

Фізико-технічні проблеми транспорту та зберігання енергоносіїв

УДК 621.313 : 621.67

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ЕЛЕКТРОПРИВОДНИХ НАСОСНИХ АГРЕГАТИВ У НАФТОГАЗОВІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ

Є.І. Крижанівський, В.С.Костишин, О.М. Карнаш

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 48003
feivt@nung.edu.ua

Рассматривается современное состояние развития высокоэффективного энергетического оборудования и перспективы его внедрения в нефтегазовой промышленности Украины на примере электроприводных насосных агрегатов. Показана необходимость государственной поддержки программы энергосбережения на первом этапе ее реализации.

Modern development of high-efficiency power equipment and prospect of his introduction status is examined in oil and gas industry of Ukraine on the example of power-driven pumping aggregates. The necessity of state support of the energy saving program on the first its implementation phase is shown.

Рівень розвитку енергетики має визначальний вплив на стан економіки кожної держави, на вирішення проблем соціальної сфери та рівень життя людей. Тому небезпідставно енергетичну незалежність завжди пов'язують з національною безпекою.

Власне тому кожна розвинута держава формує відповідну структуру і кількісні показники енергетичних ресурсів. Природно, що ці показники зростають зі збільшенням населення, з підвищенням економічного розвитку та технічного прогресу. Тільки за останні 100 років населення Землі збільшилось майже в 4 рази, а річне використання енергоресурсів – у 21 раз.

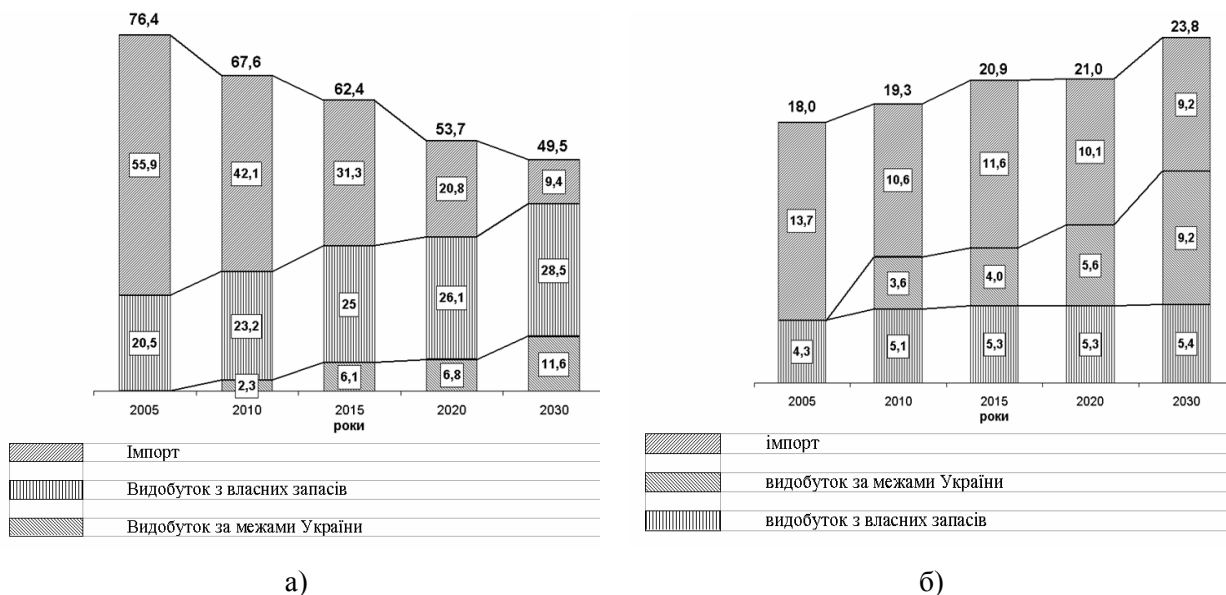
На початку ХХІ століття США розробили і реалізують План нової енергетичної політики, щоб зробити Америку світовим лідером в енергоефективності та енергоощадності. Для нашої держави програмним енергетичним документом на близьку і подальшу перспективу повинна стати Енергетична стратегія України на період до 2030 року.

