

---

---

# ***Енергетика, контроль та діагностика об'єктів нафтогазового комплексу***

---

---

УДК 621.317

## **АДАПТАЦІЯ ІСНУЮЧОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ З ВИБОРУ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВИСОКОЕФЕКТИВНИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ДО УМОВ УКРАЇНИ**

*В.С.Костишин, А.П.Ємчук*

*ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 48003*

*e-mail: feivt@nung.edu.ua*

*Розглядається сучасний стан програмного забезпечення з вибору та експлуатації високоефективних електродвигунів і перспективи його впровадження в нафтогазовій промисловості. Показані шляхи його адаптації до умов України, а також необхідність державної підтримки програми енергозаощадження на першому етапі її реалізації.*

**Ключові слова:** високоефективний електродвигун, енергозбереження, програмне забезпечення

*Рассматривается современное состояние программного обеспечения для выбора и эксплуатации высокоэффективных электродвигателей и перспективы его внедрения в нефтегазовой промышленности. Показаны пути его адаптации к условиям Украины, а также необходимость государственной поддержки программы энергосбережения на первом этапе ее реализации.*

**Ключевые слова:** высокоэффективный электродвигатель, энергосбережение, программное обеспечение

*The modern situation of high-efficiency electric motors software choice and exploitation is examined and future trends of its introduction in oil and gas industry. The ways of its adaptation to the Ukraine conditions are considered. Also the necessity of state support of the energy saving program on the first its implementation phase is shown.*

**Keywords:** high-efficiency electric motor, energy-saving, software

Впровадження в Україні та її нафтогазовій промисловості зокрема високоефективних електродвигунів (ВЕД) класу EFF2 та «преміумного» класу EFF1 [1], у яких порівняно зі стандартними електродвигунами, виготовленими за застарілими догмами мінімальної вартості використаних матеріалів, за рахунок збільшення маси активних матеріалів (заліза і міді) та покращеній технології виробництва підвищені на 2-6% номінальні значення ККД, дає змогу значно зекономити електроенергію. Адже закупівельна, дещо більша (на 15-30%) вартість двигуна складає лише декілька відсотків від загальних витрат, пов'язаних з його функціонуванням. З врахуванням великої кількості ВЕД і довготривалого їх використання та стрімкого зростання вартості енергоносіїв, зменшення споживаної потужності кожного двигуна, безумовно призводить до значних об'ємів енергозаощадження.

Однак, аналіз сучасного стану проблеми свідчить, що в Україні здебільшого експлуатуються морально та фізично застарілі двигуни з низьким ККД (нижче 50%), які, крім того, реалізують неефективні експлуатаційні режими. Виникла також небезпека надходження в Україну і її нафтогазову промисловість зокрема відносно дешевих неефективних електродвигунів класу EFF3, які витісняються зі світового енергетичного ринку.

Однією з причин такої ситуації є практична відсутність вітчизняного виробництва високоефективних електродвигунів. Крім того, існує стійкий стереотип мислення про доцільність придбання нової техніки лише за критерієм її закупівельної вартості (часто із з "запасом" потужності) без проведення глибокого техніко-економічного аналізу можливих варіантів. Він спричинений відсутністю методик та спеціалізованого програмного забезпе-

чення, які б давали змогу кваліфікованому енергетичному персоналу підприємств оперативно вирішувати питання правильного вибору, придбання, експлуатації та ремонту цього енергетичного обладнання, містили б електронну базу даних продукції українських та зарубіжних виробників. Зокрема існуючі закордонні програмні продукти - MotorMaster+ 4.0 (США) та MotorMaster+ International (ЄС) з вибору ВЕД вимагають серйозного доопрацювання (адаптації) для застосування в умовах України, оскільки вони використовують специфічні методики техніко-економічних розрахунків та мають англomовний діалоговий інтерфейс.

