



УДК 622.012.2:621.31.004.18

© 2009

Академік НАН України Г. Г. Півняк, В. Т. Заїка, В. В. Ткачев

Перспективи підвищення ефективності електроенергетичного комплексу вугільних шахт

Досліджується стан підземного електроенергетичного комплексу вугільних шахт. Виявлено ресурсний потенціал систем підземного електропостачання та резерви енергозбереження. Визначено принципи побудови, структуру та функції системи енергомоніторингу. Запропоновано систему статистичних моделей для оцінки енергоефективності гірничих машин. Наводяться джерела ефективності від впровадження інформаційних технологій на вугільних шахтах.

1. Стан підземного електрогосподарства. Натурні дослідження процесів підземного вуглевидобування, виконані Національним гірничим університетом на шахтах Західного Донбасу, дозволили зібрати досить представницький матеріал про режими роботи гірничих машин, рівень завантаження електроустаткування, використання пропускної спроможності елементів систем електропостачання, потенціали з регулювання електричної потужності і електрозбереження, а також виявити ймовірнісні джерела виникнення аварійних ситуацій.

За наслідками аналізу натурних даних встановлено:

через завищення розрахункових електричних навантажень у 60% пересувних підстанцій систем підземного електропостачання (СПЕП) діляниць видобування і підготовки коефіцієнти їх завантаження (к. з.) не перевищують 50%, перетини живлячих їх кабельних ліній щодо нагріву завищені на 2–4 ступеня, щодо економічної щільності струму і термічної дії струмів к. з. — на 1–4 ступеня, а щодо механічної міцності — на 1–3 ступеня. В той же час є випадки перевантаження електроустаткування (підземних трансформаторних підстанцій, кабельних ліній) до гранично допустимих значень з нагріву. Це створює ситуації, коли перевантажене устаткування може стати причиною аварій і привести до людських жертв;

при видобуванні та проходці не повністю використовуються технічні можливості щодо потужності і часу сучасної вугледобувної і прохідницької техніки. Так, реальні для комплексно-механізованих лав резерви електрозбереження становлять 13–19%, а через нерегулярну роботу прохідницьких комплексів на провітрювання тупикових виробок і холостий хід конвеєрів витрачається в 3,5–6 разів більше електроенергії (ЕЕ), ніж на виконання основних операцій — руйнування гірського масиву і доставку гірської маси до завантажувальних пунктів;

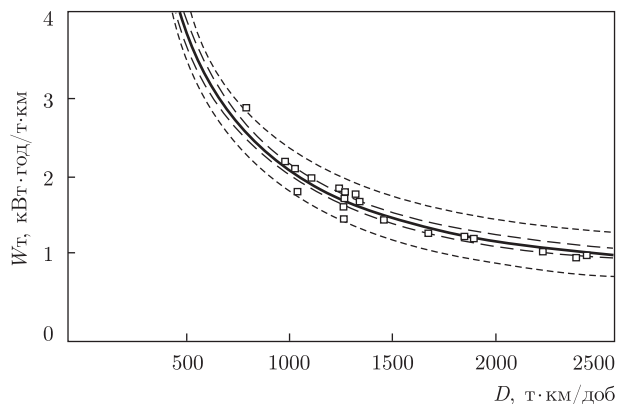


Рис. 1. Залежність питомих витрат електроенергії від вантажопотоків на головному конвеєрі 2ЛУ-120. Тонкі і штрихові лінії на графіках вгорі — 95%-ні межі довірчих інтервалів відповідно для середніх і індивідуальних передбачених значень досліджуваного параметра

питома витрата ЕЕ на транспортування через систематичне недовантаження магістральних конвеєрних установок в чотири і більше разів вища, ніж при оптимальних вантажопотоках (рис. 1), а резерви підвищення енергоефективності лежать у межах 12–57% щодо мінімально досягнутого рівня енерговитрат;

недостатньо уваги приділяється використанню енергозберігаючих технологій. Наприклад, відробці пластів спареними лавами, хоча доведено, що при транспортуванні вугілля із спарених лав питомі витрати електроенергії на 25–30% менші, ніж з одиночних;

режим роботи багатьох водовідливних установок не завжди є оптимальним, у тому числі через відсутність засобів контролю і автоматизації на цих об'єктах, що може призводити до переповнювання водозбірників і до аварійних ситуацій — підтопленню нижніх горизонтів шахт, якщо в якийсь момент часу виникне невідповідність між фактичним заповненням водозбірників, водоприпливом і продуктивністю включених в цей період насосів. Резерви енергозбереження тут становлять близько 2,5–10%.

