

УДК 62-83-52.003 (082)

О.О.ЗАКЛАДНИЙ, О.М.ЗАКЛАДНИЙ

**ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО
ДІАГНОСТУВАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ
ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ З АСИНХРОННИМИ
ДВИГУНАМИ**

O. ZAKLADNYI, A. ZAKLADNYI

**SOFTWARE FUNCTIONAL DIAGNOSTIC OF THE
EFFICIENCY OF
ELECTROMECHANICAL SYSTEMS WITH ASYNCHRO
NOUS MOTORS**

Анотація. Статтю присвячено питанню створення програмного забезпечення функціонального діагностування енергоефективності електромеханічних систем з асинхронними двигунами. Розроблене програмне забезпечення дозволяє контролювати у реальному часі поточні експлуатаційні параметри електромеханічних систем, діагностувати й оцінювати енергетичний і технічний стан, виявляти неефективні режими роботи та приймати обґрунтовані рішення щодо подальшої їх експлуатації.

Ключові слова: енергоефективність, електромеханічна система, асинхронний двигун, програмне забезпечення.

Анотация. Статья посвящена вопросу создания программного обеспечения функциональной диагностики энергоэффективности электромеханических систем с асинхронными двигателями. Разработанное программное обеспечение позволяет контролировать в реальном времени текущие эксплуатационные параметры электромеханических систем, диагностировать и оценивать энергетическое и техническое состояние, выявлять неэффективные режимы работы и принимать обоснованные решения о дальнейшей их эксплуатации.

Ключевые слова: энергоэффективность, электромеханическая система, асинхронный двигатель, программное обеспечение.

Annotation. The article focuses on the creation of software functional diagnostic efficiency of electromechanical systems with asynchronous motors. Developed software allows you to monitor in real time the current operating parameters of electromechanical systems, diagnose and evaluate the power and condition, identify inefficient modes of robots and make informed decisions about their further use.

Key words: energy efficiency, electromechanical system, asynchronous motor, software.

Вступ

Однією з найважливіших проблем підвищення конкурентоздатності вітчизняної продукції на світовому ринку є зниження енергетичної складової в структурі її собівартості. Вартість електроенергії, яку споживає електромеханічна система з асинхронним двигуном (ЕМС з АД) протягом життєвого циклу (строку експлуатації), значно перевищує вартість устаткування і витрати на обслуговування. Експлуатація ЕМС, які знаходяться в незадовільному технічному стані, призводить до збільшення фінансових витрат, зумовлених зростанням електроспоживання [1, 2].

Однією з перешкод широкому впровадженню енергозбереження в життя є те, що управління раціональним використанням енергії не поширюється на конкретного технологічного споживача – ЕМС. Енергоефективність її оцінюється аперіодично, наприклад, під час проведення енергетичного аудиту. Перспективним підходом методології енергоменеджменту є впровадження постійно діючого діагностування енергоефективності ЕМС для оперативного

реагування на погіршення її стану і порушення технологічного режиму [1–5]. Тому актуальними є розроблення і широкі впровадження програмного забезпечення функціонального діагностування для підвищення енергоефективності ЕМС з АД, оскільки вартість програмних засобів нижча від витрат на втілення традиційних проектів енергозбереження.

Мета роботи. Метою роботи є створення програмного забезпечення функціонального діагностування енергоефективності ЕМС з АД для мобільного програмно-апаратного комплексу (МАК), який за рахунок контролювання у реальному часі поточних експлуатаційних параметрів дозволить діагностувати й оцінювати енергетичний і технічний стан, виявляти неефективні режими роботи та приймати рішення щодо подальшої експлуатації цих ЕМС [4,5].

Матеріали і результати досліджень. Для реалізації функціонального діагностування енергоефективності ЕМС з АД розроблено програмне забезпечення з трьох програм: “Еталонна модель АД”, “Діагностування параметрів АД” і “Визначення залишкового ресурсу АД” [6–10].

На основі моделі формування і збереження еталонів та методики розрахунків робочих параметрів АД за паспортними даними в середовищі DELPHI–2009 розроблено програму розрахунків параметрів еталонної моделі “Еталонна модель АД” [11, 12].