Розрахунок річної вартості заощадженої електроенергії при заміні електродвигуна стандартного виконання на ВЕД тієї ж потужності та швидкості обертання (кількості полюсів) виконується за формулою [2]

$$Z = N_{ном} k_3 T C_0 \left( \frac{\eta_{ВЕД} - \eta_{СЕД}}{\eta_{ВЕД} \eta_{СЕД}} \right) \text{ грн, (1)}$$

де:  $N_{ном}$  – номінальна потужність електродвигуна, кВт;

$k_3$  – коефіцієнт завантаження, %;

$T$  – час експлуатації протягом року, год;

$C_0$  – вартість електроенергії, грн./кВт год;

$\eta_{СЕД}, \eta_{ВЕД}$  – відповідно ККД стандартного та високоефективного електродвигунів.

З даної формули видно, що із збільшенням різниці ККД стандартного та високоефективного електродвигунів заощадження будуть зростати.

Використавши формулу заощадження можна обчислити період окупності  $T_{ок}$  електродвигуна

$$T_{ок} = \frac{V}{Z}, \quad (2)$$

де:  $V$  – вартість електродвигуна;

$Z$  – заощадження.

Розрахунок ефективності впровадження ВЕД виконується з використанням спеціальної методики Life Cycle Cost (LCC), яка не знайшла офіційного використання в Україні [3]:

$$LCC = C_{K'} + C_{IN} + C_C + C_O + C_m + C_s + C_{env} + C_d, \quad (3)$$

де:  $C_{IC}$  – первинні витрати, купівельна ціна (двигуна, системи);

$C_{IN}$  – витрати на встановлення, витрати на введення у експлуатацію, пуск (у тому числі і витрати на навчання персоналу);

$C_C$  – вартість спожитої електроенергії;

$C_O$  – експлуатаційні витрати (витрати на систему спостереження);

$C_m$  – витрати на утримання і ремонтні витрати (звичайний прогнозований ремонт);

$C_s$  – витрати, пов'язані з простим обладнання;

$C_{env}$  – витрати на екологію;

$C_d$  – витрати, пов'язані із виведенням обладнання із експлуатації.

Методика розрахунку LCC, як видно з формули (3), включає суму всіх витрат, які несе користувач двигуна протягом усього його терміну експлуатації.

Центральною ланкою аналізу доцільності здійснення та ефективності інвестицій є розрахунок поточної вартості, зокрема чистого приведеного прибутку  $NPV$  – різниці між загальною сумою дисконтованих грошових потоків за весь термін реалізації інвестиційного проекту і початковою [4]:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} - C_0, \quad (4)$$

де:  $C_t$  – грошовий потік упродовж  $t$  років;

$r$  – ставка дисконтування, %;

$C_0$  – сума початкових інвестицій ( $t=0$ );

$t$  – час руху грошового потоку, рік.

Створення програми MotorMaster+ International проходило за участю і підтримкою урядів країн виробників електродвигунів з метою кращого впровадження на ринки ВЕД і цим самим витіснення з експлуатації двигунів з низьким ККД. Відповідно до цього було розроблено цілу систему знижок, які б мали стимулювати покупців до покупки двигуна з вищим значенням ККД таких як: однорівнева знижка (Single-Tier rebates), дворівнева знижка (Two-Tier rebates), базова знижка + бонус (Base-Plus-Bonus), змінна знижка (Sliding-Scale), а також знижка енергозаощадження (Energy Savings).