В енергетичному балансі України 60% займає нафта і газ. Забезпечення паливними ресурсами та рівень цін на них істотно впливають на життєвий рівень населення. Це цілком зрозуміло, зважаючи на те, що споживання тільки природного газу в Україні складає близько 41% від усієї спожитої енергії, що майже вдвічі

перевищує середньоєвропейський показник (рис. 1).

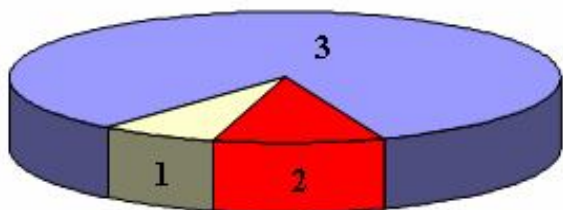
Сьогодні Україна належить до енергодефіцитних країн. За обсягами власного видобутку газу, а це понад 20 млрд. куб. м, Україна посідає 26 місце у світі і забезпечує свою потребу лише на 25%. Аналогічна ситуація склалася також із забезпеченням нафти, власний видобуток якої 4,3 млн. тонн складає 24% від необхідних для країни обсягів.

Таким чином, в умовах гострого дефіциту енергоресурсів особливої актуальності набуло вирішення питання впровадження енергозберігаючих технологій. Особливо яскраво сучасну енергетичну ситуацію характеризує незадовільний стан енергозаощадження в перекачувальних агрегатах рідин і газів, які використовують для приводу електричну енергію. Проблему підвищення ефективності роботи цих агрегатів розглянемо на прикладі електроприводних насосних агрегатів (ЕНА), які споживають майже третину всієї виробленої електроенергії. Результати багатьох світових досліджень підтвердили загальновідому тезу про те, що основними чинниками підвищення ефективності роботи ЕНА є правильний вибір енергетичного обладнання та використання регульованого електропривода, які в сукупності здатні заощадити до 60-70% спожитої енергії.



а – природного газу, млрд.м³; б – нафти і газового конденсату, млн.т
Рисунок 1 – Прогнозна динаміка видобутку та імпорту для забезпечення власного споживання

У структурі кошторисних витрат, пов'язаних з придбанням та експлуатацією, ЕНА складає лише 5-10% [1], у той час як частка оплати за спожиту електроенергію складає 75-90%. Ще 5-15% становить вартість обслуговування та ремонтних робіт (рис. 2). Однак аналіз сучасного стану проблеми свідчить, що в Україні, зокрема в нафтогазовій промисловості, здебільшого експлуатується морально та фізично застарілі, з низьким ККД (нижче 50%), які, крім того, реалізують неефективні експлуатаційні режими, пов'язані з вимушеним дроселюванням потоку енергоносія. Виникла небезпека накопичення в Україні відносно дешевих неефективних електродвигунів та насосів, які витісняються зі світового енергетичного ринку.



1 – закупівельна вартість; 2 – вартість обслуговування та ремонтних робіт; 3 – вартість спожитої електроенергії

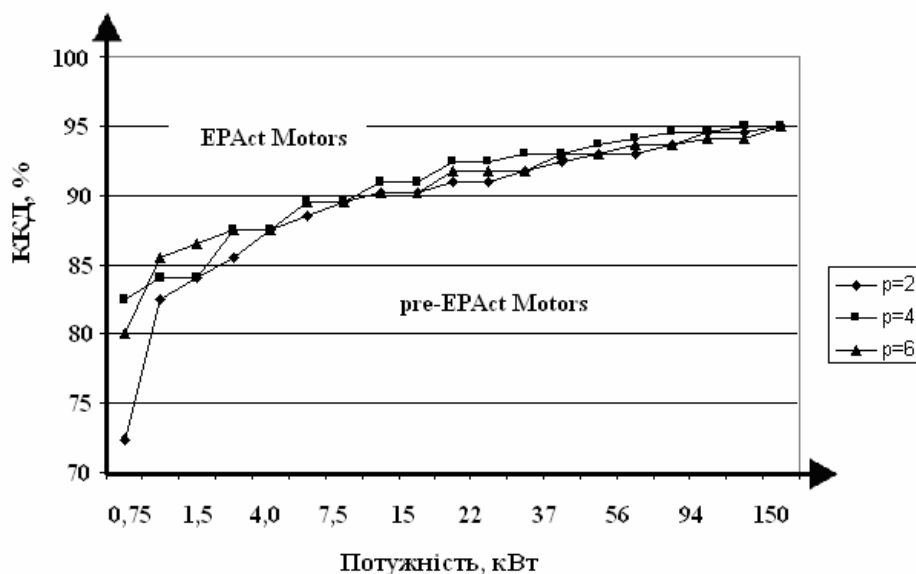
Рисунок 2 – Структура кошторисних витрат, пов'язаних з придбанням та експлуатацією електроприводних насосних агрегатів