В цілому, отримані результати і діапазон їх зміни показує, що однакові за призначенням гірничі машини і комплекси при роботі навіть у подібних умовах розрізняються за параметрами енерговикористання, за потенціалом регулювання навантаження, а також за ступенем впливу на безпеку ведення підземних робіт. Тому, щоб, з одного боку, реалізувати виявлені резерви ресурсо- і енергозбереження, а з іншого, зменшити потенційну небезпеку на підземному вуглевидобуванні, кожний комплекс, установку, технологічний процес необхідно розглядати не як усереднені, а як унікальні об'єкти і для них розробляти, адаптовувати та застосовувати моделі енергоконтролю, керування, методи параметричної діагностики устаткування і процесів.

2. Напрями підвищення енергоефективності і безпеки роботи гірничих машин і установок. Основними за технологією видобутку на вугільних шахтах є очисні, прохідницькі і транспортні виробничі дільниці. До теперішнього часу для досягнення максимальних показників щодо продуктивності в галузі йшли по шляху збільшення потужності приводу підземних гірничих машин і установок. Наприклад, потужність електродвигунів очисних машин за 50 років зростає з 16 кВт у перших врубових машин до 315 кВт (двигун ЕКВЖ4–315) у очисних комбайнів. У сучасних комбайнів типу УКД і КДК цей показник ще вище — від 2×150 кВт до 2×355 кВт. Проте, незважаючи на використання потужної

і високопродуктивної техніки, такий підхід породив в галузі стійку тенденцію на зростання питомої витрати електроенергії на тону вугілля, що видобувається. І це при тому, що частка електроенергії в енергетичному балансі шахт становить близько 85–90%. Для умов українських шахт положення ускладнюється тим, що порівняно з середніми показниками у вугільній промисловості СРСР питома витрата на них була вже тоді майже вдвічі вище. Тому для галузі усунення цієї негативної тенденції повинне стати одним з пріоритетних напрямів роботи в області енергозбереження.

Як показують дослідження, необхідною передумовою для вирішення цієї проблеми є створення на шахтах системи енергозбереження, організованої на принципах енергомоніторингу. Окрім автоматизованого керування і контролю стану устаткування СПЕП, така система повинна забезпечити технічний облік витрат ЕЕ і додатково здійснювати проблемну обробку інформації, включаючи контроль завантаження електроустаткування і пропускної спроможності елементів системи електропостачання. Методологічною основою тут повинні стати інформаційні технології, в тому числі методи і моделі, що дозволяють за допомогою відповідних технічних засобів розв'язувати різні задачі і виробляти рекомендації щодо проведення режимів роботи як окремих установок, так і технологічних дільниць в цілому.

Модельне забезпечення ефективної роботи електроенергетичного комплексу. Роботи з підвищення рівня спостереження основних процесів в гірничому виробництві ведуться давно. В рамках створення загальної системи керування процесами шахт розробляються підсистеми “Очисні роботи”, “Підготовчі роботи”, “Вентиляція” та ін.

На сьогодні нарізла гостра необхідність у створенні підсистеми подібного типу і для енерготехнологічного комплексу шахти, що включає енергоємні установки, комплекси і технологічні ланки на підземних гірничих роботах. Проте саме ця ділянка гірського виробництва якнайменше вивчена з точки зору як резервів електрозбереження, що існують, так і методів керування енергетичною ефективністю електроспоживаючого устаткування.

Основна причина — відсутність надійних джерел отримання інформації про енергетичні режими, технологічні і позиційні параметри гірничих машин і установок з потрібною точністю і оперативністю. Немає у зв'язку з цим напрацювань за уявленням режимів їх роботи у вигляді апробованих моделей електроспоживання, у тому числі питомого, за якими можна було б оперативно оцінювати показники енергетичної ефективності гірничої техніки і виробляти відповідні керуючі дії.

З урахуванням умов і характеру роботи вугледобувних машин і транспортних установок основним методом для побудови моделей енергоконтролю прийнятий регресійний аналіз, за допомогою якого можна не тільки описувати форму зв'язку між випадковими за природою змінними, але, що не менш важливо, оцінювати силу (тісноту) її вияву в реальних умовах.

