

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ НАСОСНИХ АГРЕГАТІВ

М.Й. Федорів, І.Д. Галушак, П.О. Курляк

*ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (0342) 727172,
e-mail: p k u r l y a k @ g m a i l . c o m*

Підвищення якості і надійності електричних машин – одна з найбільш актуальних проблем сучасного електромашинобудування. Практичні дані свідчать, що збільшення терміну експлуатації та підвищення надійності машин дає кращий ефект, ніж покращення інших техніко-економічних показників: ККД, коефіцієнта потужності, коефіцієнта використання. Найбільш повно і достовірно кількісні показники надійності можуть бути визначені тільки за результатами статистичної обробки інформації, отриманої при експлуатації виробів.

Для підвищення надійності експлуатації і зниження нераціональних втрат електроенергії розроблено алгоритм розподілу навантаження з врахуванням фактичної продуктивності насосного обладнання і часового характеру зміни приєднаного навантаження через аварійне вимкнення насосів. Основна перевага запропонованого методу – в аналітичному вигляді розрахункової моделі розв'язання задачі оптимізації, яка не потребує числових методів та ітераційних процедур.

За основу організації обслуговування робочих місць повинні бути закладені такі принципи як активно-попереджувальний характер обслуговування і підвищення персональної відповідальності за його якість і своєчасність.

Прогресивними формами обслуговування є технічне переозброєння, модернізація обладнання і вдосконалення організації виробництва, а також комплексні методи ремонту і технічного обслуговування електроприводу та застосування системи нормованих завдань.

Ключові слова: надійність, електричні машини, насосні агрегати.

Повышение качества и надежности электрических машин – одна из наиболее актуальных проблем современного электромашиностроения. Практические данные показывают, что увеличение срока службы и повышение надежности машин дает эффективное улучшение других технико-экономических показателей: КПД, коэффициента мощности, коэффициента использования. Наиболее полно и достоверно количественные показатели надежности могут быть определены только по результатам статистической обработки информации, полученной при эксплуатации изделий.

Для повышения надежности эксплуатации и снижения нерациональных потерь электроэнергии разработан алгоритм распределения нагрузки с учетом фактической производительности насосного оборудования и временного характера изменения присоединенной нагрузки из-за аварийного отключения насосов. Основное преимущество предлагаемого метода в аналитическом виде расчетной модели решения задачи оптимизации, которая не требует численных методов и итерационных процедур.

В основу организации обслуживания рабочих мест должны быть заложены такие принципы как активно-предупредительный характер обслуживания и повышения персональной ответственности за его качество и своевременность.

Прогрессивными формами обслуживания является техническое перевооружение, модернизация оборудования и совершенствование организации производства, а также комплексные методы ремонта и технического обслуживания электропривода и применения системы нормированных заданий.

Ключевые слова: надежность, электрические машины, насосные агрегаты.

Improving the quality and reliability of electrical machines is one of the most urgent problems of modern electrical engineering. Practical data show that the increase of service life and reliability of machines gives better results than the improvement of other technical and economic indicators: efficiency, power factor, utilization factor. The quantitative indicators of reliability can be best determined by the results of statistical processing of the information obtained when using the products.

An algorithm of the load balancing based on the actual performance of pumping equipment and temporary changes in the connected load via the emergency shutdown of the pumps has been developed to improve the reliability operation and reduce inefficient energy losses. The main advantage of the proposed method is the analytical design models of optimization, which does not require numerical methods and iterative procedures.

Such principles as active-preventative service and increasing personal responsibility for its quality and timeliness should be the basis for the organization of workposts service.

Progressive forms of service are the technical re-equipment, modernization of equipment and improvement of production organization, as well as complex methods of the electric drive maintenance and application of the system of standardized tasks.

Key words: reliability, electric machines, pumping units.

Вступ

Нераціональне завантаження технологічного обладнання веде до скорочення ресурсу

його роботи і одночасно збільшує питомі енерговитрати на транспортування. Це також стосується електроприводів насосних агрегатів магі-

стральних нафтопроводів, встановлення яких було здійснено в більшості випадків на початкових стадіях введення їх в експлуатацію.