Однією з причин такої ситуації є практична відсутність вітчизняного виробництва високоефективних електродвигунів та насосів, стимулів для впровадження імпортованих високоефективних ЕНА.

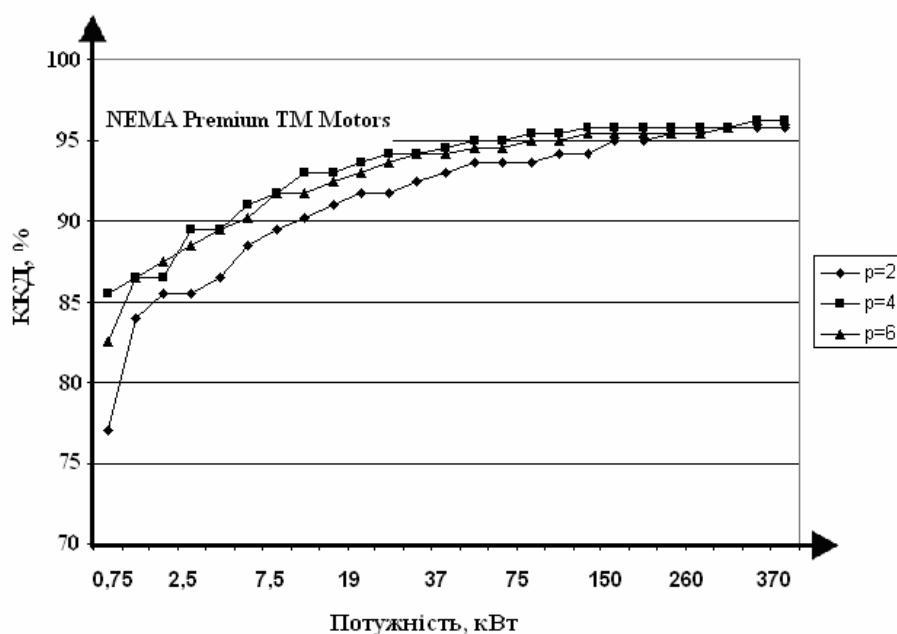
Низька ефективність функціонування вітчизняних ЕНА зумовлена відсутністю діагностичних інформаційно-вимірювальних комплексів для оперативного аналізу показників ефективності та надійності функціонування агрегатів – єдиних джерел достовірної інформації про реальний енергетичний стан ЕНА.

Майже не використовується значний досвід високорозвинених країн світу в питанні широкого використання енергетичного обладнання з високим ККД. Тому питання державної підтримки та пропаганди використання такого обладнання є однією з складових енергетичної безпеки України. Особливої уваги заслуговує досвід впровадження в цих країнах високоефективних електродвигунів (ВЕД), в яких підвищені на 2-6% номінальні значення ККД [2]. Це дало змогу значної економії електроенергії. З урахуванням великої кількості ВЕД і довготривалого їх використання та стрімкого зростання вартості енергоносіїв, зменшення споживаної потужності кожного двигуна, призводить до значного енергозощадження, адже підвищення ККД електродвигуна лише на 1% дає змогу заощадити електроенергію, вартість якої перевищує вартість самого електродвигуна.