На підставі досліджень, виконаних на шахтах Західного Донбасу, вченими НГУ запропонована система статистичних моделей для оцінки енергоефективності підземних гірничих машин і установок [1]. Зокрема, для вугледобувних комплексів зв'язок між питомою витратою електроенергії на руйнування і транспортування вугілля по лаві (залежна змінна w) і швидкістю подачі комбайна (незалежна змінна v) описується рівнянням

$$\tilde{w} = \tilde{z}_0 + \frac{\tilde{z}_1}{v}, \quad (1)$$

де z_0 , z_1 — коефіцієнти моделі, визначувані за експериментальними даними.

Проведені дослідження показують, що швидкість подачі вугледобувних машин є істотним чинником, який впливає на питомі енерговитрати. Про це свідчать високі значення

кореляційного відношення (0,66–0,77) між цими величинами. При цьому характер впливу швидкості подачі комбайнів на питому витрату практично однаковий для всіх лав. Тобто, ми маємо справу з виявом стійкої закономірності, яка має місце при виїмці вугілля цим способом. Точність визначення умовних середніх для крайніх значень v лежить в межах $\pm 5,6 \pm 8\%$. Дещо ширше довірчі межі, при тій же довірчій ймовірності, для індивідуальних спостережень.

Практичне значення моделей полягає в тому, що їх можна використовувати при розробці компонентів програмного забезпечення систем енергетичного контролю, прогнозування і заходів щодо енергозбереження на конкретних шахтах, тобто, вони необхідні для керування енергоефективністю вугледобувних комплексів.

Для конвеєрних установок модель, яка зв'язує питому витрату ЕЕ і вантажопотік D , має вигляд:

$$\tilde{w} = \tilde{c} + \frac{\tilde{d}}{D}, \quad (2)$$

де \tilde{c} і \tilde{d} — оцінки істинних коефіцієнтів регресії.

Похибка прогнозу питомих витрат ЕЕ за допомогою отриманих моделей для умовних середніх у всьому діапазоні вантажопотоків знаходиться в межах 2,9–14,7%, що краще за показники будь-якої аналітичної моделі і прийнятне для розв'язання задач енергетичного контролю, виявлення причин нераціонального використання ЕЕ і керування електроспоживанням конвеєрного транспорту. Моделі, прийняті для апроксимації експериментальних даних, належать до класу дрібно-лінійних функцій гіперболічного типу. Важлива їх особливість полягає в тому, що в умовах експлуатації вони можуть безперервно уточнюватися за рахунок поповнення вже існуючої інформації новими даними і оперативного оновлення на цій основі коефіцієнтів моделей.

Наявність моделей дозволяє оперативно в диспетчерському режимі, а за наявності відповідних технічних засобів — і в темпі процесу, і в потрібному напрямі впливати на енергетичні показники гірничих машин і контрольованих установок. Зробити це можна, наприклад, шляхом коректування установок регуляторів швидкості подачі вугледобувних машин, зміни швидкості руху стрічки на конвеєрах, регулювання надходження вугілля або породи на конвеєри, а також змін інших режимних параметрів електроспоживаючого устаткування.

Принципи побудови і характеристика технічних засобів енергоконтролю. До теперішнього часу у вугільній промисловості для контролю електроспоживання підземних гірничих машин і установок опробований ряд технічних засобів на електронній основі і на платформі комп'ютерних технологій. Це датчик навантаження для вимірювання активної і реактивної потужності [2] (розробники — НГУ, ДГШ). Система обліку і контролю витрати електроенергії для вугільних шахт (КТЗ СОЕ) [3] (розробник — НГУ). Блок керування і захисту БЗУ-2-05-О для вимикачів комплектного розподільного устаткування КРУВ-6ВМ-ОВ, КРУРН-6 А виконує також індикацію електричних величин і витрати електроенергії. Блок розроблений Криворізьким електро заводом.

В той же час для цих умов не досягнутий потрібний рівень енергоконтролю, не розв'язані задачі керування енергоефективністю гірничих машин в реальному часі, не забезпечено керування процесами електроспоживання, відсутня оперативна інформаційно-методична підтримка інженерного корпусу і диспетчерської служби при розв'язанні задач енергозбереження, контролю завантаження устаткування і пропускної спроможності елементів

