

## **ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСАХ, МЕРЕЖАХ ТА СИСТЕМАХ**

### **Зміст**

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ МЕТОДІВ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ НА ВТРАТИ ПОТУЖНОСТІ В АВТОНОМНІЙ ЕЛЕКТРИЧНІЙ МІКРОМЕРЕЖІ .....	7
Артисюк Д., студент, С.К. Поднебенна, доцент, ДВНЗ «ПДТУ» .....	7
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ОДНОФАЗНОЇ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ В ЕЛЕКТРОМЕРЕЖІ .....	8
Я.В. Бацала, аспірант., І.В. Гладь, доцент, П.О. Курляк, доцент, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу .....	8
МОДЕЛЬ ОЦІНЮВАННЯ СТАНІВ СИСТЕМИ ЗАХИСТУ ВІД ДІЇ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ В ЕЛЕКТРОУСТАНОВКАХ НАДВИСОКОЇ НАПРУГИ .....	10
Є.А. Бондаренко, докторант, ВНТУ .....	10
ДОСЛІДЖЕННЯ УНІВЕРСАЛЬНОГО СОШНИКОВОГО ВУЗЛА ДЛЯ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ В СЕЛЕКЦІЙНІЙ РОБОТІ .....	12
В.П. Горобей, старший наук. співроб. НВО«Селта» ННЦ «ІМЕСГ» .....	12
НАДПРОВІДНИЙ СТРУМООБМЕЖУВАЧ ПОВНІСТЮ РОЗМІЩЕНИЙ У КРІОСТАТІ .....	16
В.Г. Данько, професор., Є.В. Гончаров, молодший наук. співробітник, І.В. Поляков, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» .....	16
ДИНАМІКА ЗМІНЕННЯ ОПОРУ ІЗОЛЯЦІЇ В ПРОЦЕСІ ЗВОЛОЖЕННЯ СИЛОВОГО КАБЕЛЮ ВИСОКОЇ НАПРУГИ З НАПІВПРОВІДНИМ ВОДОБЛОКУЮЧИМ БАР'ЄРОМ .....	17
О.Г. Кессаєв, аспірант, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» .....	17
ІНКРЕМЕНТАЛЬНИЙ ЕНКОДЕР ЯК МОБІЛЬНИЙ ВИМІРЮВАЧ ШВИДКОСТІ ОБЕРТАННЯ .....	19
О.І. Кіянюк, асистент, І.В. Гладь, доцент, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу .....	19
НОВИЙ ВАКУУМНИЙ КОНТАКТОР ДЛЯ МЕРЕЖ СЕРЕДНІХ НАПРУГ З БІСТАБІЛЬНИМ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИМ АКТУАТОРОМ .....	21
Б.В. Клименко, професор, М.А. Лелюк, завідувач навч. лабораторії, НТУ «ХПІ» .....	21

# ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСАХ, МЕРЕЖАХ ТА СИСТЕМАХ

ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕТИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ.....	23
В.Е. Кривоносов, доцент, С.В. Василенко, аспирант, ГВУЗ «ПГТУ».....	23
ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ СКЛАДНИХ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ .....	24
П.О. Курляк, доцент, В.С Костишин, професор, Я.В. Бацала, аспирант, .....	24
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу.....	24
ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ОХЛАЖДЕНИЯ МОЩНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН (ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ).....	26
А.Н. Минко, зав. отделом, ГП «УкрНПЦ «Энергосталь», г. Харьков.....	26
МОДЕЛЬ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРОПРИВОДНОГО ВІДЦЕНТРОВОГО НАСОСА В УСТАЛЕНОМУ РЕЖИМІ РОБОТИ.....	27
П.М. Николин, асистент, ІФНТУНГ.....	27
ПУСКОВЫЕ РЕЖИМЫ ЗАРЕЗОНАНСНЫХ ВИБРАЦИОННЫХ МАШИН.....	29
В.Ю. Ноженко, соискатель, А.В. Войтко, магистрант, Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского.....	29
ОПТИМАЛЬНИЙ РОЗПОДІЛ ПОТУЖНОСТІ ДЖЕРЕЛ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОГО НАВАНТАЖЕННЯ СПОЖИВАЧІВ .....	30
Ю.Ф. Романюк, доцент, О.В. Соломчак, доцент, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу.....	30
ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ ПРИ НАЛИЧИИ НЕСИММЕТРИЧНЫХ НАГРУЗОК.....	32
О.С. Савенко, ассистент, С.К. Поднебенная, доцент, В.В. Бурлака, доцент, С.В. Гулаков, профессор, ГВУЗ «ПГТУ».....	32
СУЧАСНІ ЗАСОБИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ... ..	33
А. Титаренко, студент, С.К. Поднебенна, доцент, ДВНЗ «ПДТУ».....	33
ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ СИСТЕМИ СТРУМОПІДВОДУ ЕЛЕКТРОБУРА.....	34
М.Й. Федорів, доцент, І.Д. Галушак, доцент, І.М. Михайлів, аспирант, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу.....	34
ВИДЫ ДЕФЕКТОВ И ОЦЕНКА УЩЕРБА ОТ ОТКАЗОВ ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ НА БЛОКАХ СТАНЦИЙ.....	38
В.В. Шевченко, профессор, Национальный технический университет «ХПИ».....	38
БАГАТОЦІЛЬОВА ОПТИМІЗАЦІЯ РОБОТИ МАГІСТРАЛЬНИХ НАСОСНИХ АГРЕГАТИВ.....	40
І.І. Яремак, асистент, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу.....	40

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ МЕТОДІВ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ НА ВТРАТИ ПОТУЖНОСТІ В АВТОНОМНІЙ ЕЛЕКТРИЧНИЙ МІКРОМЕРЕЖІ**

*Артисюк Д., студент, С.К. Поднебенна, доцент, ДВНЗ «ПДТУ»*

Однією з найбільш перспективних сучасних систем електропостачання є мікромережі (ММ). Це енергетичні системи, які, як правило, будуються з ліній передачі низької напруги, так як вони об'єднують багато невеликих поновлюваних джерел енергії (ПДЕ), які встановлюються в міських районах. ПДЕ підключені до ММ за допомогою перетворювачів потужності, які дозволяють керувати активною і реактивною потужностями. ММ може працювати як підтримка традиційної мережі, а також в якості автономної системи місцевого навантаження, може управляти енергією, що робить користувача менш залежним від основної мережі, але більш відповідальним за використану енергію. Ця відповідальність означає, що ММ повинні бути в змозі працювати в режимі автономної експлуатації та потребує використання сучасних систем управління.

Одним з питань дослідження є управління реактивною потужністю. Представляє інтерес порівняння методів рівномірного розподілу реактивної потужності, пропорційного поділу реактивної потужності або алгоритм оптимізації, який мінімізує втрати при передачі потужності. Причини втрати реактивної потужності, незалежно від обраного методу контролю, для кожного рішення можуть бути різними, що залежить від довжини лінії і уявній потужності кожного перетворювача.

Був проведений аналіз втрат при передачі активної та реактивної потужності та описані методи управління. Представлені порівняння отриманих результатів і висновків. Проведений аналіз показує, що втрати при передачі потужності не значно відрізняються для будь-якого способу управління, отже, вибір режиму не має істотного впливу на втрати. Крім того, в ММ змінного струму, як правило, використовуються низьковольтні лінії передачі, то ж втратами потужності можна знехтувати.

### **Література**

1. Milczarek A. The Impact of the Reactive Power Sharing Methods on Transmission Power Losses in Islanded AC Microgrid/ Adam Milczarek // Doctoral School of Energy and Geotechnology II January 12 - 17, 2015, Pärnu, Estonia. – pp. 41 – 44.