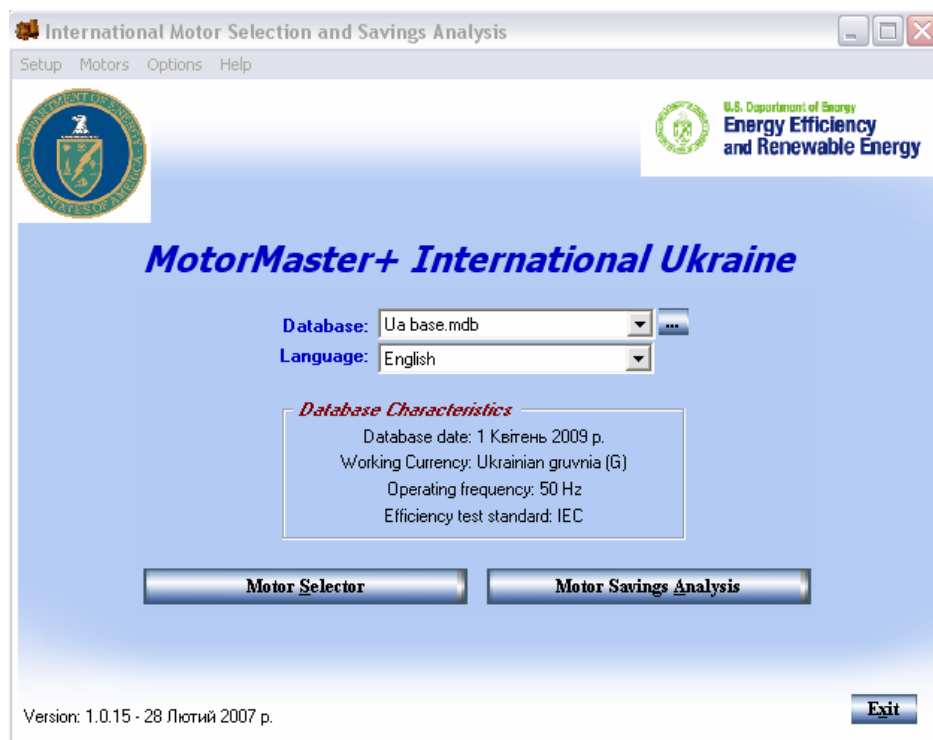
Також програма MotorMaster+ International дає змогу виконати порівняння двох двигунів шляхом розрахунку енергозаощадження з використанням трьох варіантів прийняття рішення:

новий (New) – порівнює рентабельність придбання нового високоефективного двигуна EFF1 замість покращеного двигуна EFF2 або стандартного двигуна EFF3;

перемотування (Rewind) – порівнює витрати на ремонт (перемотування) і продовження експлуатації двигуна EFF3 із заміною його двигуном EFF1;

заміна існуючого (Replace Existing) – порівнює експлуатаційні витрати існуючого двигуна EFF3 із витратами, пов'язаними із заміною його високоефективним двигуном EFF1.

Електронна база адаптованої до умов України програми MotorMaster+ International Ukraine (рис. 1) доповнена копільованою базою електродвигунів, що виробляються на заводах пострадянського простору. Створення такої бази було пов'язане з рядом проблем, в основному – інформативного характеру. Не всі виробники мають каталоги власної продукції, а у наявних каталогах відсутня повна інформація про параметри двигунів. Крім того, спад економіки України призвів до того, що багато заводів по виготовленню електродвигунів отри-



**Рисunek 1 – Головне меню адаптованої програми ММ+І Ukraine**

мали нових власників, інвесторів. Здебільшого інвесторами вітчизняних заводів стали заводи Росії. Наприклад ВАТ “Електромашина” (Харків) увійшов до складу концерну “Росенергомаш” (Росія). До складу цього концерну також входять українські підприємства ЗАТ “Завод великих електричних машин” (Нова Каховка, Херсонська обл.) і ТОВ “Новокаховський завод електромашинобудування”.

Отже, зібравши інформацію про виробників, а також їхні каталоги продукції було відібрано певну кількість виробників електродвигунів для створення бази даних за їх наявною інформаційною базою. До цієї бази даних увійшли такі виробники електродвигунів, як: Торговий дім “ХЕЛЗ” (Україна), ТД “РУСЭЛ-ПРОМ” (Росія), компанія “Елком” (Росія), ТОВ “СпецЕнергоРесурс” (Росія), ВАТ “Електромотор” тощо.