Досвід високорозвинених країн світу показує, що у вирішенні питання впровадження ВЕД саме держава відіграє основну роль як координатор стосунків “виробник-споживач”. Так, у прийнятому в 1992 році у США “Законі про енергетичну політику” було передбачено введення з жовтня 1997 року нових стандартів оцінки ефективності електродвигунів, згідно з якими встановлено мінімальні значення ККД для найпоширенішої групи асинхронних двигунів потужністю 1-120 кВт, які виробляють або імпортують у США (рис. 3). Електродвигуни з підвищеним ККД дістали назву “EPAct



а)



б)

а) “EAct Motors” (відкрите виконання) для кількості пар полюсів $p=2,4,6$ (США, 1992)
 б) “NEMA PremiumTM Motors” (відкрите виконання) для кількості пар полюсів $p=2,4,6$ (США, 2001)

Рисунок 3 – Номінальні значення ККД

Motors”. У квітні 1997 року одна тисяча дев’ясот сорок два підприємства та установи країни, що увійшли в державну програму *Motor Challenge*, отримали безкоштовно комп’ютерну програму “*MotorMaster+*”, в якій розміщено електронну базу даних про всі ВЕД, вироблені американською асоціацією виробників електродвигунів (*NEMA*), і за допомогою якої з використанням спеціальної методики *Life Cycle Costs (LCC)* [3] можна швидко провести порівняльний техніко-економічний розрахунок ефективності впровадження ВЕД. Вказане ново-

введення було настільки успішним, що в червні 2001 року *NEMA* було запропоновано нове покоління ВЕД потужністю до 380 кВт із ще вищим ККД, які дістали назву *NEMA PremiumTM Motors*.

За підрахунками спеціалістів американського Бюро індустріальних технологій заборона експлуатації низькоефективних електродвигунів дала змогу щорічно заощаджувати 5 мільярдів кіловат-годин електроенергії, що еквівалентно економії 250 мільйонів доларів США та зменшенню викидів в атмосферу 1000000 тонн

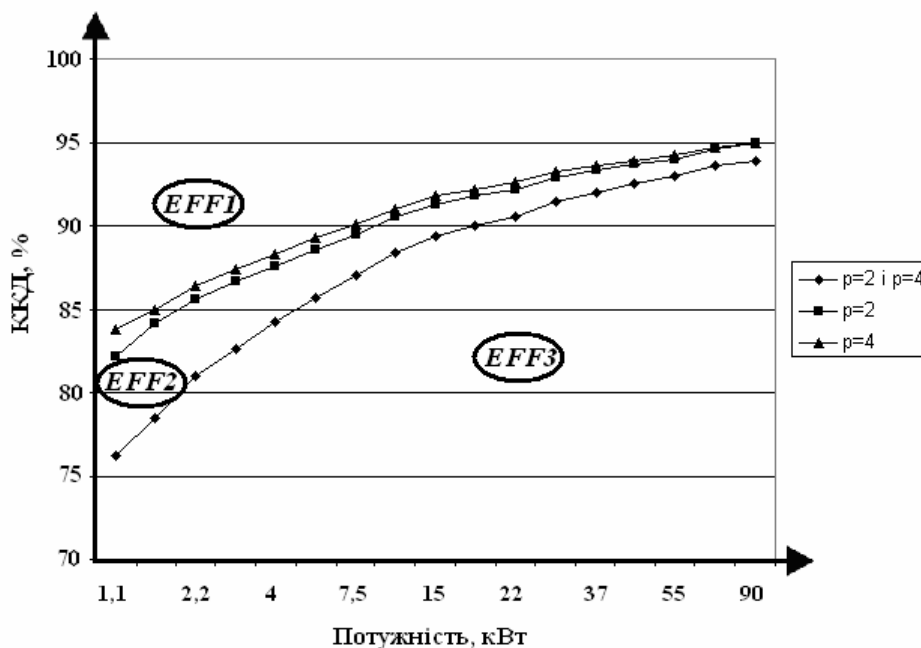


Рисунок 4 – Класифікація ВЕД в країнах ЄС (2001)

двоокису вуглецю. За прогнозами Департаменту Енергетики США до 2010 року завдяки впровадженню *NEMA Premium™ Motors* економія зросте в 20 раз і досягне 100 мільярдів кіловат-годин електроенергії, а зменшення викидів в атмосферу двоокису вуглецю буде рівноцінним зникненню з американських доріг 6 мільйонів автомобілів. Слід також зазначити, що тестування електродвигунів проводиться незалежними лабораторіями, за спеціальною методикою, розробленою американським інститутом інженерів з електротехніки та електроніки [4].