## **ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ОДНОФАЗНОЇ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ В ЕЛЕКТРОМЕРЕЖІ**

*Я.В. Бацала, аспірант., І.В. Гладь, доцент, П.О. Курляк, доцент,  
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу*

При інтеграції локальних сонячних електростанцій (СЕС) в розподільну електромережу зростає їх вплив на показники якості електроенергії (ПЯЕ) та електромагнітної сумісності (ЕМС) [1]. Нерівномірність величини генерації електроенергії через природні фактори, конструктивні особливості інверторів призводить до коливань напруги, появи гармонійних спотворень струму та несиметрії. Сумісна робота СЕС з інверторами за певних параметрів мережі може спричинити резонанс на частотах вищих гармонік та коливні процеси обміну реактивною потужністю між інвертором та електромережею. Це негативно впливає на функціонування електротехнічного обладнання, спричинюючи додаткові втрати активної потужності в його елементах та зменшуючи термін експлуатації. Крім того, раціонально вибране місце приєднання до мережі та оптимальний рівень потужності СЕС дозволять зменшити втрати в мережі, а тому доцільно розглянути основні проблеми їх увімкнення для отримання максимальної ефективності від генерації електроенергії.

Моделювання роботи СЕС за допомогою середовищ Matlab Simulink та LabVIEW потребує точних відомостей про параметри фотомодулів, інвертора та мережі. Деякі з них нелінійно залежать від освітлення, навантаження та є змінними в часі. Проте, поєднання переносних аналізаторів енергетичних параметрів та адекватної математичної моделі СЕС дасть можливість в реальному часі визначити необхідні ПЯЕ, оцінити показники енергоефективності та ЕМС вибраного джерела генерації. Запропонований інформаційно-вимірювальний комплекс побудовано на використанні перетворювачів напруг і струмів, аналого-цифрового перетворювача (АЦП), ноутбука та спеціалізованого програмного забезпечення, що за допомогою різноманітних підпрограм може не тільки вимірювати миттєві значення струмів і напруг, використовуючи середовище LabVIEW, а й виконувати розрахунок ПЯЕ, ЕМС та енергоефективності [2].

Для прикладу розглянемо аналіз параметрів якості електроенергії на шинах ввідного розподільчого пристрою (ВРП) підприємства «Зонд» в місті Івано-Франківськ, яке використовує сонячні фотомодулі з встановленою потужністю 2,5 кВт.

При дослідженнях ПЯЕ фотоелектричної системи в Івано-Франківську при генерації в фазі В коефіцієнт потужності і реактивна

## ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСАХ, МЕРЕЖАХ ТА СИСТЕМАХ

потужність практично не змінюються, однак при переключенні даної системи в фазу С спостерігаються низькочастотні знакозмінні коливання реактивної потужності зсуву та спотворення, які припиняються з вимкненням інвертора. Також вимірювальний комплекс зафіксував аналогічне коливання величини коефіцієнта потужності, що може призвести до проблем з засобами компенсації реактивної потужності та обліком реактивної енергії. Значення сумарного коефіцієнта гармонійних спотворень струму THDi на першому етапі досліджень в фазі В під час генерації становило близько 6 %, а на третьому етапі під час генерації у фазу С сумарний коефіцієнт гармонійних спотворень струму THDi збільшився і знаходився в діапазоні від 21 до 31 %, що не відповідає нормованим ГОСТ 13109-97 значенням.

Отже, для забезпечення оптимальної роботи СЕС в електромережі необхідно провести узгодження параметрів електротехнічних комплексів генерації та споживання електроенергії та проводити більш ґрунтовну підготовку до підключення в мережу. В процесі вибору місця підключення СЕС до розподільної електромережі треба визначати вплив СЕС на ПЯЕ, ЕМС, пристрої релейного захисту та автоматики, засоби компенсації реактивної потужності та зважати на алгоритм функціонування лічильників системи комерційного обліку електроенергії, використовуючи розрахунково-експериментальні методи досліджень.

### **Література**

1. Бацала Я.В. Аналіз показників якості електроенергії сонячної електростанції [Текст] / Я.В. Бацала, І.В. Гладь, У.М. Николин // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ.-2013.-№ 4.-с.81-90.
2. Бацала Я.В. Удосконалення засобів контролю параметрів електроенергії відновлюваних джерел енергії [Текст] / Я.В. Бацала, І.В. Гладь, О.І. Кіянюк // Нафтогазова енергетика. -2015.-№1 (23). -с.52-60.

## **МОДЕЛЬ ОЦІНЮВАННЯ СТАНІВ СИСТЕМИ ЗАХИСТУ ВІД ДІЇ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ В ЕЛЕКТРОУСТАНОВКАХ НАДВИСОКОЇ НАПРУГИ**

*Є.А. Бондаренко, докторант, ВНТУ*

Електроустановки надвисоких класів напруги (НВН) промислової частоти 330, 500, 750 кВ – одні з основних складових об'єднаної енергосистеми України, вони забезпечують оптимальне навантаження електричних станцій, зменшення витрат енергії порівняно з мережами нижчої напруги.

Проте електроустановки НВН є одним з основних джерел електромагнітного поля промислової частоти (ЕП ПЧ), що шкідливо діє на здоров'я персоналу. При перевищенні рівнів ЕП ПЧ над допустимими можливі зміни функціонального стану нервової, ендокринної, імунної та серцево-судинної систем організму людини [1] і, як наслідки, ризик виникнення професійних захворювань для персоналу, що тривалий час виконує роботи в електроустановках НВН.

На основі аналізу відомих підходів та методів оцінювання ризику травматизму від дії небезпеки на людину запропоновано причинно-наслідкову схему електротравматизму в такому вигляді: помилка людини, відмова електроустаткування і несприятлива для них зовнішня дія; поява небезпечного чинника (електричної енергії або параметрів, що її характеризують) в несподіваному місці і невчасно; відсутність або несправність передбачених на ці випадки засобів захисту і неточні дії працівника в такій ситуації; поширення і дія небезпечних чинників на працівника. З урахуванням обраної причинно-наслідкової схеми електротравматизму та гігієнічної класифікації умов праці від дії ЕП ПЧ [2] побудовано орієнтовний граф (рис. 1), що інтерпретує набір станів системи електробезпеки в електроустановках НВН та можливих імовірнісних переходи між ними.

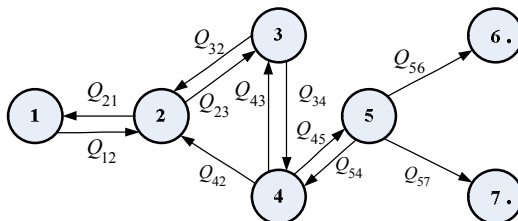


Рисунок 1 – Орієнтовний граф, що інтерпретує набір станів системи електробезпеки в електроустановках НВН та можливих переходи між ними

## ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСАХ, МЕРЕЖАХ ТА СИСТЕМАХ

Відповідно до рисунку, процес професійно обумовленого захворювання при виконанні технологічних робіт в електроустановках НВН характеризує сім станів системи електробезпеки, з яких перші п'ять (оптимальний, допустимий, шкідливий ступеня 3.1, шкідливий ступеня 3.2 та шкідливий ступеня 3.3) як би прохідні, а останні два (критичний та зі смертельними наслідками) – поглинаючі.

Аналіз станів системи електробезпеки за орієнтованим графом виявило складності в визначенні умов праці від дії ЕП ПЧ для персоналу за гігієнічними нормами [2] за таких обставин:

- роз'яснення щодо віднесення умов праці до того чи іншого класу шкідливості за [2] не дають однозначного розуміння. оцінювання;

- електробезпека перебування персоналу в електромагнітному полі електроустановок НВН по напруженості ЕП ПЧ, за діючими нормами, неоднозначно визначають вибір захисних засобів (екранів і тому подібне) не лише в неоднорідних полях, що характерно для розподільчих устроїв НВН, при роботі на потенціалі проводу та поблизу заземлених конструкцій, але навіть і в полях, близьких до однорідних;

- гігієнічна класифікації [2] не враховує ймовірність наслідків для здоров'я персоналу, що виконує роботи в діючих електроустановках НВН, при перевищенні ГДР;

- гігієнічна класифікації [2] не дає можливість оцінити ризик професійного захворювання електротехнічного персоналу у випадку перевищенні ГДР при виконанні технологічних робіт в діючих електроустановках НВН;

- гігієнічна класифікації [2] не дає пояснення щодо визначення кількісних складових оцінювання групового ризику та їх поправки на параметри конкретної людини (масу, зріст, вік, стан здоров'я та інше) для визначення індивідуального ризику електротравматизму.