Проведена робота зі створення електронної бази дала підстави зробити висновок, що згідно з класифікацією електродвигунів СЕМЕР на ринку України немає у продажу двигунів класу EFF1. А от на ринку Росії є можливість придбання електродвигунів класу EFF1, але їх вартість перевищує у декілька раз вартість вітчизняних двигунів. Крім того, ці двигуни виробляються у Європі, а не у Росії та Україні. Принципово відсутня технічна можливість виробництва електродвигунів класу EFF1 на застарілому технологічному обладнанні заводів пострадянського простору, а модернізація передбачає велетенські грошові вливання. В 2000 році в Російській Федерації вийшов ГОСТ Р 51677-2000, який регламентує ККД асинхронних двигунів на двох рівнях, що співпадають європейським рівням EFF2 та EFF1, хоча двигунів рів-

ня EFF1 заводи РФ та України не випускають (рис. 2). Тому виникає необхідність у пошуку каналів впровадження двигунів класу EFF1.

За допомогою модуля “Енергозаощадження двигуна” програми ММ+І Ukraine можна виконати аналіз заощаджень електроенергії, грошей і обчислити термін окупності вкладених інвестицій на основі одноставкового тарифу на електроенергію. Аналіз витрат життєвого циклу також доступний у даному модулі.

Було проведено відповідні розрахунки для двигунів інструментального цеху типового нафтогазового підприємства, у якому знаходиться 21 електродвигун сумарною потужністю 227 кВт, з яких 4 – нові класу EFF2; 4 – двигуни, що потребують ремонту або заміни (3 двигуни класу EFF3 та 1 EFF2); 13 – діючих електродвигунів класу EFF3 та EFF2 (двигунів класу EFF1 немає).

Після заміни 12 електродвигунів на 11 двигунів вітчизняного виробництва класу EFF2 та 1 двигун виробництва Німеччини класу EFF1 отримано такі результати:

- сумарні річні заощадження електроенергії – 25148 (кВт·год)/рік;
- річні сумарні грошові заощадження – 13771 грн/рік;
- на кінець 2023 року експлуатації двигунів з врахуванням дисконтування та оподаткування дохід становитиме 38942 грн за сумарної вартості електродвигунів – 30264 грн;
- середній період окупності становитиме 3-4 роки.

Відповідно до отриманих результатів розрахунку енергозаощадження сформульовано такі висновки:

Владимирський електромеханічний завод

Модель	Потужність, кВт	ККД, %	Клас ефективності
5AM 250 M2	90	93	EFF3
5AM 250 S2	75	93	EFF3
5AM 250 M4	90	94	EFF2
5AM 250 S4	75	94	EFF2
5AM 280 M6	90	94,5	EFF2
5AM 280 S6	75	94,5	EFF2
5AM 250 M6	55	92,5	EFF3
5AM 250 S6	45	92,5	EFF3
5AM 315 S8	90	94,5	EFF2
5AM 280 M8	75	93,9	EFF2
5AM 280 S8	55	93,8	EFF2
5AM 250 M8	45	92,5	EFF3
5AM 250 S8	37	92	EFF3
5AM 315 M10	75	93,5	EFF3
5AM 315 S10	55	93,5	EFF2
5AM 280 M10	45	92,5	EFF3
5AM 280 S10	37	92,4	EFF2
5AM 315 M12	55	93	EFF3
5AM 315 S12	45	93	EFF2
5AEY 80 MB2	1,5	74	EFF3
5AEY 80 MA2	1,1	70	EFF3
5AEY 80 MB4	1,1	74	EFF3
5A 225 M2	55	93,5	EFF2
5A 200 L2	45	93,4	EFF2