Аналогічна програма “*Motor Challenge Programme*”, була започаткована в Євросоюзі в 2003 році. В угоді між Єврокомісією та європейським комітетом виробників електричних машин та силової електроніки встановлена нова класифікація ефективності електродвигунів (рис. 4) з метою кращої орієнтації покупців на ринку. Як і “*MotorMaster+*”, новостворена Комп’ютерна програма “*EuroDEEM*” містить об’ємну базу даних ВЕД, виготовлених в Європі. За оцінками спеціалістів щорічне заощадження електроенергії в країнах ЄС від впровадження програми “*Motor Challenge Programme*” складає 27 мільярдів кіловат-годин, що еквівалентно економії 1,3 мільярдів євро. Крім цього, реалізація програми дає змогу отримати додаткові вигоди [5]:

- заощадження 600-1300 мільйонів євро щорічно на зниженні витрат на експлуатацію та обслуговування ВЕД;

- заощадження 700 мільйонів євро щорічно на витратах для охорони довкілля та зменшення викидів в атмосферу (10 мільйонів тонн двоокису вуглецю);

- зменшення потреби створення 6 ГВт нових потужностей електростанцій протягом наступних 20 років.

На відміну від американського законодавства європейський договір не встановлює обов’язковий рівень ККД, а визначає три класи ефективності – надаючи виробникам стимул підпадати під вищий клас. Про результативність такої політики свідчить той факт, що вже в 2003 році виробництво та продаж електродвигунів низькоефективного класу в країнах ЄС було скорочено вдвічі. Цікаво відзначити, що у Польщі – найближчій сусідки України, яка вже ввійшла до складу країн ЄС, з 2004 року бурхливо розвивається програма *PEMP*, мета якої – впровадження на енергетичному ринку нового покоління ВЕД, кількість яких за п’ять років має перевищити 15% [6].

Окрім США та країн ЄС такі ж тенденції розвитку енергозощадливого обладнання спостерігаються в Японії, Китаї, Канаді, Росії та багатьох інших державах світу. Процеси глобалізації призвели до появи в 2005 році міжнародного комп’ютерного програмного забезпечення, яке об’єднує та уніфікує бази даних світових виробників ВЕД.

Ще більші перспективи енергозощадження в насосного обладнання. За даними експериментальних досліджень, проведених на 20 підприємствах Фінляндії, середнє значення ККД 2000 відцентрових насосів (ВН) не перевищує 40%, а кожного десятого – менше 10%. Аналогічна ситуація і у Великобританії, де встановлено, що їх середнє значення ККД на 12-20% менше від свого номінального значення [7].

Така низька ефективність роботи в більшості випадків спричинена неправильним підбором насосного агрегату, зазвичай, завищеної потужності. У 2001 році спільними зусиллями Інституту гідравліки НІ (США), Департаменту енергетики USDOE (США) та *EUROPUMP* (Євросоюз) створене і розміщене в Інтернеті

для безкоштовного використання спеціалізоване програмне забезпечення Pumping System Assessment Tool (*PSAT*) [8], за допомогою якого можна визначити реальну ефективність (ККД) ВН та порівняти її з оптимальним значенням.

У січні 2005 року європейські виробники насосного обладнання підписали угоду про маркування власної продукції відповідно до класу енергоспоживання, а контроль за виконанням цієї угоди було покладено на *EUROPUMP* [9].

Заслуговує на увагу також той факт, що активного втручання держави та певної фінансової підтримки вище згадані енергозощаджувальні програми потребують лише на початковій стадії свого впровадження, яка в середньому триває протягом 4-5 років. В основному, з державного бюджету та зі спеціальних фондів громадських організацій (здебільшого пов'язаних з охороною довкілля) фінансуються інформативні, освітні, енергоаудитні та сертифікаційні програми, стимулюються як виробники, так і споживачі високоефективного енергетичного обладнання. Надалі ж ці програми самофінансуються.