Актуальність і невирішені питання

Електроприводи насосних агрегатів магістральних нафтопроводів, які раніше працювали в номінальному режимі, внаслідок зміни графіку транспортування нафти, працюють в більшості випадків в недовантаженому або перевантаженому режимах. Тому розподіл навантаження між ними (за наявності більше одного електродвигуна на насосній станції) в реальному випадку може бути зовсім випадковим і не залишається постійним в часі.

Проведені статистичні дослідження експлуатаційної надійності привідних двигунів насосних агрегатів дозволили визначити найменш надійні елементи, закон розподілу часу напрацювання на відмову, основні показники надійності їх роботи. Для підвищення надійності електродвигунів і зниження нерациональних втрат електроенергії необхідно розробити алгоритм розподілу навантаження між ними з врахуванням фактичної продуктивності насосного обладнання і часового характеру зміни приєданого навантаження через аварійне вимкнення насосів.

Постановка завдання

Метою цієї роботи є застосування методу дослідження експлуатаційної надійності, основна перевага якого полягає в аналізі і дослідженні реальних даних експлуатації та застосуванні математичної моделі надійності, яка не потребує числових методів та ітераційних процедур. Крім цього, запропонований алгоритм дозволяє оптимізувати навантаження на електроприводів навіть у випадку, коли приєдане навантаження змінюється в часі (аварійне вимкнення насосів).

Результати

На даний час питанням надійності і довговічності електричних машин приділяється велика увага. У цьому напрямі ведуться обширні дослідження. Таким чином, підвищення якості і надійності електричних машин – одна з найбільш актуальних проблем сучасного електромашинобудування. Практичні дані свідчать, що збільшення терміну служби та підвищення надійності машин дає кращий ефект, ніж покращення інших техніко-економічних показників: ККД, коефіцієнта потужності, коефіцієнта використання і т.д.

Надійність є дуже важливим техніко-економічним показником якості будь-якого пристрою чи виробу, в тому числі і електричної машини. У зв'язку з цим при широкому застосуванні електричних машин для приводу різноманітних робочих машин та виконавчих механізмів технічний рівень виробництва у великій мірі визначається надійністю цих машин. Відмови електричних машин в експлуатації наносять велику матеріальну шкоду.

Давно встановлено, що надійність, як властивість виробу, є узагальненим поняттям і характеризується безвідмовністю, зберіганям, довговічністю і ремонтпридатністю. За ступенем свого впливу на надійність усі ці складові приймалися як рівноцінні і їм намагались надати однакову важливість як при проведенні теоретичних досліджень, так і при розробці нормативно технічної документації [1].

Безпосередньо до проблеми підвищення надійності є близька і проблема проведення ймовірнісних (в тому числі і статистичних) методів дослідження надійності. Не є секретом та обставина, що протягом значного часу ймовірнісні й особливо статистичні методи оцінок надійності обладнання неодноразово підлягали критиці через труднощі, що виникли при організації довготривалих випробувань чи випробувань великої кількості зразків.

Теорія надійності розрізняє три характерні типи відмов, котрі внутрішньо притаманні машині чи будь-якому виробу і проявляються незалежно від обслуговуючого персоналу:

- відмови, які виникають протягом раннього періоду експлуатації машини і в більшості випадків виникають внаслідок поганої технології виробництва та низької якості контролю деталей машини при їх виготовленні;

- відмови, викликані зношуванням окремих частин машини, вони виникають в електричних машинах, котрі довгий час працюють без ремонту, або ж неправильно обслуговуються; відмови за рахунок зношування деталей є ознакою старіння машини; у багатьох випадках відмови в роботі машини за рахунок зношування її деталей можуть бути обмежені шляхом своєчасної заміни їх новими під час ремонту машини;

- раптові відмови в період нормальної експлуатації машини, котрі виникають випадково і не можуть бути усунені ні налагодженням, ні кращим обслуговуванням; під раптовою відмовою розуміють відмову, що виникла в результаті стрибкоподібної зміни характеристик або параметрів машини під впливом раптових перевантажень чи інших факторів; ці випадкові відмови підпорядковуються певним загальним закономірностям і їх інтенсивність протягом досить тривалого періоду експлуатації машини приблизно постійна [2].

НПС "Кременчук" – вузлова нафтоперекачувальна станція. Технологічний процес на підприємстві полягає у перекачуванні сирої нафти. Відповідно, основним робочим обладнанням тут є насоси, а основним електрообладнанням – електродвигуни, що приводять їх у рух.