### **Література**

1. Измеров Н.Ф. Физические факторы производственной и природной среды. Гигиеническая оценка и контроль : учеб. пособ. / Н.Ф. Измеров, Г.А. Суворов. – М. : Медицина, 2003. – 560 с.

2. Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища та напруженості трудового процесу затверджена Наказом Міністерства охорони здоров'я України від 08.04. 2014 року за № 248.

3. [http://www.buhuslugi.com.ua/images/buhuslugi/files\\_akt\\_zakon/gigienichna\\_klasufikacija\\_praci.pdf](http://www.buhuslugi.com.ua/images/buhuslugi/files_akt_zakon/gigienichna_klasufikacija_praci.pdf).

## **ДОСЛІДЖЕННЯ УНІВЕРСАЛЬНОГО СОШНИКОВОГО ВУЗЛА ДЛЯ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ В СЕЛЕКЦІЙНІЙ РОБОТІ**

*В.П. Горобей, старший наук. співроб. НВО«Селта» ННЦ «ІМЕСГ»*

При дослідженнях посівів селекційного матеріалу по стерньовому фоні для об'єктивної оцінки селекційних ліній зернових культур необхідна ідентичність технологій їх виробництва. Однак посівні робочі органи, що застосовуються для посіву партій насіння на дослідних ділянках (ручна сівалка СР-1М, сівалки касетні ССК-6 (СКС-6А), сівалки порційні СЦН-10 (СН-10Ц-01), сівалки зі змінною колією СС-16 (СН-16ПМ, СС-16А) не здатні для виконання технологічного процесу посіву по стерньовим і мульчованим фонам.

Конструкції сівалок Rowseed провідної фірми-розробника селекційної техніки Wintersteiger (Австрія) уніфіковані по висівним робочим органам з сівалками для підготовленого ґрунту і використовують: анкерні сошники Isaria і Nodet; однодисковий сошник Accord CX; дводисковий сошник Lemken; для прямої сівби: дводискові сошники Acta Plant t, Plains і Sunflower; зубчастий сошник Horwood Bagshaw [1].

Застосування технічних рішень, що працюють в виробничих сівалках прямої сівби, наприклад СЗС-2,1, в селекційних сівалках вітчизняних конструкцій неприйнятні по технічним і технологічним причинам (вимоги до параметрів дослідних ділянок). За відсутності спеціальних машин вчені змушені оцінювати селекційний матеріал по чистому пару, хоча сорти створюються для посіву по стерні. При цьому в науково-дослідних установах перспективні сорти зернових культур формують врожайність на рівні 60-80 ц/га, а у виробничих умовах вона падає до 20-30 ц/га і нижче. Одна з причин – не ідентичність умов і не відповідність фоні на ранніх етапах виробництва [2].

Аналіз досліджень конструкцій сошникових груп зернових сівалок приводить до узагальнюючого параметру, по якому оцінюють сівалку та встановлюють при якій системі обробітку її використання буде ефективним – це конструкційно задане зусилля, з яким сошник притискається до поверхні ґрунту. Для умов сівби в попередньо якісно оброблений ґрунт в сівалках СЗ-3,6(5,4), виробник БАТ «Червона зірка», Solitar фірми Lemken, D, AD фірми Amazone притискне зусилля від 25 до 50 кгс, в мінімально оброблений ґрунт в сівалках Cirrus (Amazone), HT (Great Plains) – від 40 до 80 кгс, при безпосередній сівбі в сівалках Seed Hawk (Vederstad), Seed Master (Sulky), Sprinter ST (Horsch), Модель 8810 (Bourgault) – від 50 до 200 кгс [3].

Звичайно закордонні сівалки для сівби по стерні важать приблизно 800 кг/м. Важка вага сівалок являється перешкодою для застосування на неве-



## ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСАХ, МЕРЕЖАХ ТА СИСТЕМАХ

ликих полях з малогабаритними тракторами, а висока вартість не по карману для мало їмущих фермерів Китаю. Вони вже 20 років як почали розробляти легкі No-till сівалки (масою 316-500 кг/м, що складає 50% закордонних), які більше підходять для малогабаритного і середніх розмірів трактора (500-650 кг/м), при вартості 10-15% від вартості закордонних сівалок для No-till. В Китаї подвійні зубовидні диски і навісні передні пристрої видалення являються основними механізмами пасивних антизабивачів сошникових груп. Основним пристроєм сівалки являється дисковий ніж, він розрізає пожнивні залишки, потім подвійні зубовидні диски видаляють їх з посівних рядків і загострений сошник може легко завершити висів[4].

Результати досліджень в господарствах Криму сівалки DST-6000 фірми «Agrisem» (Франція) з уніфікованими посівними модулями Disk-0-Sem, що складаються з двох рядів зубчастих дисків, закріплених на пружинних стійках, показали перспективність даних агрегатів. Незважаючи на недоліки по глибині висіву, оскільки загортання насіння здійснюється за допомогою ґрунтового потоку, що створюється дисками діаметром 560 мм, є і переваги – під час роботи диски вібрують, створюючи ефект ударної хвилі, забезпечуючи заглиблення диска навіть на важких ґрунтах з меншим опором.

Відомо також, що за рахунок вібрацій, зменшення коефіцієнта внутрішнього тертя між частками ґрунту, вібруючим органом та ґрунтом тяговий опір бурякозбирального комбайна зменшується на 26-53 % . Зменшення сили опору при врзанні в ґрунт зубчастим лезом відносно суцільного доведено і біонічними напрямками розробки робочих органів ґрунтообробних машин. При розробці та дослідженнях конструкцій сошників для прямої сівби з розрізаючим диском-ножем, встановлено зменшення норм висіву зернових культур на 25-30 % відносно звичайних дискових сівалок, збільшення швидкості з 1,94 м/с до 2,67 м/с несуттєво впливає на рівномірність загортання насіння, проведені теоретичні дослідження зміни заглиблюючої сили, що створює механізм пружинної підвіски, в залежності від положення робочої зони важеля підвіски сошника, та складені схеми переміщення, визначення кута установки зуба і форми леза, також приведені математичні моделі розрахунків для визначення оптимальних параметрів, але в дослідженнях не враховується енергетична складова, що виникає за рахунок вібраційних коливань в технологічному процесі.

В основу створення макетного зразку для вирішення означеної проблеми була покладена гіпотеза про те, що застосування на базі селекційно-насінницької сівалки СС-16 рядового висіву на ділянках попереднього, конкурсного і державного сортопробування яка містить раму, опорно-приводні колеса, висівний апарат - універсального сошникового вузла, попереду якого встановлений зубчастий ніж, закріпле-

## ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСАХ, МЕРЕЖАХ ТА СИСТЕМАХ

ний на порожнистий квадратний балці, при цьому зубчастий ніж, що розрізає ґрунт, з'єднаний з порожнистою квадратною балкою сівалки за допомогою пластинчастих пружинних підвісок, а сошниковий вузол забезпечений важільно-пружинним механізмом, змонтованим між корпусом сошника і зубчастим диском з можливістю забезпечення рівної величини заглиблення диска розширює технологічні можливості посіву. Технічні рішення, насамперед, дозволяють здійснювати висів в мінімально оброблений мульчований рослинними залишками ґрунт завдяки використанню вібро ефекту для зменшення натискного зусилля для висіву насіння на задану глибину та тягового опору сівалки. Застосовані зубчаті робочі органи до 4-5 зубів на площу входження в ґрунт дискового ножа на глибину 0,08 м зменшують тяговий опір та притискне зусилля відносно поширених для застосування в сівалках для енергоощадних технологій розрізаючих турбодисків, рифлених та хвильчастих дисків з більшою площею входження в ґрунт. Притискне зусилля зубчастих розрізаючих ножів стабільне за рахунок використання пластинчастих пружин і регулюється їх параметрами і пружинно-натискним механізмом з індивідуальним і загальним регуляторами притискного зусилля і залежить від діаметра, довжини пружини і технічних характеристик трактора для агрегування сівалки [5].