Аналіз світового досвіду енергозощадження дає змогу визначити наступні шляхи вирішення вказаного завдання в Україні, та у нафтогазовій промисловості зокрема. У першу чергу необхідно забезпечити оперативне отримання достовірної інформації про ефективність та надійність функціонування кожного конкретного ЕНА, для чого слід створити мобільні лабораторії, обладнані сучасними високоточними сертифікованими вимірювальними приладами, здатними оперативно, без порушення технологічного процесу ЕНА, отримувати та аналізувати на місці за допомогою портативних ЕОМ інформацію про показники якості енергії як в електричній, так і в гідравлічній підсистемах агрегату та ефективності енергоперетворення. Крім того, потрібно ліцензувати діяльність цих лабораторій, що, у свою чергу, вимагає розроблення та затвердження відповідних методик проведення енергетичних обстежень функціонування ЕНА. З цієї точки зору особливої уваги заслуговують новітні методи діагностики енергетичного обладнання, зокрема розроблений в США метод Motor Circuit Analysis (MCA) [10] для вимірювання та аналізу з використанням портативних приладів ALL-TEST IV PRO™ 2000 таких параметрів приводних електродвигунів, як їх активні опори та індуктивності обмоток, опір ізоляції тощо, а також термодинамічний метод дослідження результуючого ККД ВН за допомогою вище згаданого вимірювального комплексу "YATESMETER" (рис.5) (Великобританія, 1996р)[1].

Характерною особливістю термодинамічного методу є заміна складної операції вимірювання витрати робочої рідини у ВН на процедуру експериментального визначення її температури. З цією метою в технологічні гнізда манометрів додатково встановлюють високочутливі термометри, що дає змогу одночасно отримати достовірну інформацію про перепад

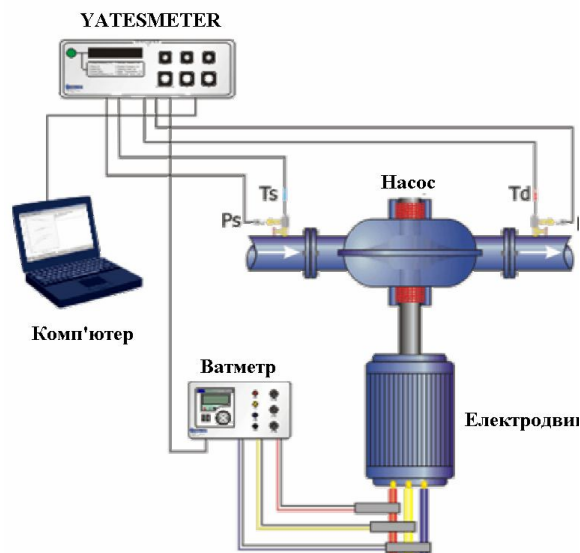


Рисунок 5 – Дослідження результуючого ККД ВН за допомогою вимірювального комплексу "YATESMETER"

тисків і температур на вході та виході ВН без порушення технологічного режиму його роботи.

Центральною ланкою енергозощадження є впровадження у нафтогазову промисловість України високоефективних ЕНА та забезпечення їх функціонування в зоні найвищих значень результуючого ККД. У зв'язку з цим необхідно:

- створити вітчизняні аналоги програмного забезпечення "MotorMaster+", "EuroDEEM" та "PSAT", які б давали змогу енергетичним службам швидко вирішувати питання обліку, правильного вибору (відповідно до вимог технологічного процесу), експлуатації та ремонту ЕНА, містили б електронну базу даних продукції українських та зарубіжних виробників, забезпечувати оцінку ефективності роботи енергетичного обладнання;
- розробити та затвердити уніфіковану методику проведення техніко-економічного порівняння варіантів вибору нового та заміни старого електро- та гідромеханічного обладнання;
- отримати та систематизувати інформацію про українські та зарубіжні електродвигуни і насоси, їх цінні та технічні характеристики, шляхи поставки до споживача;
- розробити методику розрахунку економічної ефективності впровадження регульованого ЕНА.

Необхідно створити єдині наукові засади функціонування енергетичних машин та розробити на їх основі методики та програмне забезпечення енергозощадливих технологій. У кінцевому варіанті слід вирішити завдання знаходження умов досягнення максимальної економічності енергетичного устаткування.

Особливої уваги заслуговує пропаганда енергоощадних технологій.