На рис. 1 наведено фрагменти цієї програми – головний інтерфейс користувача з результатами розрахунку робочих і енергетичних параметрів для номінального режиму ($\omega_H, s_H, s_{2H}, M_H, M_K, P_{1H}, Q_H, S_H, \Delta P_H, V_H, K, \Delta P_{1H}$), параметрів схеми заміщення АД ($I_2^*, I_1, R_1, R_2^*, X_K, X_1$), а також вікна програми із залежностями енергетичних показників від навантаження ($\cos\varphi(k_2), \eta(k_2), V(k_2), \Delta P_1(k_2)$), графіками механічної та електромеханічних характеристик ($\omega(M), \omega(I), \omega(I_2^*)$) АД типу 5AM280S10e з паспортними даними: $P_H = 37$ кВт, $n_H = 590$ об/хв, $U_H = 380$ В, $I_H = 76.5$ А, $\eta_H = 93\%$, $\cos\varphi_H = 0.79$.

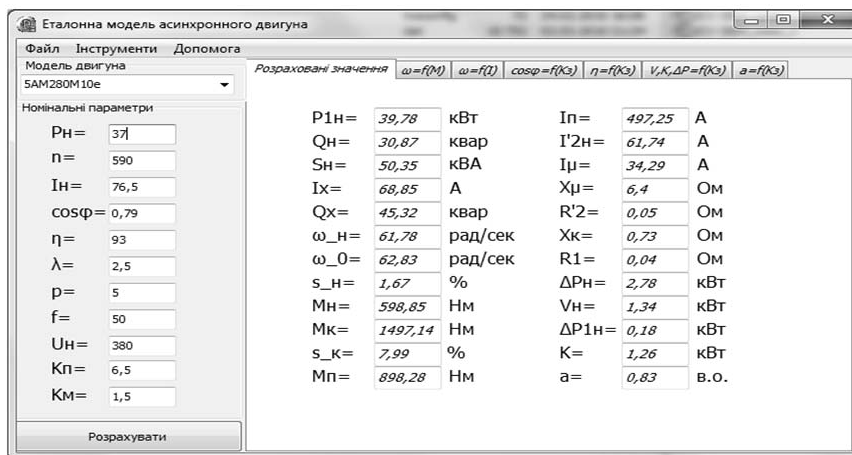
Вхідними даними для програми “Діагностування параметрів АД” є масиви миттєвих значень трифазних струмів і напруг, а також параметри двигуна для номінального режиму з моделі формування та збереження еталонів. Результатом роботи програми є формування протоколу у вигляді текстового файлу з визначеними відповідно до діагностичної моделі параметрами двигуна.

На рис. 2 зображено головний інтерфейс користувача програми “Діагностування параметрів АД” після виконання обчислень. Вхідний файл для програми зберігається у стандартному mat-форматі програмного середовища MATLAB і містить послідовності значень фазних струмів і напруг для трьох фаз за деякий період часу. Програма написана в середовищі Visual Studio 2010 мовою програмування Visual Basic Net. Додаткові модулі згенеровані за допомогою середовища MATLAB Simulink мовою програмування C.