Підтвердження працездатності, дотримання агротехнічних вимог, визначення тягового опору та впливу на нього вібро ефекту від застосованих при дослідженнях запропонованих технічних рішень, здійснювалось на експериментальних зразках сошникових вузлів з зубчастими дисками, що розрізають, на спеціально підготовленому обладнанні в лабораторних умовах ґрунтового каналу ПФ НУБП «КАТУ» (с. Аграрне, м. Сімферополь) та польовими випробуваннями в господарчих умовах. Тяговий опір сошникового вузла досліджувався з зубчастим (висотою зуба 10;20;30 мм) диском (24 зуби) діаметром 350 мм, товщиною 3 мм і анкерним сошником на швидкостях від 4 до 8 км/год при глибині ходу 70 мм. Дослідженнями доведено, що зі збільшенням висоти зубів для всіх швидкостей тяговий опір зменшується зворотно-пропорційно з 360 до 140Н. Встановлено, що з збільшенням швидкості тяговий опір збільшується для диска без зубів від 320 до 420 Н; для диска з зубами висотою 1 см від 300 до 360 Н; для диска з висотою зубів – 2 см від 110 до 160 Н; для диска з висотою зубів 3 см від 100 до 140 Н, зі збільшенням висоти зубів на диску (1;2;3 см) амплітуда коливання збільшується (6,0 6,3;8,1 мм). Сошниковий вузол з зубчастим розрізаючим диском і анкером стало працював на обробленому і необробленому полях з вмістом рослинних решток в поверхневому шарі до 480 г/м<sup>2</sup>. Рослинні залишки на дні борозенки, що створювалась були відсутніми. Ширина смуги деформованого ґрунту не перевищувала 0,025 м.

## ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСАХ, МЕРЕЖАХ ТА СИСТЕМАХ

Твердість ґрунту визначалась за допомогою твердоміру Ю.Ю.Ревякіна в польових умовах. В процесі роботи приладу по обробленому ґрунті встановлювали плунжер діаметром 0,02 м, на необробленому - діаметром 0,016 м. Дії штока піддавався тільки верхній горизонт в інтервалі 0,08 м, що визначався глибиною заробки насіння. Повторність вимірювань на фоні -3. Вологість ґрунту розраховувалась за стандартною методикою і не перевищувала в першому випадку 7-8 %, а в другому 10-15 %. Діаграми, отримані при визначенні твердості ґрунту підтверджують раніше зроблене припущення про практично лінійний характер наростання напруги в міру вдавлювання штока. Отримані значення твердості при поверхневій обробці 0,85 МПа, по стерні 1,7 МПа. Шарнірне кріплення рамки опорно-прикочуючого пристрою сошникового вузла знижує вантаж на деталі механізму підйому, зменшує габаритні розміри сошникового вузла.

Використання послідовно розташованих зубчастого ножа, що розрізає та сошникового вузла з зубчастим диском, анкерним чи стріло-видним сошником, а також пластинчато-пружинних підвісок для ножів, пружинно-натискного механізму для сошникових вузлів та пружинного механізму автоколивачів дозволяють за рахунок віброефекту зменшувати енергоємність сівалки при сівбі за енергозберігаючими технологіями. Вказані технічні рішення можуть бути використані в сівальці навісній селекційно-насінницькій для посіву в необроблений і мінімально оброблений ґрунт (mini-till, no-till і strip-till). Технічні рішення обумовлюють сумісність пристосування з зубчастими ножами, що розрізають ґрунт, на додатково встановленій порожнистій квадратній балці рами сівалки та сошникових вузлів з зубчастими дисками, сошниками та котками, що прикочують з базовою, частково підсиленою, рамою сівалки без зміни її основної конструкції.

### **Література**

1. Селекційні сівалки Wintersteiger [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.wintersteiger.com.ua>.
2. Домрачев В.А. Модернизация селекционной сеялки для посева по стерневому фону /В.А. Домрачев, А.А. Кем, У.М. Сагалбеков, Б.У. Сагалбеков // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2009. – №12. – С. 2-3.
3. Машины для обработки ґрунту та сівби / Під ред. Кравчука В.І., Мельника Ю.Ф. Дослідницьке: УкрНДІПВТ ім. Л. Погорилого. – 2009. – 288 с.
4. Разработки легких No-till сеялок в Китае / Ли Хонвень, Ван Квинжю, Ван Саоян и др. // Зерно. – 2009. – № 8. – С. 100-108.
5. Пат. Україна, МПК А 01 С 7/00 Сівалка навісна селекційно-насінницька СНС-16АП / В.П.Горобей - № а201405418; Заявл.21.05.14; Опубл. 10.05.15, Бюл.№3.

## НАДПРОВІДНИЙ СТРУМООБМЕЖУВАЧ ПОВНІСТЮ РОЗМІЩЕНИЙ У КРІОСТАТІ

*В.Г. Данько, професор., Є.В. Гончаров, молодший наук. співробітник,  
І.В. Поляков, доцент, Національний технічний університет  
«Харківський політехнічний інститут»*

Конструктивна схема струмо-обмежувача, яка подана на рис. 1, представляє загальний вигляд приладу для увімкнення у фазу електромережі.

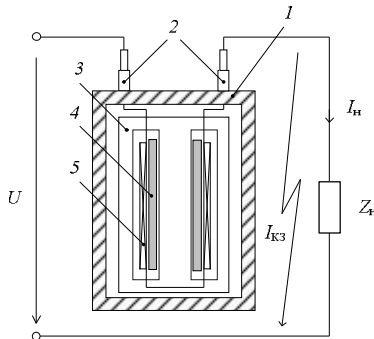


Рисунок 1 – Надпровідний струмообмежувач

Його основні складові: кріостат  $1$ , заповнений холодоагентом; струмоводи  $2$ ; магнітопровід  $3$ ; надпровідний екран  $4$ ; надпровідна обмотка  $5$ .

У номінальному режимі обмотка  $5$  послідовно з'єднана з навантаженням і крізь неї проходить струм навантаження  $I_n$ . Напруженість магнітного поля на поверхні надпровідного екрана  $4$ , яке створює обмотка  $5$  у декілька разів менше критичного значення для надпровідного матеріалу екрана  $4$ . Надпровідний екран  $4$  за рахунок надпровідних властивостей перешкоджає проникненню магнітного поля в осердя  $3$ . Тому повний опір такого струмообмежувача при нормальній роботі електромережі досить малий, що не призводить до значного зменшення напруги на навантаженні  $Z_n$ .

При виникненні короткого замикання струм в обмотці  $5$  збільшується до значення, при якому напруженість магнітного поля на поверхні екрана  $4$  сягає критичної величини та він втрачає надпровідність. Магнітний потік проникає в осердя магнітопроводу  $3$ , внаслідок чого індуктивність струмообмежувача багаторазово збільшується, що призводить до обмеження аварійного струму  $I_{кз}$ .

Використання надпровідної обмотки з розміщенням усієї магнітної системи струмообмежувача у кріостаті зменшує габарити та масу магнітопроводу, а також втрати потужності. Крім цього можливе використання металевого кріостата, що підвищує надійність і зменшує теплоприпливи.