Необхідно також налагодити підготовку кваліфікованих кадрів – енергетиків промислових підприємств, здатних правильно використовувати розроблене програмне забезпечення – українські аналоги *MotorMaster+*, *“EuroDEEM”* та *“PSAT”*. Впровадження ефективного енергетичного обладнання із врахуванням його великої потужності і довготривалого використання, стрімкого зростання вартості енергоносіїв безумовно призведе до значних об’ємів енергозаощадження.

Аналогічна ситуація і з перспективами впровадження високоефективних насосів, а заміна нерегульованого ЕНА на регульований дасть змогу заощадити до 40% і більше споживаної електроенергії. Термін окупності впровадження високоефективного або регульованого ЕНА становить від 3 місяців до 3 років [2].

Впровадження високоефективних електродвигунів, а також іншого енергетичного обладнання є стратегічним напрямком у вирішенні питання енергозаощадження не лише в нафтогазовій, але й в усіх без винятку галузях промисловості України. Значне заощадження електроенергії також дасть змогу відмовитися від будівництва нових електростанцій, а, отже, зменшити викиди в атмосферу двоокису вуглецю.

В Україні вже зроблено перші кроки в напрямку реалізації вище вказаних завдань. В Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу створено мобільну комп’ютеризовану лабораторію з використанням новітніх технологій віртуальних приладів (рис. 6) для проведення енергоаудиту промислових та житлово-комунальних об’єктів області, зокрема тих, які оснащені ЕНА. Також, опираючись на принципи термодинаміки невірноважених процесів і мехатроніки, розроблено комп’ютерну програму для розрахунку економічної ефективності впровадження регульованого ЕНА за режимними та каталоговими даними енергетичного обладнання, розпочато роботу над створенням вітчизняних аналогів програмного забезпечення *“MotorMaster+”* і *“EuroDEEM”*. Окрім того, силами лабораторії проводяться тепловізійні дослідження приміщень університету та підприємств нафтогазового комплексу, зокрема Богородчанського управління магістральних газопроводів, а також впроваджуються високоефективні системи опалення.

Перші кроки зроблено, однак вирішення наступних завдань, які пов’язані з впровадженням високоефективних конструкцій енергетичного обладнання, вимагає державної підтримки, особливо в питаннях стимулювання енергозаощадливих технологій та їх нормативно-законодавчого забезпечення. Світовий досвід показує, що без цього зустрічного кроку держави ми приречені на довготривале тупцювання на місці у хвості гонки за енергетичне виживання у когорті малорозвинутих країн.



Рисунок 6 – Дослідження енергетичних характеристик ЕНА за допомогою мобільної лабораторії

Література

- 1 Yatesmeter Pump Monitoring Systems. Products and services. Internet: http://www.yatesmeter.co.uk/products_services.htm
- 2 Костишин В.С. Перспективи впровадження високоефективних електродвигунів у нафтогазовій промисловості України // Нафтогазова енергетика. – 2006. – №1. – С. 89-93.
- 3 Pump Life Cycle Costs: A Guide to LCC Analysis for Pumping Systems. Internet: http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/pdfs/pumplcc_1001.pdf
- 4 Paul E. Scheihing. U.S. Department of Energy's Motor Challenge Program: A National Strategy for Energy Efficient Industrial Motor-Driven Systems. Internet: http://www.eereweb.ee.doe.gov/industry/bestpractices/motor_challenge_national_strategy.html
- 5 Hans De Keulenaer. Motor Challenge. Internet: <http://www.eurocopper.org/eci/archives/docs/PKENMotorChallenge122003.pdf>
- 6 Piotr Jurasz PEMP – Polish Energy Efficient Motors Programme. Internet: <http://www.motors.copperwire.org/Files/jurasz.pdf>
- 7 Greg Case. There's money to be saved by operating pumps more efficiently. Internet: <http://www.chemicalprocessing.com/articles/2003/161.html>
- 8 Pumping System Assessment Tool User Manual. Internet: http://www.ornl.gov/etd-equip/PSAT/User_manual.pdf
- 9 Ecopump Statement. Internet: <http://www.pump-zone.com/article.php?articleid=288>
- 10 Penrose, Howard W, Ph.D., Motor Circuit Analysis: Theory, Application and Energy Analysis. Success by Design Publishing, 2001.