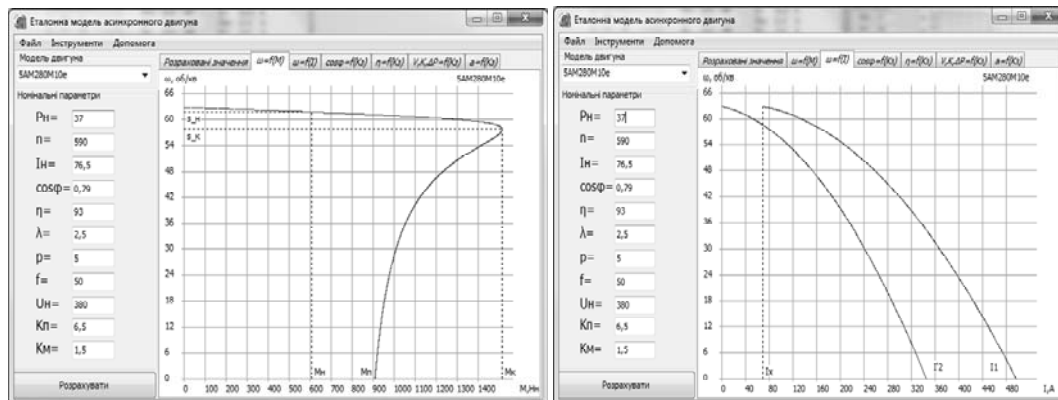
На рис. 3, 4 наведено результати аналітичних досліджень процесу перетворення енергії ЕМС з насосною установкою системи водопостачання і АД типу 6A315LA4 потужністю 160 кВт. Робота установки моделювалася за допомогою розробленої програми функціонального діагностування відповідно до експериментально знятого під час енергоаудиту ГЕН в умовах неякісної напруги живлення.

Вхідними даними програми “Визначення залишкового ресурсу АД” є значення повних втрат у двигуні, які отримуються з програми “Діагностування АД”, номінальних втрат – з програми “Еталонна модель АД”, сталої нагрівання двигуна, параметрів ізоляції (припустимої температури, коефіцієнта b), попередньої зношеності ізоляції за час експлуатації, номінального терміну служби [13–15]. Попередня зношеність ізоляції визначається за допомогою методу опору. Якщо відомий режим роботи, в якому працював АД до початку діагностування, то за допомогою програми можна визначити попередню зношеність ізоляції за час експлуатації.

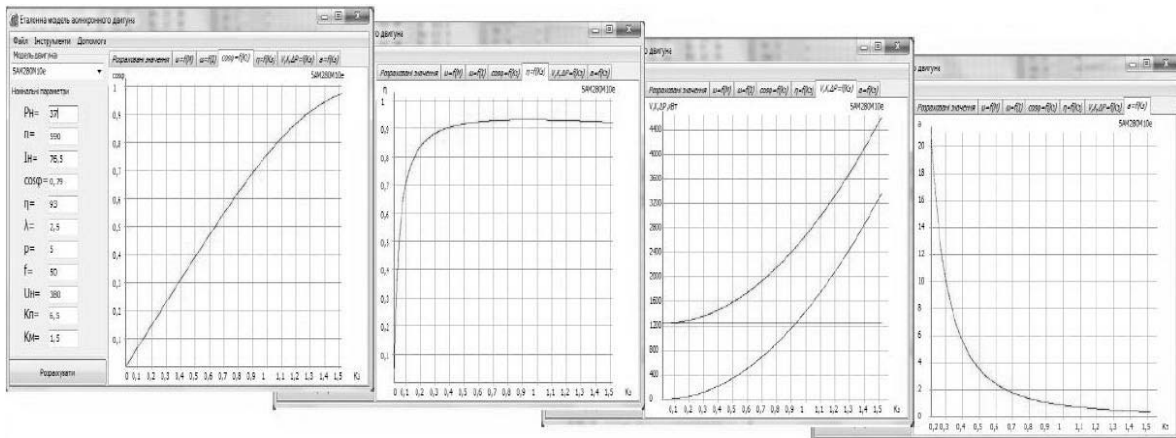
Програмне забезпечення “Визначення залишкового ресурсу АД” розраховує його залишковий ресурс у залежності від дії сукупності експлуатаційних факторів, формує протокол з графіками зміни зношеності та прогнозованого і номінального залишкових ресурсів у часі. Програмне забезпечення дозволяє визначати залишковий ресурс навіть у випадку, коли контроль параметрів здійснюється епізодично. За результатами n вимірювань, для апроксимації значень вхідних параметрів у періоди між вимірюваннями і прогнозування їх на майбутнє застосовано метод параболічної екстраполяції.



а)



б)



в)

Рис. 1. Інтерфейс програми “Еталонна модель АД”:

- а) головний інтерфейс користувача;
- б) вікна з графіками механічної та електромеханічних характеристик;
- в) вікна з залежностями енергетичних показників від завантаження.