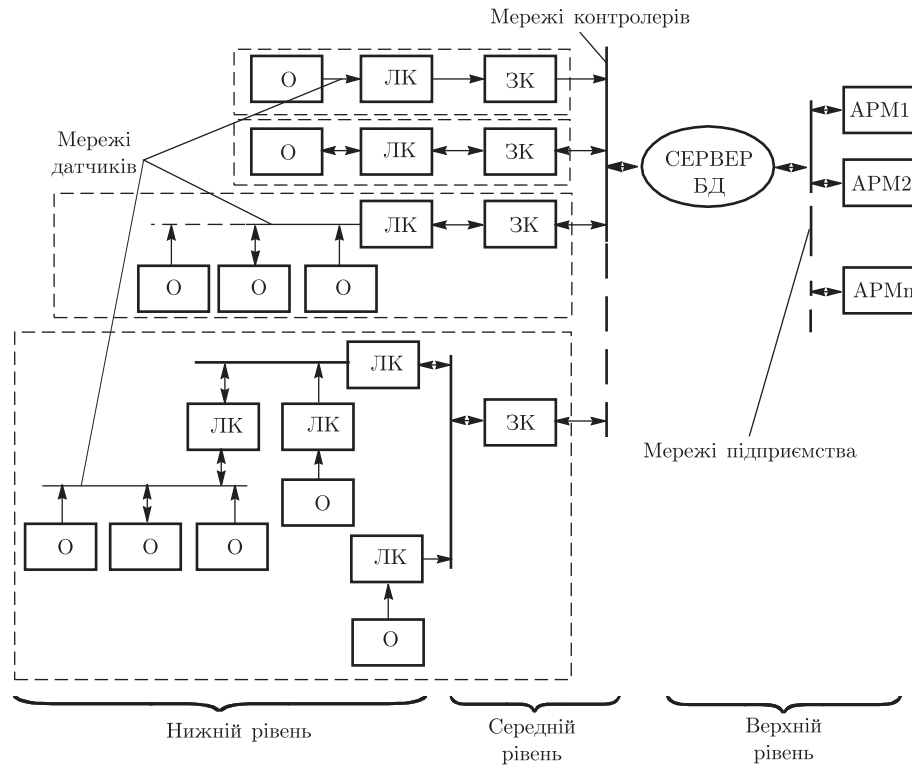


Рис. 2. Структура СЕУПЕШ:

О — об'єкт; ЛК — локальний контролер; ЗК — збірний контролер; БД — база даних; АРМ_{1-n} — автоматизовані робочі місця

складнорозгалужених електричних мереж СПЕП, не забезпечено керування процесами електроспоживання при вимушеному простої шахти.

Тому система енергомоніторингу та керування підземним електропостачання шахт (далі СЕУПЕШ), яка здатна розв'язувати вказані задачі, повинна бути інтегрованою, багаторівневою і мати певні інтелектуальні властивості. СЕУПЕШ повинна включати як мінімум три функціонально орієнтовані підсистеми (рис. 2):

енергоконтролю потужних установок, технологічних дільниць і керування високовольтними КРУ (типу КРУВ-6) — нижній рівень (базові елементи: контролери (ЛК) та трансформатори струму і напруги, які вбудовані в шафи КРУ. На низьковольтних приєднаннях вони зібрані в блоки датчиків навантаження);

зв'язку і обміну інформацією — середній рівень (базові елементи: збірні контролери (ЗК), лінії ретрансляцій і локального зв'язку, а також типу польової шини CAN-bus, інші лінійні модулі, включаючи адаптер зв'язку);

проблемної обробки інформації і ухвалення рішень — верхній рівень, інакше, пульт керування (ПКЕ). Основні його елементи — технологічний сервер і автоматизовані робочі місця (АРМ) енергодиспетчера, технолога, аналітиків та ін. із спеціальним програмним забезпеченням і комунікаційним устаткуванням.

Кожна підсистема є інтелектуальною і має відповідний склад технічних засобів, програмне, методичне та інформаційне забезпечення. Комплекс технічних засобів (див. рис. 2) створюється на базі сучасних комп'ютерних технологій [4] з використанням досвіду і основ-