## **ДИНАМІКА ЗМІНЕННЯ ОПОРУ ІЗОЛЯЦІЇ В ПРОЦЕСІ ЗВОЛОЖЕННЯ СИЛОВОГО КАБЕЛЮ ВИСОКОЇ НАПРУГИ З НАПІВПРОВІДНИМ ВОДОБЛОКУЮЧИМ БАР'ЄРОМ**

*О.Г. Кессаєв, аспірант, Національний технічний університет  
«Харківський політехнічний інститут»*

Нормальна безперервна робота систем електропостачання промислових підприємств, транспорту та інших галузей неможлива без надійної роботи силових кабельних ліній середньої напруги. При експлуатації силових кабелів зі зшитою поліетиленовою ізоляцією виникає складна проблема, що пов'язана зі зволоженням полімерної ізоляції. Причина полягає в тому, що під дією вологи зароджуються та розвиваються водяні трійинги – канали в полімерній ізоляції, заповнені водою. Наявність водяних трійингів призводить до виникнення електричних трійингів, які є основною причиною електричного пробоя кабелів в експлуатації. Для забезпечення захисту кабелю від вологи в сучасних конструкціях силових кабелів застосовують гідрофільні водопоглинаючі стрічки на основі карбоксилметилцелюлози та поліакрилатів.

Виконано спостереження за динамікою змінення опору ізоляції (рис. 1) в процесі зволоження в умовах 100 % вологості зразків нового одножильного силового кабелю на напругу 35 кВ зі зшитою поліетиленовою ізоляцією з напівпровідними гідрофільними водоблокуючими стрічками. Кінці зразків кабелю – не герметизовані захисними термоусаджувальними ковпачками.

Криві на рис. 1 відповідають умовам проведення фізичного моделювання процесу старіння зразків кабелю довжиною 25 см: 1 – початковий стан (до зволоження); 2 – після зволоження протягом 2-х місяців; 3 – після зволоження протягом 2-х місяців, природної сушки протягом одного місяця в лабораторних умовах та додаткового зволоження протягом 6 місяців; 4 – для зразка кабелю, який піддавався зволоженню протягом 2-х місяців, природній сушці в лабораторних умовах протягом одного місяця та додатковому зволоженню з зануренням у воду протягом 6 місяців.

В початковому стані (крива 1) опір ізоляції слабко залежить від прикладеної напруги, що свідчить про відсутність вологи. Після зволоження (криві 2 та 3) спостерігається сильно виражена залежність: при підйомі напруги з 1 кВ до 5 кВ опір ізоляції зменшується більше, ніж в 1000 разів, причому різниця між динамікою змінення опору ізоляції для кривих 2 та 3 – несуттєва. Для зразка кабелю, який знаходився повністю у воді, (крива 4) – опір ізоляції відрізняється в 104 разів відносно початкового стану! При напрузі 5 кВ опір ізоляції зразків для

## ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСАХ, МЕРЕЖАХ ТА СИСТЕМАХ

зволоженого стану (порівняйте криві 2, 3 та 4) практично однаковий. Занурення у воду призвело до розповсюдження вологи в поздовжньому напрямку зразка кабелю: опір ізоляції не змінюється при зростанні прикладеної напруги. Це опосередковано пов'язано з наявністю значної кількості вільної вологи в кабелі, яка при прикладанні навіть невисокої постійної напруги дисоціює на іони.

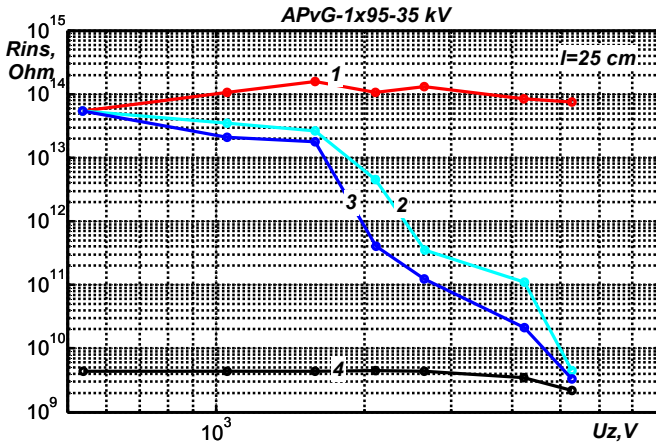


Рисунок 1 – Динаміка змінення опору ізоляції зразків одножильного силового кабелю АПвЕгаПу 1х95 – 35 кВ в процесі прискореного старіння в умовах підвищеної вологи

Таким чином, наявність в конструкції силових кабелів зі зшитою поліетиленою ізоляцією водопоглинаючого бар'єру на основі гідрофільних стрічок, які накладаються поверх напівпровідного екрану по ізоляції, захищає тільки від радіального проникнення вологи. Слабка залежність від прикладеної постійної високої напруги та зменшення значень опору ізоляції відносно початкового стану в процесі експлуатації є ознакою суттєвого зволоження кабелю.

Монтаж кабелів повинен бути якісним для виключення повздовжнього проникнення вологи в осердя кабелю, що призводить до інтенсифікації процесу зростання водяних трингів в полімерній ізоляції.

Динаміка змінення опору ізоляції в залежності від прикладеної напруги є інформативним показником ступеню зволоження полімерної ізоляції силових кабелів зі зшитою поліетиленою ізоляцією.

## **ІНКРЕМЕНТАЛЬНИЙ ЕНКОДЕР ЯК МОБІЛЬНИЙ ВИМІРЮВАЧ ШВИДКОСТІ ОБЕРТАННЯ**

*О.І. Кіянюк, асистент; І.В. Гладь, доцент,  
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу*

Енергетичні параметри асинхронних електродвигунів приводу відцентрових насосних агрегатів залежать від багатьох параметрів: якості напруги живлення, коефіцієнт завантаження, несвоєчасне технічне обслуговування, стану гідравлічної системи тощо.

Коли кожен елемент технологічного агрегату працює в режимі максимального коефіцієнту корисної дії (номінальний режим роботи) досягається висока енергоефективність. Однак внаслідок відхилення навантаження, зносу робочих органів, спотворення показників якості напруги живлення, некоректного підбору потужності електродвигунів ККД елементів електроприводу зазвичай менший від номінального.

Задача визначення ККД елементів електропривідного технологічного агрегату та його загального ККД може вирішуватися із застосуванням різних підходів залежно від доступних початкових даних. Наприклад, високоточне пряме вимірювання вхідної активної потужності трифазного електродвигуна за схемою Арона (схема двох ватметрів), яка враховує можливу несиметрію напруг і струмів. Сучасними достатньо точними датчиками стуму і напруги слугують струмові кліщі, в основу роботи яких покладено ефект Холла, а активна потужність обчислюється методом цифрової обробки сигналів [1].

Реалізація прямого вимірювання вихідної потужності відцентрового насосу досягається за умови використання витратоміру рідини та манометрів на всмоктувальному і напірному патрубках. На жаль, похибка безконтактного вимірювання витрати рідини у кращих закордонних приладах становить 1,5...2%, а їх закупівельна вартість суттєва. Також не завжди є доступ до патрубків насосу (занурювальні насоси нафтовидобування). З вище наведеного слідує що пряме вимірювання вихідної потужності не завжди можливе. Крім того, для якісної картини енергетичного режиму всіх складових агрегату необхідною є інформація про швидкість обертання валу електродвигуна чи робочого механізму. Наприклад, відхилення швидкості обертання асинхронного двигуна від номінального значення при якісному електроживленні свідчить про механічне недовантаження (перевантаження) на валі, або про пошкодження обмоток.

Нижче представлена таблиця порівняння точності визначення швидкості обертання різними засобами. Як бачимо з таблиці найбільш точними є оптичні тахометри, а також вони мають найбільший діапазон швидкостей.

ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ  
КОМПЛЕКСАХ, МЕРЕЖАХ ТА СИСТЕМАХ

Таблиця 1 – Порівняння точностей вимірювань

Вид тахометра	Діапазон вимірювання	Похибка вимірювання
Відцентрові тахометри	25..10000 об/хв	$\pm 1.. \pm 2\%$
Електронні постійного і змінного струму	0..10000 об/хв	$\pm 0.2.. \pm 0.5\%$
Імпульсні тахометри		$\pm 0.3.. \pm 1.5\%$
Оптичні тахометри(енкодери)	0..60000 об/хв	$\pm 0.25\%$
Магнітоіндукційні тахометри	200..20000 об/хв	$\pm 0.5\%$
Стробоскопічний тахометр	300..30000 об/хв	$\pm 1\%$
Гірометр		$\pm 1.. \pm 1.5\%$

В якості датчика швидкості обертання валу пропонуємо використання інкрементального енкодера E40S8-25, який приєднаний до цифрового входу пристрою вводу даних. Перевагою якого є висока роздільна здатність та надзвичайно малий момент опору обертання валу, оскільки чутливим елементом перетворювача “кут повороту - цифровий код” є перфорований диск та оптопара. Квадратурний енкодер E40S8-25 з типом енкодування x4 має високу роздільну здатність 100 імпульсів на оберт, а висока точність часо-імпульсного методу визначення швидкості обертання забезпечується застосуванням частоти 100 кГц внутрішнього кварцованого тактового генератора пристрою вводу даних NI USB-6210. При використанні типу енкодування x4 враховуються як фронти, так і спади прямокутних імпульсів каналів А і В цифрового виходу квадратурного енкодера.

### Література

1. Кіянюк О.І. Контроль енергоефективності відцентрових насосів / В. Гладь, М.І. Федорів, О.І. Кіянюк // Діагностика електромеханічних систем та енергоресурсозбереження. – Кременчук, 2011. – С.272-273.
2. Кіянюк О.І. Удосконалення засобів контролю параметрів електроенергії відновлюваних джерел енергії / Я.В. Бацала, І.В. Гладь, О.І. Кіянюк // Нафтогазова енергетика. – 2015. – №1 (23). – С. 52-60.



## **НОВИЙ ВАКУУМНИЙ КОНТАКТОР ДЛЯ МЕРЕЖ СЕРЕДНІХ НАПРУГ З БІСТАБІЛЬНИМ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИМ АКТУАТОРОМ**

*Б.В. Клименко, професор, М.А. Лелюк, завідувач навч. лабораторії,  
НТУ «ХПІ»*

Для частих комутацій електричних кіл з резистивними та реактивними навантагами (електродвигуни, трансформатори та конденсатори) в мережах середніх напруг використовуються контактори. Наразі найбільш поширеними є контактори, в яких процес комутації відбувається в вакуумних переривниках, тобто вакуумні контактори. Ці апарати мають стаціонарне або викатне виконання та складаються з вакуумних переривників, механічної системи, електромагнітного актуатора та системи керування. Аналіз існуючих моделей вакуумних контакторів, виявив ряд недоліків, які стосуються як актуаторів, так і систем керування ними. Моностабільні неполяризовані електромагнітні актуатори, незважаючи на застосування форсованого керування, мають значні розміри, що значно збільшує габарити контактора в цілому. Системи форсованого керування, які застосовуються у переважній більшості контакторів, базуються на комутації пускових та утримуючих обмоток за допомогою контактних комутаційних елементів, що значно зменшує надійність системи керування. Утримання якоря в притягнутому стані в таких системах потребує їх постійного електроживлення, а відтак, й втрат енергії. Поляризовані бістабільні актуатори без поворотної пружини, що застосовуються у деяких контакторах, мають дві котушки (вмикання та вимикання), розташовані одна над одною, що збільшує габарити приводу.

Метою даної роботи є розробка нового універсального вакуумного контактора, який може працювати у двох режимах – звичайного контактора та контактора з защіпкою, та за своїми характеристиками міг би створити конкуренцію іноземним аналогам. Для досягнення цієї мети були проведені роботи у декількох напрямках:

- розроблені нові та удосконалені існуючі конструкції електромагнітних актуаторів на основі використання висококоерцетивних постійних магнітів, застосування яких створює нові перспективні якості розвитку електромагнітних приводів комутаційних апаратів;
- розроблені нові способи керування актуаторами, з можливістю заміни високовартісних силових транзисторів та драйверів до них, гібридними системами, що дає змогу зменшити габарити систем керування, витрати при їх виробництві та підвищити надійність їх роботи;
- розроблені заходи щодо забезпечення вимог виробників вакуумних переривників стосовно тривалості та кількості відскоків головних контактів при спрацьовуванні контактора.

## ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСАХ, МЕРЕЖАХ ТА СИСТЕМАХ

На рис. 1,а показано фото нового універсального вакуумного контактора з бістабільним поляризованим актуатором для мереж середніх напруг та осцилограми струму в обмотці електромагніта й відскоків головних контактів під час виконання операції вмикання контактора з вимиканням обмотки через фіксований проміжок часу (рис. 1,б) та по команді датчика положення (рис. 1,в).

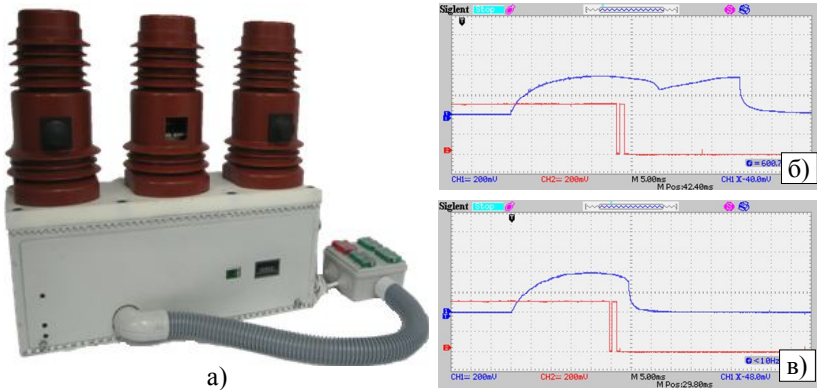


Рисунок 1 – Універсальний вакуумний контактор для мереж середніх напруг (а), осцилограми струму в обмотці та відскоків контактів (б, в)

Контактор складається з двох модулів: комутаційного та приводного. Комутаційний модуль має три полюси з вакуумними переривниками, привідний – актуатор, ємнісний накопичувач енергії, мікропроцесорну систему керування, яка імітує два режими керування контактором (звичайну та з магнітною заціпкою), два блоки допоміжних контактів, індикатор положення головних контактів, лічильник циклів.

Проведені експериментальні дослідження нового бістабільного актуатора (поляризованого моностабільного електромагніта з поворотною пружиною) підтвердили теоретичні розрахунки та здатність забезпечувати спрацьовування контактора та надійне утримання контактів у замкненому стані. Результати дослідницьких випробувань нового контактора свідчать про його відповідність вимогам міжнародних стандартів стосовно вакуумних контакторів середніх напруг. Виробники вакуумних переривників висувають жорсткі вимоги щодо тривалості та кількості відскоків контактів при виконанні операції вмикання. Новий контактор повністю відповідає цим вимогам. Слід також відзначити його високу механічну зносостійкість (300000 циклів) підтверджену експериментально.

# ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕТИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

*В.Е. Кривоносов, доцент, С.В. Василенко, аспирант, ГВУЗ «ПГТУ»*

Работа электропривода горнодобывающих, металлургических, химических и других производств характеризуется как тяжелая. Основной причиной этого являются технологические перегрузки, при которых нагрузки на электрооборудование превышают номинальные значения на 50-70%, местами доходя до 100%, так, например, двигатели с ПВ 40% работают с ПВ 80-100%. Влияние технологических перегрузок на старение изоляции усугубляется агрессивной средой. Это повышенная температура окружающего воздуха и высокий уровень токопроводящей запыленности. Как правило, АД питаются от шин с изменяющимися показателями качества электроэнергии.

Определить влияние каждого воздействующего фактора на работу АД, а также различных сочетаний постановкой эксперимента в производственных условиях практически невозможно из-за длительности протекания процессов. Целесообразно использовать физическое моделирование.