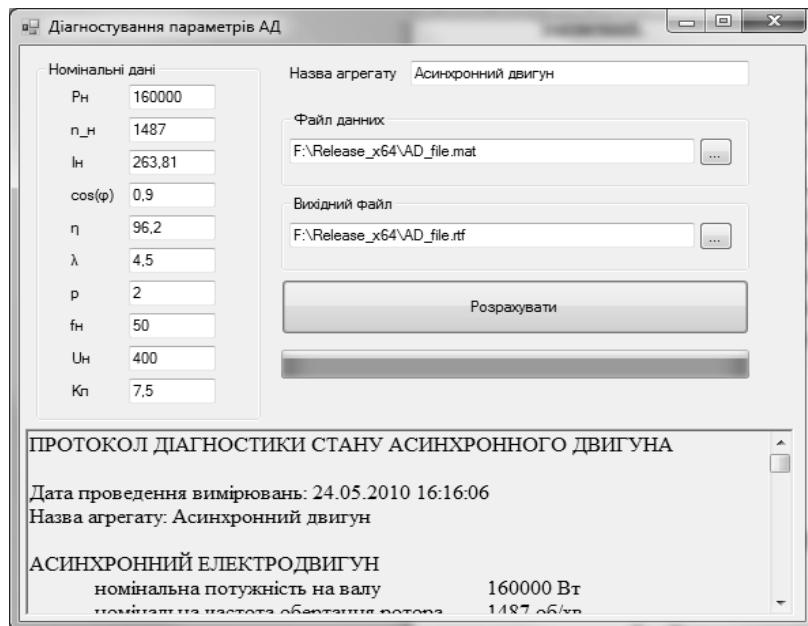


Рис. 2. Інтерфейс користувача програми “Діагностування параметрів АД”

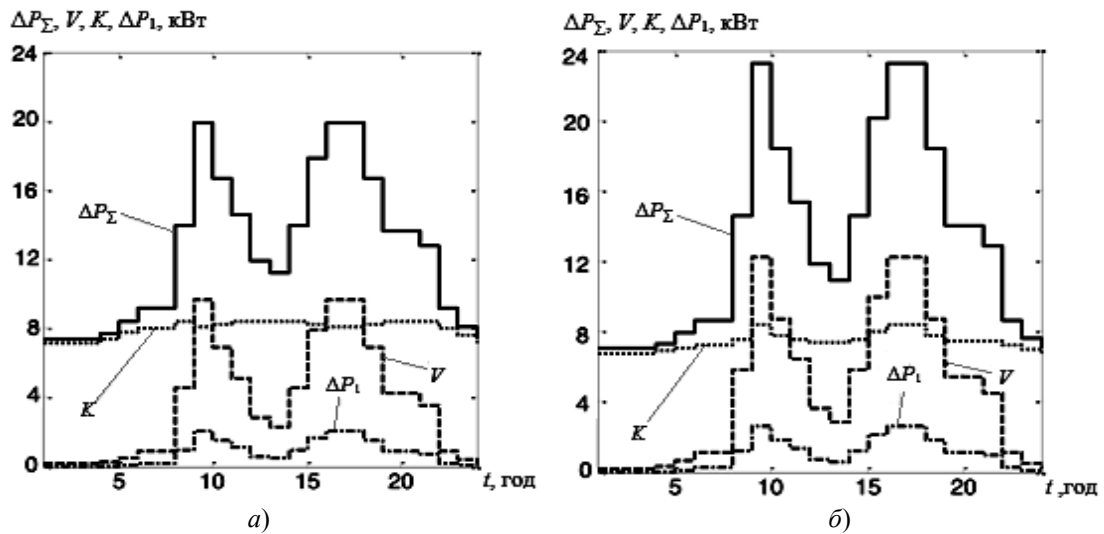


Рис. 3. Добові графіки втрат АД (повні ΔP_{Σ} , змінні V , постійні та додані K , ΔP_1) в умовах зміни навантаження у випадку:

а) якісної напруги живлення;