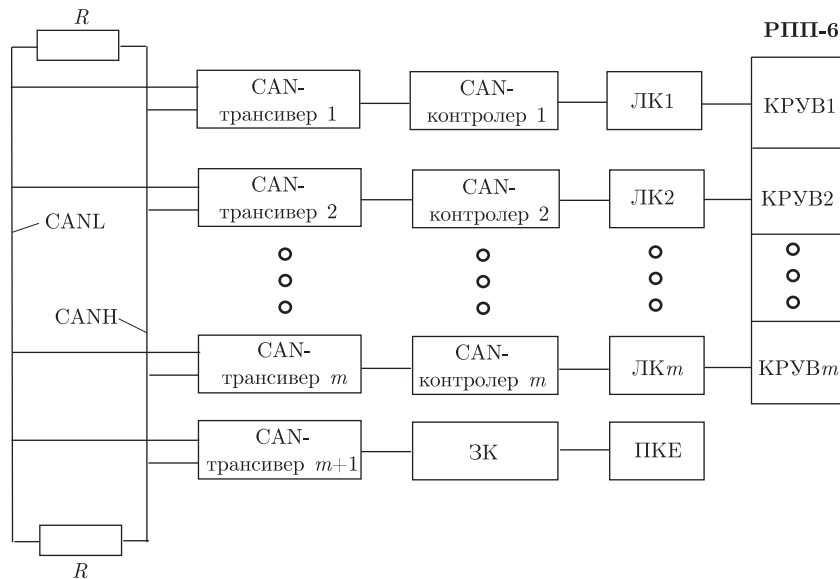


Рис. 3. CAN-bus у структурі системи енергомоніторингу

них ключових моментів і ідей попередніх розробок НГУ — системи обліку електроспоживання (КТЗ СОЕ) [3] і системи автоматизованого керування конвеєрними лініями (САУКЛ) [5].

За допомогою спеціального програмного забезпечення СЕУПЕШ здатна виконувати такі функції.

Функції керування:

автоматизоване керування високовольтними КРУ (типу КРУВ-6);
розшифровка причин відключення КРУ і електронне документування;
графічне відображення стану КРУ і характеристик електроспоживання.

Функції енергомоніторингу:

облік витрат ЕЕ виробничими дільницями, комплексами і установками;
автоматичне формування бази даних про витрату ЕЕ окремих установок або їх груп;
контроль норм витрат ЕЕ;
контроль завантаження ліній і устаткування за активною і реактивною потужністю (струмом).

Таким чином, СЕУПЕШ є інтегрованою системою. Вона одночасно виконує функції енергомоніторингу і автоматизованого керування комплектними розподільними пристроями в системі підземного електропостачання. Застосування СЕУПЕШ дозволяє отримати ефект як від підвищення рівня енерговикористання гірничої техніки, так і від зниження тривалості простоїв основних виробничих дільниць за рахунок більш швидкого виявлення пошкоджень і скорочення часу відновлення електропостачання після аварій або помилкових відключень.

Для СЕУПЕШ характерне те, що об'єднання окремих її елементів і підсистем в єдине ціле здійснюється за допомогою відповідного програмного забезпечення і ліній зв'язку.

Перспективним рішенням для цього є польова шина CAN-bus і програмне середовище CANopen (рис. 3).

Система організації мережі базується на послідовній CAN-шині, яка являє собою два провідника (CANH і CANL) з навантаженням хвильовим опором R . Сімейство профілів

CANopen забезпечує стандартні механізми зв'язку і функціонування різних пристроїв, що дозволяє вести керування в реальному масштабі часу і спрощує інтеграцію на системному рівні.

Особливістю CAN є те, що формування, передачу і ухвалення повідомлень здійснює спеціальний CAN-процесор, який за допомогою трансивера підключений до CAN-шини. Повідомлення не містить адреси пристрою (приймача), а містить ідентифікатор даних. Таким чином, одне повідомлення може бути прийнято і прочитано декількома пристроями, CAN-процесор фільтрує всі потрібні повідомлення без використання ресурсів центрального процесора.

В Україні такого рівня система створюється вперше. Аналоги виконують частину функцій СЕУПЕШ. СЕУПЕШ має високу гнучкість і надійність функціонування, кращі масо-габаритні показники і метрологічні характеристики (прогнозована похибка, без урахування внеску первинних датчиків, не перевищує 2,5%), забезпечує діагностику електроустаткування, потрібну глибину контролю, дружній інтерфейс і не поступається розробкам такого ж цільового призначення розвинутих країн. Досягнуто це за рахунок застосування способів і технічних рішень, захищених авторським свідоцтвом [4] і патентами.

Крім відзначеного, СЕУПЕШ відрізняє те, що вона забезпечує:

- 1) підвищення технічного рівня експлуатації і безпеки підземного електроустаткування;
- 2) швидку настройку під конкретний склад споживачів і конфігурацію СПЕП без зміни апаратної частини;
- 3) розшифровку причин відключення КРУ, самодіагностику і самотестування;
- 4) низький рівень енерговитрат. Потужність джерела ЛК — не більше 10 Вт;
- 5) можливість функціонального з'єднання з подібними системами на програмному рівні.

Таким чином, функціонально і за технічними показниками СЕУПЕШ відповідає всім сучасним вимогам, які пред'являються до систем контролю електроспоживання і комп'ютерних систем керування та автоматики.