На станції насосні агрегати поділяються на магістральні та підпірні. Основними є магістральні насоси, однак для нормальної їх роботи рідина повинна подаватись на вхід уже під деяким тиском. Саме для створення цього початкового тиску і призначені підпірні насоси. Як підпірні, так і магістральні насоси є відцентрового типу [1].

Для приводу різних типів насосів задіяні різні типи електродвигунів:

- у магістральних агрегатах це синхронні електродвигуни СТД-2500-2394;

- у підпірних – асинхронні DHRL-630LB-04.

На НПС “Кременчук” є чотири магістральні агрегати (три основні і один резервний) та два підпірні.

Резервуарний парк є комплексом з шести взаємно розташованих резервуарів для виконання технологічних операцій прийому, зберігання і відкачування нафти при неузгоджених режимах роботи окремих ділянок нафтопроводів і споживачів. Резервуари використовуються для оперативного обліку нафти.

У резервуарах РВСП1, РВСП2 передбачена вільна частина загальної ємності для аварійного зливання нафти від запобіжних клапанів по зливному трубопроводу (з розрахунку двогодинної пропускної спроможності нафтопроводу «Кременчук-Херсон»).

Обв'язування резервуарів технологічними трубопроводами дозволяє виконувати операції:

- прийом нафти в резервуари з одночасним відкачуванням її з цих же резервуарів (в цьому випадку резервуари виконують роль буферної ємності);

- оперативний облік нафти за рівнем в резервуарах при роздільних технологічних операціях прийому і відкачування нафти;

- перекачування нафти з одного резервуару в інший при проведенні підготовчих робіт до проведення ремонту устаткування в резервуарному парку.

Надійність виробів закладається на стадії проектування і потім втілюється в закінченому виробі на стадії його виробництва. Однак реалізується вона тільки під час експлуатації виробу, оскільки саме від експлуатаційної надійності залежить економічний ефект виробів того чи іншого виду, тої чи іншої конструкції. Тому найбільш повно і достовірно кількісні показники надійності можуть бути визначені тільки за результатами статистичної обробки інформації, отриманої при експлуатації виробів серійного виробництва.

Збір і статистична обробка експлуатаційної інформації про надійність виробів дозволяють здійснити:

- розрахунок показників надійності електрообладнання;

- виявлення конструктивних, виробничих і експлуатаційних факторів, які мають вплив на надійність;

- складання класифікатора умов експлуатації і режимів роботи електрообладнання;

- розроблення пропозицій щодо підвищення надійності;

- розроблення ремонтних нормативів з урахуванням чисельності і кваліфікації ремонтних груп і витрат запасних частин;

- нормування показників надійності електрообладнання.

Нижче наведено статистичну інформацію щодо надійності для різних типів синхронних машин, а саме:

- зміна питомої пошкоджуваності у часі (табл.1);

- питома пошкоджуваність залежно від напруження(табл. 2).

Таблиця 1 – Зміна питомої пошкоджуваності у часі

Період експлуатації, роки	1-5	6-10	11-15	16-19
Загальне число пошкоджень	7	2	5	2
В тому числі в роботі	3	1	2	2
напрацювання, машино-років	113	110	96	21
Питоме число пошкоджень, %	6.2	1.8	5	9.5
В тому числі в роботі, %	2.65	0.9	2	9.5

Таблиця 2 – Питома пошкоджуваність залежно від напруження

Інтервал напруження, год	Питома пошкоджуваність ($U_H=10,5кВ$)
0 - 10 000	0,010
10 000 - 20 000	0,016
20 000 - 30 000	0,011
30 000 - 40 000	0,011
40 000 - 50 000	0,011
50 000 - 60 000	0,017
60 000 - 70 000	0,010
70 000 - 80 000	0,016

Результати розрахунку статистичних параметрів розподілу даної випадкової величини зведені в таблиці 3.