б) впливу граничних значень показників якості електроенергії (відхилення, несиметрії та несинусоїдальності напруги)

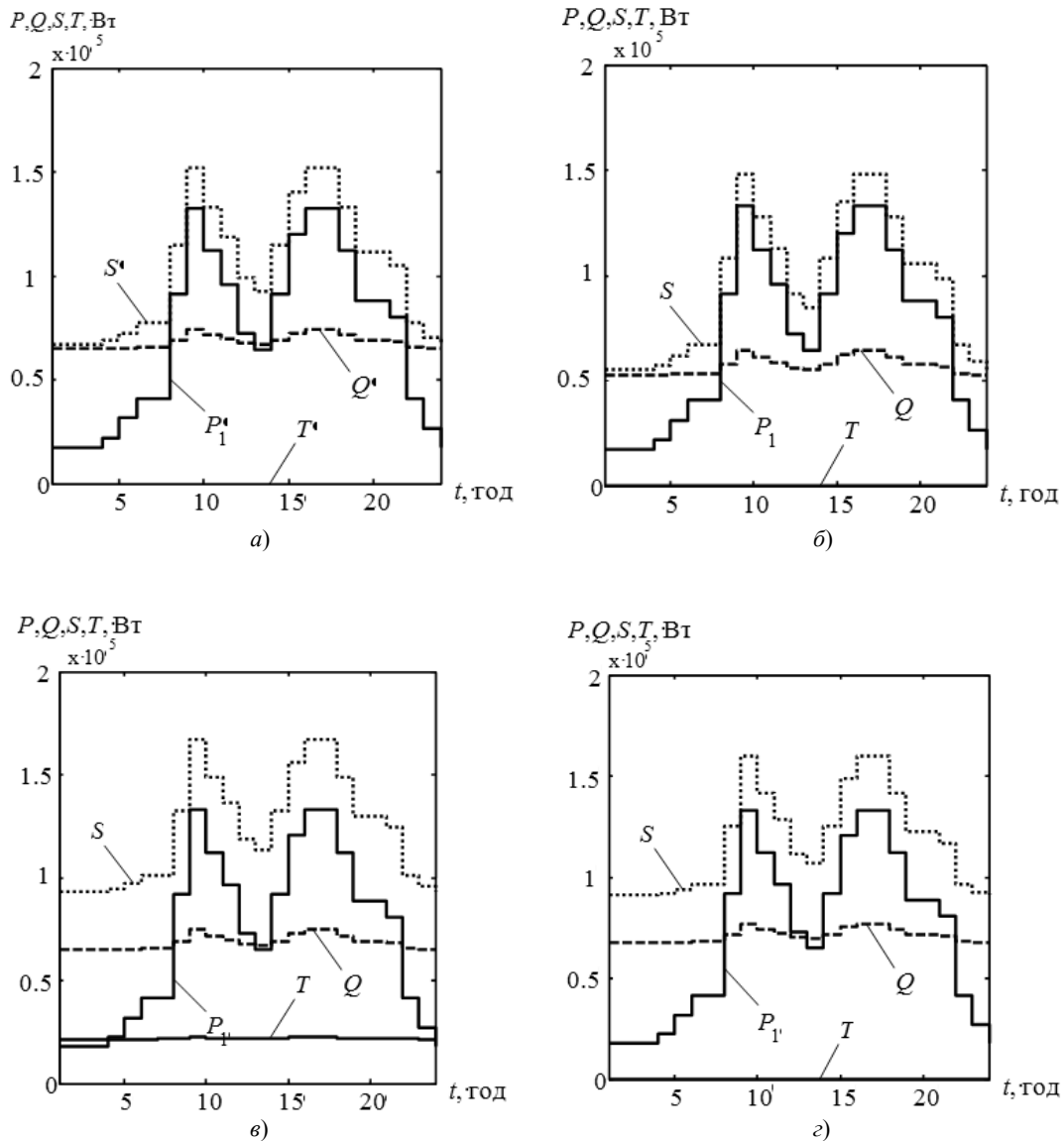
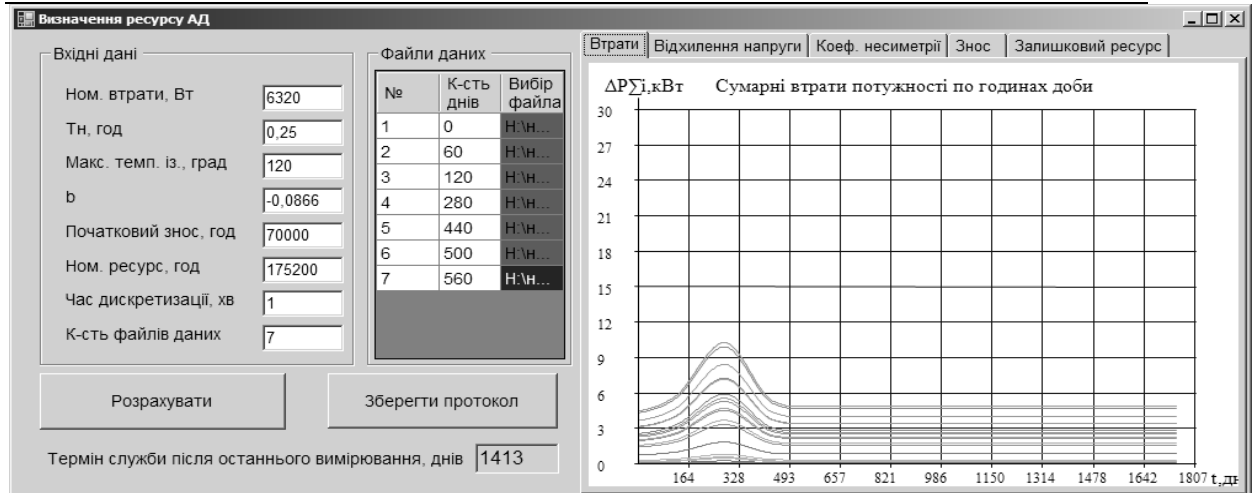