Харківський електромеханічний завод

Модель	Потужність, кВт	ККД, %	Клас ефективності
AIP 71 B2	1,1	79,5	EFF2
AIP 80 A2	1,5	82,0	EFF2
AIP 80 A4	1,1	76,5	EFF2
AIP 80 B2	2,2	83,0	EFF2
AIP 80 B4	1,5	76,5	EFF3
AIP 80 B6	1,1	75,0	EFF3
AIP 90 L2	3,0	84,0	EFF2
AIP 90 L4	2,2	81,5	EFF2
AIP 90 L6	1,5	78,5	EFF3
AIP 90 LB8	1,1	76,0	EFF3
AIP 100 L6	2,2	77,0	EFF3
AIP 100 L4	4,0	84,0	EFF3
AIP 100 L2	5,5	87,0	EFF3
AIP 100 S2	4,0	84,5	EFF2
AIP 100 S4	3,0	80,0	EFF3
AD 112 M2	7,5	88,0	EFF2
AD 112 M4	5,5	86,0	EFF2
AD 112 MA6	3,0	82,0	EFF3
AD 112 MB6	4,0	82,5	EFF3
ML 80 A2	1,5	82,5	EFF3
ML 80 B2	2,2	83,5	EFF2
ML 80 A4	1,1	77,5	EFF2
ML 80 B4	1,5	80,0	EFF2
ML 80 B6	1,1	75,5	EFF3
ML 90 L2	3,0	84,0	EFF3
ML 90 L4	2,2	82,5	EFF2