Таблиця 3 – Розрахунок статистичних параметрів

	Δt_i , год	m_i	$\sum_{j=1}^{i-1} m_j$	$\sum_{j=1}^i m_j$	f_i^*	λ_i^*	F_i^*	P_i^*
1	18500-45533,33	7	0	7	$7,19 \cdot 10^{-6}$	$7,19 \cdot 10^{-6}$	0,194444	0,805556
2	45533,33 -72566,67	4	7	11	$4,11 \cdot 10^{-6}$	$5,1 \cdot 10^{-6}$	0,305556	0,694444
3	72566,67 -99600	6	11	17	$6,17 \cdot 10^{-6}$	$8,88 \cdot 10^{-6}$	0,472222	0,527778
4	99600 -126633,3	7	17	24	$7,19 \cdot 10^{-6}$	$1,36 \cdot 10^{-6}$	0,666667	0,333333
5	126633,3 -153666,7	7	24	31	$7,19 \cdot 10^{-6}$	$2,16 \cdot 10^{-6}$	0,861111	0,138889
6	153666,7-180700	5	31	36	$5,14 \cdot 10^{-6}$	$3,7 \cdot 10^{-6}$	1	0

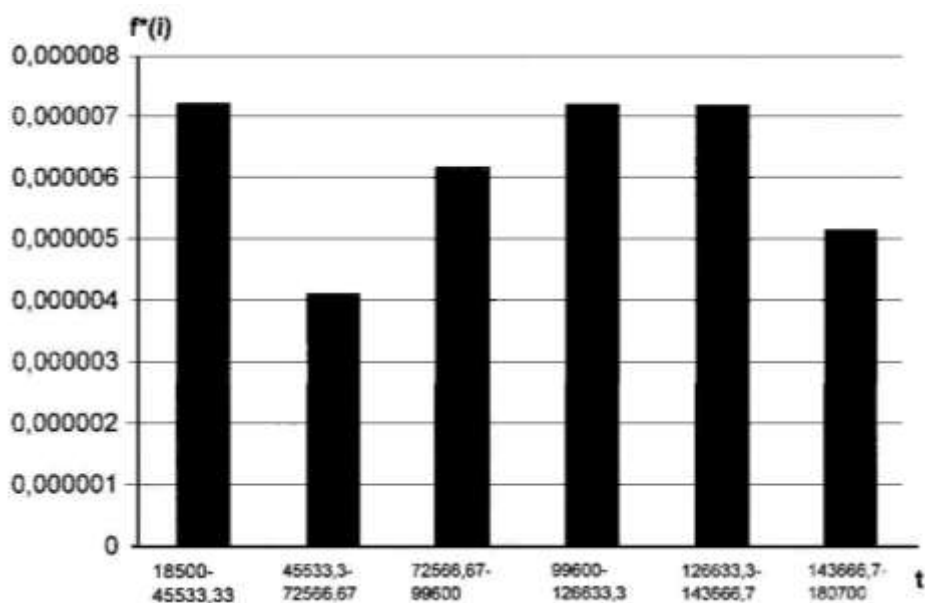


Рисунок 1 – Гістограма густини розподілу

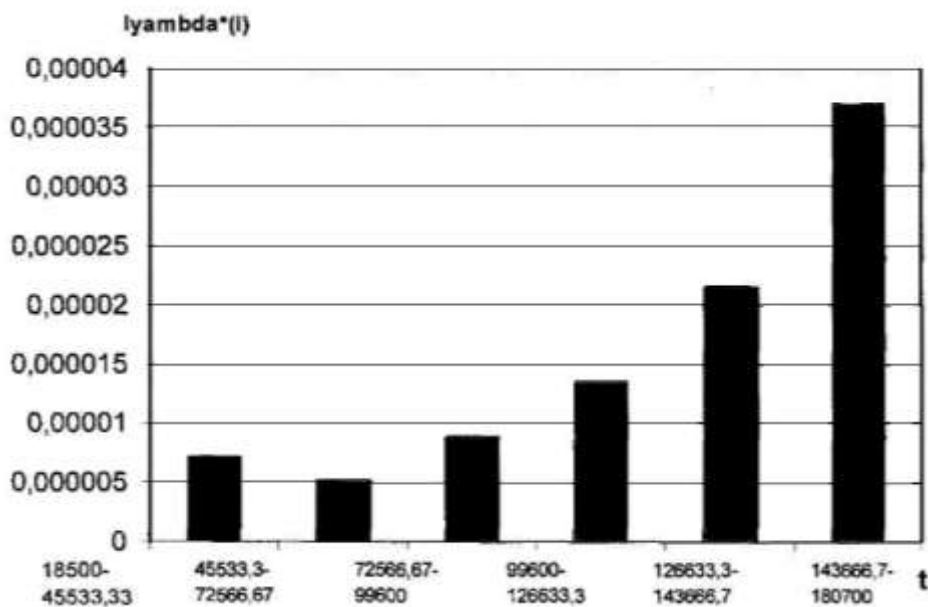


Рисунок 2 – Гістограма інтенсивності відмов

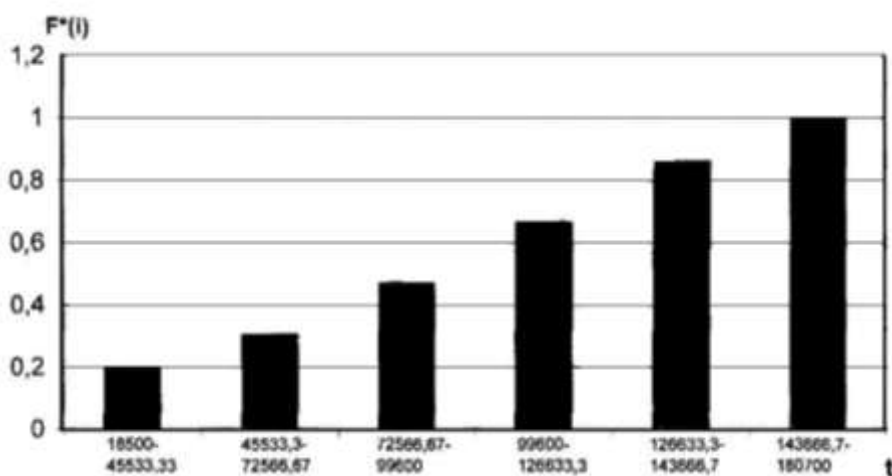


Рисунок 3 – Гістограма функції розподілу

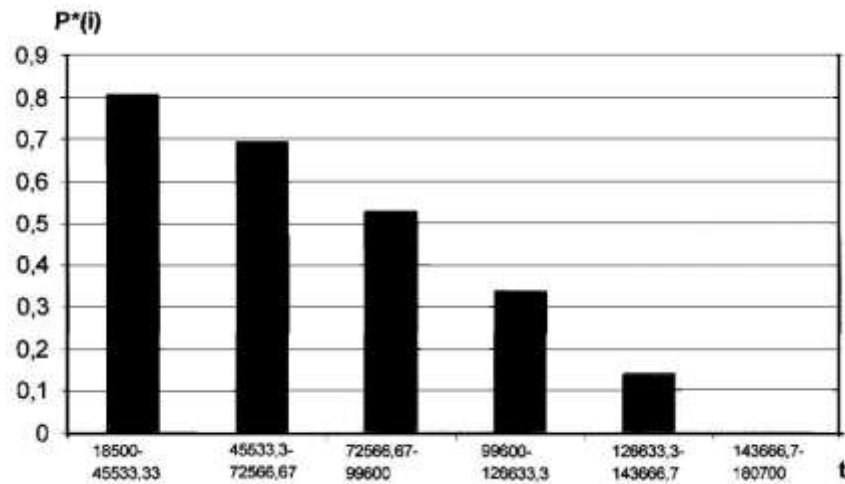


Рисунок 4 – Гістограма ймовірності безвідмовної роботи

Після заповнення розрахункової таблиці (табл. 3) будують гістограми густини розподілу f^* , інтенсивності відмов λ^* , функції розподілу F^* та ймовірності безвідмовної роботи P^* . Для чого на осі абсцис відкладають у певному масштабі усі часові інтервали Δt_i і на кожному з них, як на основі, будують прямокутник, площа якого пропорційна значенню даної функції ($f_i^*, \lambda_i^*, P_i^*$ або F_i^*) для даного інтервалу [2].

Отже перевірка за критерієм Пірсона також підтвердила гіпотезу про закон розподілу.

Виявлено, що у даному випадку має місце закон розподілу Вейбула. Тепер визначимо його параметри: $a=105000$; $b=2,87$.

Тоді ймовірність безвідмовної роботи становитиме:

$$P(t) = \exp \left\{ - \left(\frac{t}{a} \right)^b \right\},$$

або, з врахуванням відомих значень параметрів закону розподілу Вейбула:

$$P(t) = \exp \left\{ - \left(\frac{t}{105000} \right)^{2,87} \right\}.$$

Особливого значення набуває проблема підвищення ефективності використання насосного обладнання і скорочення витрат на його експлуатацію.