Рис. 4. Добові графіки, що споживаних з мережі потужностей, що споживаються з мережі (активної P , реактивної Q , повної та потужності спотворення S, T) при зміні навантаження у випадку:
 а) якісної напруги живлення;
 б) відхилення напруги від номінальної на 10%;
 в) впливу граничних показників несинусоїдальності;
 г) впливу граничних показників несиметрії.

На рис. 5 зображено головний інтерфейс користувача програми “Визначення залишкового ресурсу АД” з результатами аналітичних досліджень залишкового ресурсу насосної установки з АД типу 6A315LA4 потужністю 160 кВт при збільшенні сумарних втрат у 1,5 рази внаслідок перевантаження. Програма написана в середовищі Visual Studio 2010 з підтримкою Net Framework 2.0, код інтерфейсу – Visual Basic. Net, код розрахунку – мова MATLAB.



а)



б)

Рис. 5. Інтерфейс користувача програми “Визначення залишкового ресурсу АД”:

- а) вікно втрат;
б) вікно залишкового ресурсу.

Висновки

Програмне забезпечення (“Еталонна модель АД”, “Діагностування параметрів АД”, “Визначення залишкового ресурсу АД”) для мобільного програмно-апаратного комплексу МАК дозволяє автоматизувати процес функціонального діагностування енергоефективності ЕМС з АД. Програмне забезпечення формує протоколи діагностування й визначає енергетичний і технічний стан та залишковий ресурс у відповідності до розроблених моделей і методик.

Впровадження результатів роботи дозволить за середнього експлуатаційного строку роботи ЕМС з АД 10 років зекономити близько 10% електроенергії, що споживається; здійснювати попереджувальне обслуговування у реальному часі та керування їх енергетичним і технічним станом з ефективним безперервним захистом від аварійних режимів роботи; виявляти неефективні режими роботи та приймати обґрунтовані рішення щодо подальшої їх експлуатації; мінімізувати збитки від пошкодження устаткування за рахунок вчасного виявлення несправностей.