Рисунок 2 – Виробництво двигунів класу EFF3 і EFF2 в Україні та Росії

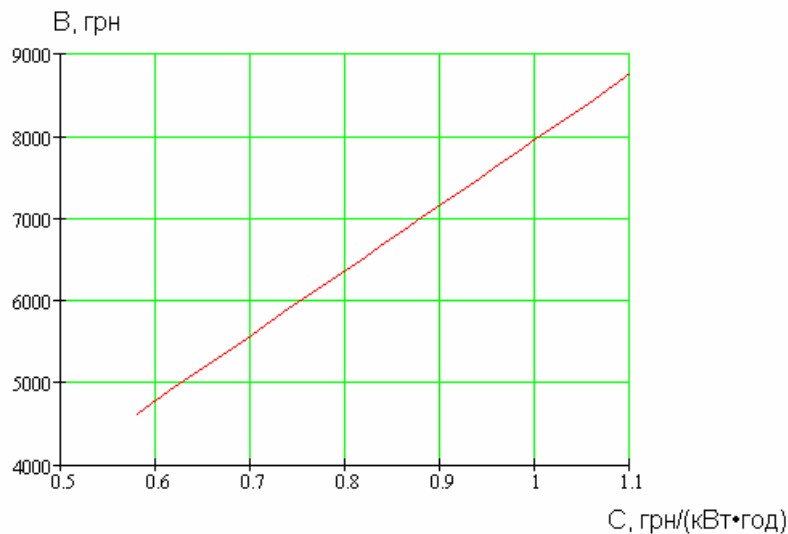


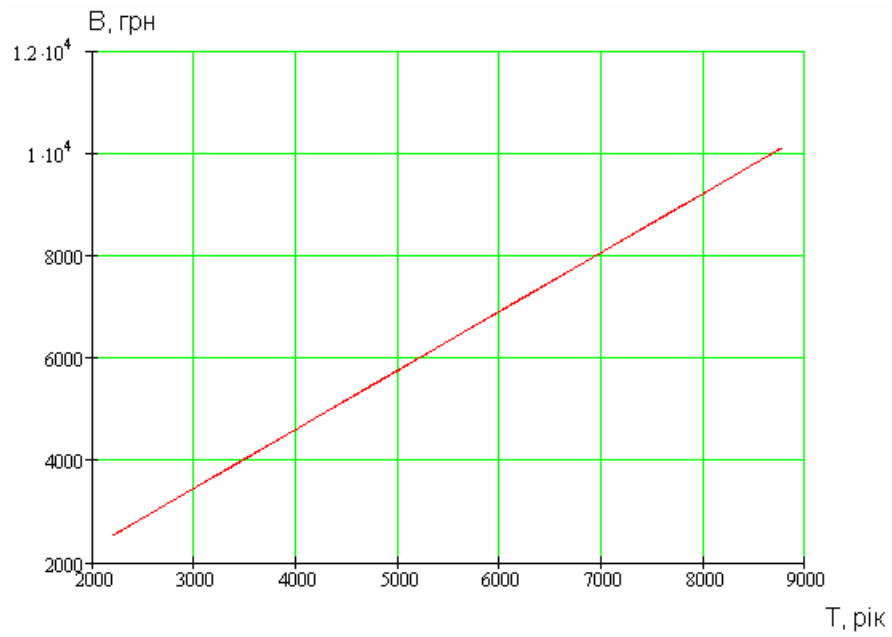
Рисунок 3 – Залежність отриманого доходу від зростання вартості електроенергії C

– якщо різниця ККД двигунів, які порівнюються, досить велика (7-8%), то варто замінити діючий двигун на двигун класу EFF1 навіть з врахуванням його високої вартості;

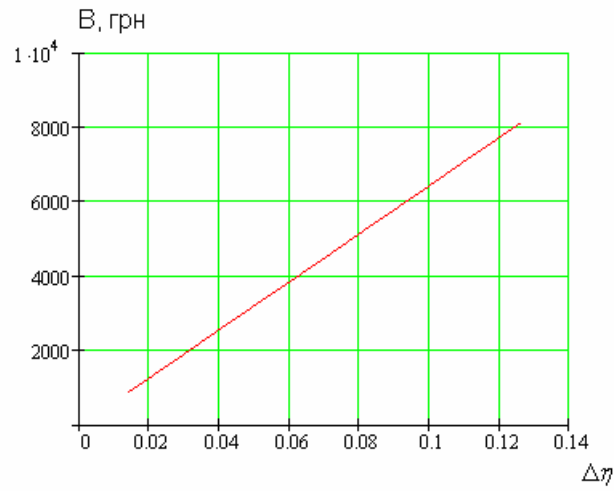
– якщо різниця ККД двигунів, які порівнюються, мала, то в більшості випадків потрібно замінити його на двигун EFF2, оскільки їх вартість є малою;

– якщо двигун протягом року мало експлуатується ( $T < 2000$  год) та його коефіцієнт завантаження малий ( $K_3 < 50\%$ ), то заміна його новим нерентабельна, вигідніше провести його ремонт.

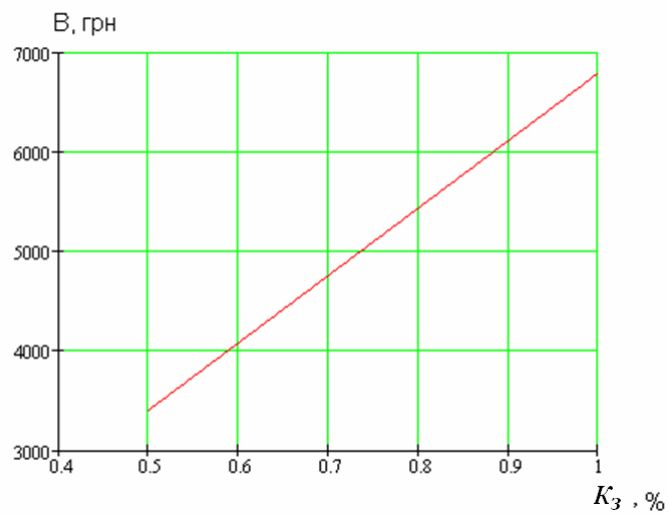
Для більш наочного аналізу отримання доходу побудовано залежності (рис. 3-7), з яких видно, що на величину доходу  $B$  впливають такі параметри, як вартість електроенергії  $C$ , тривалість експлуатації  $T$ , коефіцієнт завантаження  $K_3$ , різниця ККД двох двигунів  $\Delta\eta$  та величина капітальних витрат  $K_{\text{вмт}}$ . Зростання вартості електроенергії, часу експлуатації, коефіцієнту завантаження і різниці ККД двох двигунів сприяють збільшенню заощаджень. Відповідно, зростання величини капітальних витрат призводить до зменшення доходу.