3. Джерела ефективності СЕУПЕШ. Як показує досвід експлуатації прототипу, за рахунок впровадження такої системи можна оптимізувати роботу електроенергетичного комплексу шахти і зменшити подальші витрати в таких областях.

В області ресурсозбереження:

потужність підземних підстанцій (КТПВ) в середньому на 120–150 кВ · А з розрахунку на одну комплексно-механізовану лаву з навантаженням 1000 т/добу і більше;

перетин високовольтних кабелів (матеріал — мідь) до пересувних підземних підстанцій на 1–2 ступені;

потужність двигунів насосів, конвеєрів тощо) на 10–15%.

В області електрозбереження:

витрати і втрати електроенергії на виробничих ділянках і технологічних процесах у розмірах

- а) ділянки видобутку — 13–19%;
- б) магістральний конвеєрний транспорт — 12–57%;
- в) водовідливні установки — 3–10%.

В області керування високовольтними КРУ системи підземного електропостачання і максимумом навантаження шахти:

тривалість перерв в електропостачанні виробничих ділянок — до 30 год в рік за рахунок скорочення часу відновлення електропостачання;

гранична активна потужність шахти — на 5–15%.

В соціальній сфері ефект від впровадження СЕУПЕШ досягається за рахунок: підвищення культури виробництва і престижності професій; підвищення безпеки праці шахтарів в результаті зниження ймовірності виникнення пожеж і вибухів від перегріву електроустаткування і виключення виходу контрольованих параметрів гірничотехнічних процесів за допустимі межі.

Окупність СЕУПЕШ на шахті з видобутком 1,0–1,2 млн т вугілля на рік — 1–1,5 років.

Таким чином, завдяки СЕУПЕШ і створенню інформаційної бази по енергоспоживанню, завантаженню устаткування, параметрам режиму потенційно небезпечних установок і технологічних процесів, доступної з адміністративної локальної мережі і глобальної мережі Internet, а також оперативному контролю і керуванню системою підземного електропостачання, фахівці різного профілю дістають реальну можливість забезпечити енергоефективний і більш безпечний видобуток вугілля на шахтах.

Ефективність прототипів СЕУПЕШ переконливо свідчить про необхідність і економічну доцільність розширення напрямів застосування інформаційних технологій в гірничій промисловості.

1. Пивняк Г. Г., Разумный Ю. Т., Заика В. Т. Новые способы и проекты повышения эффективности электроэнергетического комплекса угольной шахты / Наук. вісник НГА України. – Дніпропетровськ: РВК НГА України, 1999. – № 6. – С. 99–105.
2. А. С. № 1453334. – СССР, МКИ G 01 R 21/06 Устройство для измерения мощности в трехфазных трехпроводных симметричных сетях / В. А. Анненков, И. И. Годись, В. Т. Заика, М. П. Король, Н. А. Михедов, Ю. Т. Разумный и В. П. Титов (СССР). – № 4290740/24–21; Заявлено 18.05.87; Опубл. 23.01.89. Бюл. № 3. – 4 с.
3. Пивняк Г. Г., Ткачев В. В., Заика В. Т. и др. Система учета и контроля расхода электроэнергии для угольных шахт // Промышл. энергетика. – 1992. – № 7. – С. 19–21.
4. Пивняк Г. Г., Заика В. Т., Разумный Ю. Т., Рыбалко А. Я. Цифровая обработка информации для контроля энергоиспользования горных машин и комплексов с программной имитацией схем включения первичных преобразователей // Гірнична електромеханіка та автоматика: Наук.-техн. зб. – 2000. – Вип. 65. – С. 27–31.
5. Ткачев В. В., Козарь Н. В., Проценко С. Н., Шевченко В. И. Компьютерная система автоматизированного управления конвейерным транспортом // Горный журн. – 1999. – № 6. – С. 48–50.

Національний гірничий університет, Дніпропетровськ

Надійшло до редакції 03.06.2008

Academician of the NAS of Ukraine **G. G. Pivnyak, V. T. Zaika, V. B. Tkachov**

Prospects of the efficiency rise of the electroenergy complex of coal mines

The state of an underground electroenergy complex of coal mines is explored. The resource potential of underground power-supply systems and the reserves of energy-saving are revealed. The construction principles, structure, and functions of the energy monitoring system are defined. The system of statistical models for estimation of the power efficiency of mountain machines is offered. The sources of efficiency from the introduction of information technologies into the processes of underground coal mining are discussed.