Література

1. Праховник А.В. Функціональне діагностування енергетичної ефективності асинхронного електропривода промислових установок і механізмів протягом життєвого циклу / Праховник А.В., Закладний О.М., Закладний О.О.//Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ», 2010. № 28. С. 495–497.

2. Праховник А.В. Контроль та аналіз в реальному часі режимів енерговикористання промислових електроприводів / Праховник А.В., Закладний О.М., Закладний О.О. // Збірник наукових праць Дніпродзержинського державного технічного університету «Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія і практика». – 2007. С. 151–155.
3. Закладний О.М. Мониторинг и функциональная диагностика асинхронного электропривода / Закладний О.М., Закладний О.О. // Специализированная конференция «Автоматизация процессов на объектах ТЭК Украины» – К.: Выставочный центр «АККО Интернешнл», 2009, http://www.pta-expo.ru/ukraine/ukraine_tec/2009/index.htm
4. Праховник А.В. Функціональне діагностування енергоефективності електромеханічних систем з асинхронними двигунами / Праховник А.В., Закладний О.М., Закладний О.О. // Енергетика: економіка, технології, екологія. 2011. №1. С. 66–72.
5. Праховник А.В. Діагностування енергоефективності електромеханічних систем як інструмент енергоменеджменту / Праховник А.В., Закладний О.М., Закладний О.О. // ВІСНИК Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія «Гірництво»: Збірник наукових праць. – Київ: НТУУ «КПІ»: ЗАТ «Техновибух», 2011, – Вип. 21. С. 59–66.
6. Закладний О.М., Закладний О.О., Оборонов Т.Ю. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на комп'ютерну програму «Програмне забезпечення «Методика визначення енергетичної та економічної ефективності застосування регульованого електропривода в насосних установках», №33773 від 18.06.10
7. Закладний О.М., Закладний О.О., Оборонов Т.Ю., Притискач І.В. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на комп'ютерну програму «Методика розрахунків робочих параметрів асинхронного електропривода за паспортними даними», № 33936 від 30.06.10.
8. Закладний О.М., Закладний О.О., Оборонов Т.Ю. Свідоцтво про реєстрацію авторського права «Методика визначення енергетичної та економічної ефективності регульованого електропривода в насосних установках», №35407 від 19.10.2010
9. Закладний О.М., Закладний О.О., Притискач І.В., Оборонов Т.Ю. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на комп'ютерну програму «Діагностика енергетичного стану асинхронного електропривода» № 36472 від 10.01.2011
10. Закладний О.М., Закладний О.О., Оборонов Т.Ю. Свідоцтво про реєстрацію авторського права «Методика та алгоритми діагностування електродвигунів» № 36471 від 10.01.2011
11. Закладний О.О. Енергетична модель формування і збереження еталонів для систем функціонального моніторингу асинхронного електропривода / Закладний О.О., Закладний О.М., Притискач І.В. // ВІСНИК Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія «Гірництво»: Збірник наукових праць. – Київ: НТУУ «КПІ»: ЗАТ «Техновибух», 2011, – Вип. 20. С. 159–166
12. Закладний О.О. Методика розрахунків робочих параметрів асинхронного електропривода за паспортними даними / Закладний О.О., Закладний О.М., Притискач І.В. // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. 2010, № 4/2010 (63), частина 3, С. 119–126.
13. Закладний А.Н. Методы оценки срока службы асинхронных электродвигателей / Закладный А.Н., Закладный О.А. // Енергетика та електрифікація / – Київ, 2010, №4, С.63–67.
14. Закладний О.О. Оцінка залишкового ресурсу асинхронного електропривода // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія «Гірництво»: Збірник наукових праць. – Київ: НТУУ «КПІ»: ЗАТ «Техновибух», 2010, – Вип. 19. С. 137–146
15. Закладний О.О. Прогнозування залишкового ресурсу асинхронного електропривода / Закладний О.О., Закладний О.М. // Науково-технічний розвиток: економіка, технології, управління: Матеріали ІХ Міжнародної науково-практичної конференції, м. Київ, 21–24 квітня 2010 року. – К.: НТУУ «КПІ», 2010. – 220 с. С.195.