Необхідно врахувати, що парк високовольтних електродвигунів на НПС „Кременчук” фізично застарів і не поновлюється через недостатнє фінансування, а система планово-переджувальних ремонтів без науково обґрунтованих періодичності і об’ємів робіт є неефективною. Звідси впливає, що необхідно приділяти достатню увагу питанню надійності обладнання.

В даний час суттєвою проблемою дослідження надійності роботи електричних двигунів є відсутність фіксованих вихідних даних про відмови його елементів. Це пояснюється не тільки скороченням відділів надійності ремонтно-експлуатаційних підприємств та неефективним збором інформації про вдосконалення ЕБО

під час експлуатації, а також недостатнім напрацюванням наукового потенціалу.

Отримано такий розподіл пошкоджувальності вузлів двигунів СТД-2500:

- підшипник ковзання - 25%;
- система збудження - 33,3%;
- обмотка ротора - 22,2%;
- обмотка статора - 8,3%;
- щітки - 11,1%.

Встановлено, що найбільш пошкоджувальними є такі елементи СД як система збудження, підшипник ковзання, обмотка ротора двигуна. Це зумовлено надзвичайно складними умовами їх роботи у агресивному середовищі (нафті), тобто високими температурою і тиском, начною вібрацією. Дещо згладжує пошкоджувальність безперервний режим роботи СД.

На СТД-2500 діє комплекс об’єктивних і суб’єктивних факторів, які визначаються рівнем експлуатації. Тому основна задача у підвищенні і підтриманні експлуатаційної надійності СТД-2500 полягає в тому, щоб негативний вплив цих факторів на надійність звести до мінімуму. Для цього необхідно:

- своєчасне і доброякісне виконання усіх профілактичних заходів на основі науково обґрунтованих методів;
- збільшення рівня технічного обслуговування, підвищення кваліфікації ремонтного і обслуговуючого персоналу;
- впровадження нових форм і систем оперативного обслуговування СТД-2500;
- збір і статистичне узагальнення досвіду експлуатації;
- вивчення і застосування сучасних методів захисту електрообладнання від факторів навколишнього середовища;
- розроблення технічних умов і вимог для нових взірців електрообладнання, які відповідають високому рівню надійності.

Ефективність експлуатаційних заходів суттєво залежить від кваліфікації обслуговуючого персоналу і тих методів експлуатації, якими вони користуються в реальних умовах, тому потрібно:

- забезпечити обслуговуючий персонал сучасними методами і прийомами праці і достатньою кількістю спеціальних технічних засобів, пристосувань та інструменту;

- покращити знання персоналом основних несправностей СТД-2500 і порядку пошуку, а також методів їх швидкого усунення;

- створити оперативний і виробничий зв'язок персоналу з диспетчерською службою і наявність на робочих місцях оптимального аварійного запасу запасних частин;

- впровадити пристрої-аналізatori для оцінки технічного стану СТД-2500.

За основу організації обслуговування робочих місць повинні бути закладені такі принципи як активно-попереджувальний характер обслуговування і підвищення персональної відповідальності за його якість і своєчасність.

Прогресивними формами обслуговування є технічне переозброєння, модернізація обладнання і вдосконалення організації виробництва, а також комплексні методи ремонту і технічного обслуговування СТД-2500 та застосування системи нормованих завдань.

Література

1 Крижанівський Є.І. Підвищення ефективності роботи електроприводних агрегатів в нафтогазовій промисловості [Текст] / Є.І. Крижанівський, В. С. Костишин, О.М. Карпаш // Нафтогазова енергетика. – 2007. – № 3(4). – С. 31-37. – ISSN 1993-9868.

2 Галушак І.Д. Дослідження енергоефективності систем електрообладнання об'єктів нафтогазового комплексу / Галушак І.Д., Маленкович В.О. // Матеріали міжнародної проблемно-наукової міжгалузевої конференції «Інформаційні проблеми комп'ютерних систем, юриспруденції, енергетики, економіки, моделювання та управління (ПНМК-2012)», 7-10 червня 2012 р. – Бучач, 2012. – Випуск № 8.

*Стаття надійшла до редакційної колегії
05.06.18*

*Рекомендована до друку
професором **Костишином В.С.**
(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)
канд. техн. наук **Бегіним С.В.**
(ПП «Інтеренергоінвест», м. Івано-Франківськ)*