В результате разработана экспериментальная установка. Она моделирует работу асинхронного двигателя в условиях производства. Состоит из согласующего трансформатора, мощностью 2,5 кВА, постоянной нагрузки, исследуемый двигатель (мощностью до 1,5 кВт), переменной нагрузки – преобразователь (схема Ларионова) с активной регулируемой нагрузкой и однофазная активная нагрузка. Схема установки представлена на рис. 1.

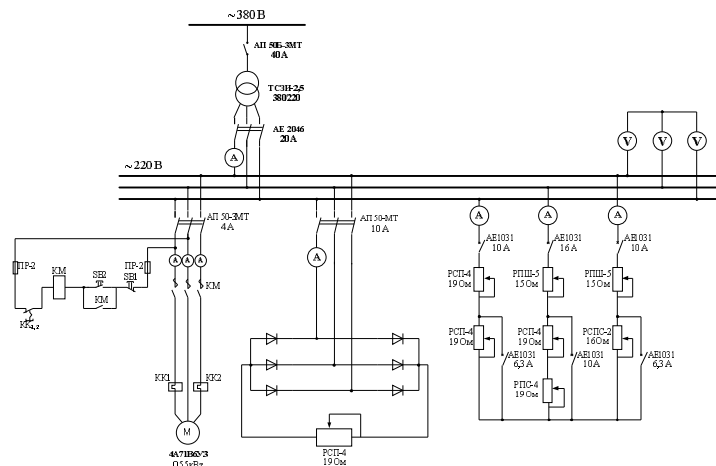


Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки

## ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСАХ, МЕРЕЖАХ ТА СИСТЕМАХ

Регулирование мощности двигателя осуществляется электромагнитным нагрузочным модулем, состоящим из тормозящего диска с электромагнитами. Преобразователь позволяет регулировать в сети коэффициент несинусоидальности от 0 до 5 %. Однофазная нагрузка, набранная из регулируемых реостатов РПС, РПШ и РСПС, создает уровень несимметрии до 4 %. Исследование влияния повышения температуры окружающего воздуха осуществляется помещением двигателя в камеру с нагревателем. Измерение температуры обмоток производится термопарой, установленной на обмотку асинхронного двигателя.

### **ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ СКЛАДНИХ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ**

*П.О. Курляк, доцент, В.С Костишин, професор, Я.В. Бацала, аспірант,  
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу*

Енергетична ефективність складних електротехнічних комплексів (СЕК) у значній мірі залежить від узгодження характеристик між їхніми складовими елементами. Як правило, СЕК вміщує технічні пристрої, які відносяться до підсистем різної фізичної природи (електричної, механічної, гідравлічної, пневматичної тощо). Прикладом таких СЕК є відцентрові насосні агрегати, вентилятори, компресори, засувки. Дослідження ефективності функціонування СЕК є складною науково-прикладною задачею, оскільки воно повинна вирішуватись на стику наук – електроенергетики і гідро(пневмо)-механіки.

Проведення такого роду досліджень вимагає встановлення узагальнених координат, які б могли зв'язувати складові підсистеми різної фізичної природи. Такою узагальненою змінною є енергія, яка в будь-якій фізичній області володіє однаковою поведінкою, а саме: генерування, збереження, незворотне і зворотне перетворення та розповсюдження.

Саме на відображенні потоків енергії в підсистемах різної фізичної природи складних технічних об'єктів базується основна концепція комп'ютерно-орієнтованого методу Bond Graph [1,2]. В даному методі застосовується аналогія між різними фізичними змінними, тому складові підсистеми описують аналогічними рівняннями та фізичними поняттями. Потік енергії за одиницю часу між елементами системи у будь-якій фізичній області може бути виражений добутком двох змінних типу «зусилля» е та «поток»  $f$ , які характеризують миттєве значення потужності.

Розглянемо електроприводний насосний агрегат, як СЕК, до складу якого входить асинхронний двигун, відцентровий насос та запірні арматури. На рис. 1 показано структуру його Bond Graph моделі. До електрич-

## ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСАХ, МЕРЕЖАХ ТА СИСТЕМАХ

ної підсистеми входять електромережа та електрична частина двигуна, до механічної відповідно з'єднання між валами агрегату, а до гідравлічної – гідравлічна частина насоса та гідромережа.

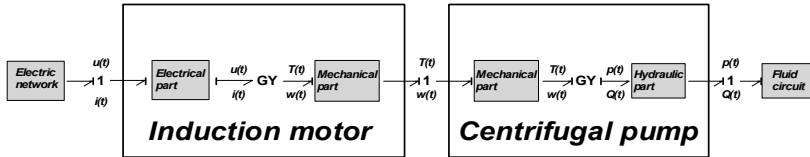


Рисунок 1 – Структура Bond Graph моделі СЕК

Інформативним показником енергетичної ефективності СЕК є ККД. Загальне значення ККД агрегату можна виразити співвідношенням:

$$\eta_{\Sigma} = \prod_{i=1}^{n-1} \eta_i = \prod_{i=1}^{n-1} \frac{p_{i2}}{p_{i1}} = \frac{p_{n2}}{p_{11}}, \quad (1)$$

де  $\eta_i$  – ККД  $i$ -го перетворювача енергії;  $p_{n1}$ ,  $p_{n2}$  – відповідно вхідні та вихідні миттєві значення потужності  $i$ -ої підсистеми;  $n$  – кількість складових підсистем агрегату.

Узагальнені змінні зусилля  $e(t)$  і потоку  $f(t)$  знаходять відповідність у кожній із трьох фізичних підсистемах запропонованого СЕК, а саме: в електричній підсистемі змінною зусилля є напруга  $u(t)$ , а змінною потоку – струм  $i(t)$ , відповідно в механічній – крутний момент  $T(t)$  і кутова швидкість  $\omega(t)$  ротора агрегату, а в гідравлічній – тиск  $p(t)$  та об'ємний розхід рідини  $Q(t)$ . Отже, згідно виразу (1) та враховуючи структуру Bond Graph моделі СЕК (рис. 1) отримуємо комплексний ККД насосного агрегату:

$$\eta_{CEK} = \frac{T(t) \cdot \omega(t)}{u(t) \cdot i(t)} \times \frac{p(t) \cdot Q(t)}{T(t) \cdot \omega(t)} = \frac{p(t) \cdot Q(t)}{u(t) \cdot i(t)}. \quad (2)$$

### Література

1. Костишин В.С. Створення комп'ютерно-орієнтованих моделей електроприводних агрегатів нафтогазової промисловості / В. Костишин, П. Курляк // Нафтогазова енергетика. – 2007. – №1(2). – С.50–56.
2. Курляк П.О. Моделювання динамічних режимів роботи електроприводних відцентрових насосних агрегатів магістральних нафтопроводів на основі методу Bond Graph: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.09.03 «Електротехнічні комплекси та системи» / П.О. Курляк. — Вінниця, 2012. — 22 с.

## **ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ОХЛАЖДЕНИЯ МОЩНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН (ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ)**

*А.Н. Минко, зав. отделом, ГП «УкрНТЦ «Энергосталь», г. Харьков*

Основными требованиями, предъявляемыми к замене устаревшего турбогенераторного оборудования, являются: а) повышение установленной мощности энергоблока на 10–30%, при сохранении его установочно-габаритных размеров; б) уменьшения массогабаритных показателей конструкции, для снижения себестоимости агрегата по схеме «доллар–за килограмм»; в) отказ от использования водородной среды охлаждения для турбогенераторов (ТГ) среднего класса мощности с использованием воздушного охлаждения; г) согласование нового оборудования с имеющимися системами обеспечения ТГ: маслоснабжения подшипников, система подачи и слива воды из охладителей и обмотки статора, система возбуждения, система температурного контроля и мониторинга уровня вибрации.

Удовлетворение вышеизложенных требований зависит от степени и качества системы охлаждения ТГ. В связи с этим предлагается:

- для реализации эффективной системы охлаждения ТГ использовать в проектировании подход, изложенный в [1];
- при снижении материалоемкости современной конструкции ТГ использовать положения изложенные в [2];
- модернизацию и ремонт газоохладителей ТГ производить с учетом результатов приведенных в [3].