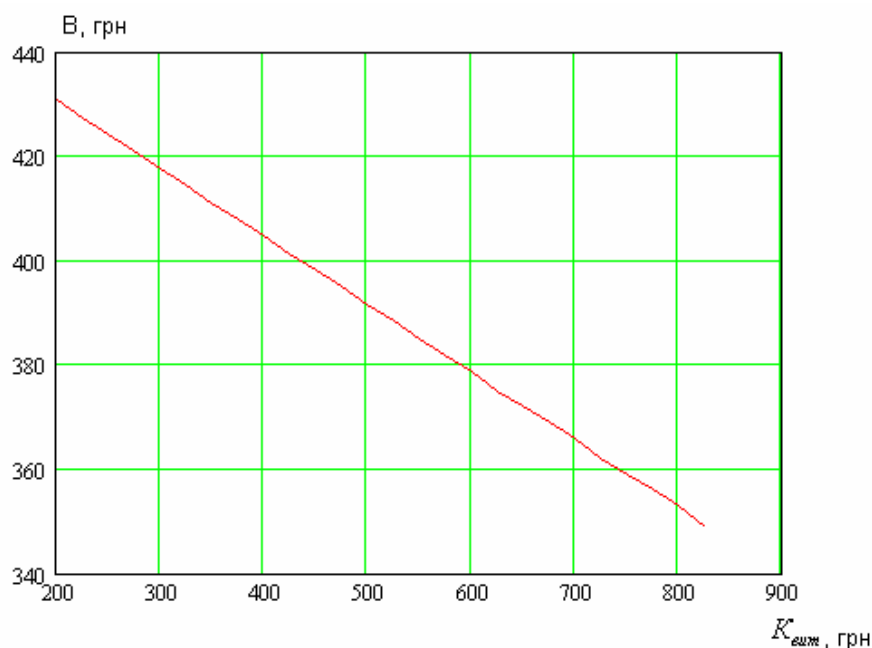
**Рисунок 4 – Залежність отриманого доходу від тривалості експлуатації  $T$**



**Рисунок 5 – Залежність отриманої вигоди від зростання різниці ККД двигунів  $\Delta\eta$**



**Рисунок 6 – Залежність отриманого доходу від зростання коефіцієнта завантаження  $K_z$**



**Рисунок 7 – Залежність отриманого доходу від зростання величини капітальних витрат  $K_{\text{вит}}$**

### *Література*

1 Перспективи впровадження високоефективних електродвигунів у нафтогазовій промисловості України. Костишин В.С. // Нафтогазова енергетика. – 2006.– №1(1) – С. 89-93.

2. Electrical Motor Efficiency.

Інтернет: [http://www.4shared.com/file/63700140/ded60ee4/motor\\_brochure\\_v31.html](http://www.4shared.com/file/63700140/ded60ee4/motor_brochure_v31.html).

3. LCC pump.

Інтернет: [http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/pdfs/pumplcc\\_1001.pdf](http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/pdfs/pumplcc_1001.pdf).

4. Пласкова Н.С. Экономический анализ: Учебник для ВУЗов./ Н.С. Пласкова. – М.: Эксмо, 2009. – 704 с. – ISBN 978-5-699-28743-7.

*Стаття надійшла до редакційної колегії  
18.11.09*

*Рекомендована до друку професором  
В. М. Юрчишиним*