та створенню інформаційної бази по енергоемності установок та технологічних процесів, доступної з адміні-

стративної локальної мережі та глобальної мережі Internet, а також оперативному контролю і управлінню системою підземного електропостачання спеціалісти отримують реальну можливість забезпечити енергоефективний і більш безпечний видобуток вугілля на шахтах. Ефективність розглянутої системи переконливо свідчить про необхідність та економічну доцільність поширення напрямів застосування інформаційних технологій у гірничій промисловості.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Пивняк Г. Г., Разумный Ю. Т., Заика В. Т.** Новые способы и проекты повышения эффективности электроэнергетического комплекса угольной шахты. // Науковий вісник НГА України. – 1999. – № 6. – С. 99–105.
2. **Ткачев В. В., Козарь Н. В., Проценко С. Н., Шевченко В. И.** Компьютерная система автоматизированного управления конвейерным транспортом // Горный журнал. – 1999. – № 6. – С. 48–50.
3. **Пивняк Г. Г., Ткачев В. В., Заика В. Т. и др.** Система учета и контроля расхода электроэнергии для угольных шахт. // Промышленная энергетика. – 1992. – № 7. – С. 19–21.
4. Цифровая обработка информации для контроля энергоиспользования горных машин и комплексов с программной имитацией схем включения первичных преобразователей / **Пивняк Г. Г., Заика В. Т., Разумный Ю. Т., Рыбалко А. Я.** // Гірнична електромеханіка та автоматика: Наук.-техн. зб. – 2000. – Вип. 65. – С. 27–31.