### **Литература**

1. Минко А. Н. Построение графической модели реализации эффективной системы охлаждения крупных электрических машин (турбогенераторов). – Электроэнергетика глазами молодежи: труды VI между-ой научно-технической конф., 9–13 ноября 2015, Иваново. – В 2 т. Т 2. – Иваново: ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина», 2015. – С. 422–425.
2. Шевченко В. В., Минко А. Н. Оптимизация массогабаритных характеристик газоохладителей турбогенераторов при реконструкции и техническом перевооружении / В. В. Шевченко, А. Н. Минко // Энергетик. – М.: НТФ «Энергопрогресс» – 2016. – №2 – С. 52–54.
3. Минко А. Н. Моделирование теплообменных процессов в трубах охлаждения газоохладителей для модернизации турбогенераторов: зб. наук. праць XIII Міжнародної наук.-техн. конф. м. Кременчук 08-09 квітня 2015 р. / Кременчук, КрНУ, – 2015. – С.

**МОДЕЛЬ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ  
ЕЛЕКТРОПРИВОДНОГО ВІДЦЕНТРОВОГО НАСОСА  
В УСТАЛЕНОМУ РЕЖИМІ РОБОТИ**

*П.М. Николін, асистент, ІФНТУНГ*

В нафтогазовому господарстві України для видобутку, транспортування та переробки нафти використовують електроприводні відцентрові насосні агрегати (ЕВНА). Одинична потужність таких машин може досягати десятки мегават. Але на жаль сьогодні експлуатується ще багато насосних агрегатів із низьким ККД. Така ситуація вимагає створення адекватної математичної моделі, яка б дала змогу відобразити фізичну суть енергетичних перетворень в ЕВНА і окреслити основні напрямки підвищення ефективності його функціонування.

На основі електрогідравлічної аналогії була створена математична модель ВН, що оперує із його зосередженими комплексними параметрами [1]. Механічні втрати потужності були прийняті постійними на всьому інтервалі зміни витрати, а втратами на тертя в сальниках та підшипниках знехтували. Такий підхід призвів до неточного представлення ефективності фізичних процесів в ЕВНА. За основу своїх подальших досліджень приймаємо комплексну схему заміщення ЕВНА Математична модель відцентрового насоса представлена у вигляді чотириполюсника [4], де змодельовані механічні втрати у підшипниках, сальниках та дискового тертя у вигляді активного опору  $R_{\text{мех}}$ , величина якого залежить від витрати. На основі досліджень запропоновано математичну модель вітки механічних втрат:

$$R_{\text{мех}} = \left( R_{\text{мех}}^{\text{ном}} \right)^Q, \quad (1)$$

де  $R_{\text{мех}}^{\text{ном}}$  – значення механічного опору в номінальному режимі роботи насоса;  $Q$  – значення витрати насоса.

В результаті було отримано залежність механічного ККД та визначений результуючий ККД ЕВНА:

$$\eta_{\Sigma} = \eta_o \eta_c \eta_{\text{мех}}, \quad (2)$$

де  $\eta_o$ ,  $\eta_c$ ,  $\eta_{\text{мех}}$  – об'ємний, гідравлічний та механічний ККД.

Для підтвердження адекватності отриманих залежностей порівняно їх із паспортною характеристикою ефективності ЕВНА, які дали хорошу збіжність

Механічний ККД характеризує дисипацію енергії машини: при малих навантаженнях він малий, оскільки втрати на механічні тертя малі, а при короткому замиканні (уявний обрив трубопровода) він великий в наслідок того, що вся надана системі енергія йде на дисипацію. Це й покаже графічна залежність ефективності ЕВНА на рис. 2, де 1-добуток гідравлічного та

## ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСАХ, МЕРЕЖАХ ТА СИСТЕМАХ

об'ємного ККД, 2-механічний ККД, який своєю кривизною нагадує петлю Гістерезису, 3- сумарний ККД відцентрового насоса.

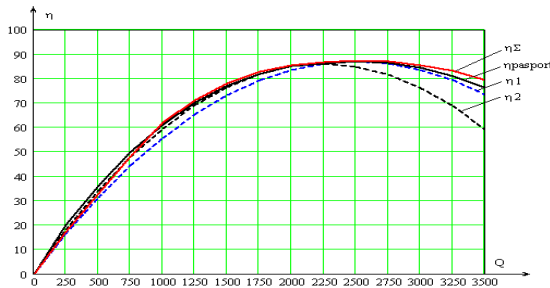


Рисунок 1 –Криві залежності сумарного ККД для різних математичних моделей для насосу типу НМ-2500-230

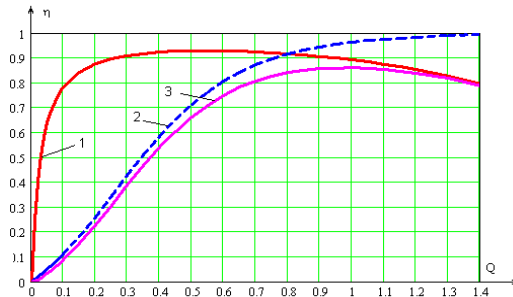


Рисунок 2 –Залежності ККД від витрати для насосу типу НМ-2500-230

Таким чином, математична модель механічних втрат ЕВНА є адекватною, оскільки її розв'язок має хорошу збіжність з паспортними даними і кращу ніж у двох вищезгаданих моделях. Виявлено значущу залежність сумарного ККД від механічного ККД, що доказує перевагу запропонованої моделі механічних втрат над відомими [6]. В подальшому необхідно дослідити характер зміни механічного опору ЕВНА від конструктивних та режимних параметрів машини.

### **Література**

1. Костишин В.С. Моделювання режимів роботи відцентрових насосів на основі електрогідравлічної аналогії / В.С. Костишин. – Івано-Франківськ : Факел, 2000. – 163с.

2. Представлення відцентрового насоса у вигляді чотириполюсника / В.С. Костишин, П.М. Николин // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2006. - №3. – С.76–80.



## **ПУСКОВЫЕ РЕЖИМЫ ЗАРЕЗОНАНСНЫХ ВИБРАЦИОННЫХ МАШИН**

*В.Ю. Ноженко, соискатель., А.В. Войтко, магистрант, Кременчугский  
национальный университет имени Михаила Остроградского*

Зарезонансные вибрационные машины (ВМ) с дебалансными вибровозбудителями широко применяются во многих технологических процессах, благодаря простоте конструкции, высоким технико-экономическим показателям [1]. Однако данные ВМ имеют ряд недостатков, связанных с прохождением резонансной зоны во время пуска, одним из которых является «застревание» роторов приводных двигателей, что сопровождается значительными динамическими нагрузками на элементы конструкции ВМ, увеличением тока в обмотках статора.

В связи с этим актуальной задачей является исследование процессов, протекающих в ВМ при прохождении резонансной зоны для правильного определения мощности приводных двигателей

В качестве ВМ рассмотрена одномассовая вибрационная площадка (ВП) с двухвальными дебалансными вибровозбудителями, применяемая для уплотнения жестких бетонных смесей в форме [1].

Проведенный анализ существующих методик по определению мощности приводных двигателей зарезонансных ВП показал, что они основываются на расчете сил и моментов сопротивления, обусловленных трением в подшипниках вибровозбудителей, в некоторых случаях с учетом мощности для поддержания колебаний рабочего органа ВП в установившемся зарезонансном режиме. Иначе говоря, существующие методики позволяют рассчитать мощность двигателей только для установившегося режима работы ВП и не учитывают пусковой режим.

Следует отметить, что на двигатель ВП действует момент сопротивления вращению, зависящий от угловой частоты вращения вибровозбудителей и вибромомента, зависящий еще и от конструктивных параметров ВМ: увеличивается с увеличением статического момента дебалансов, уменьшается при увеличении массы вибросистемы и ее момента инерции [2]. Следовательно, при прохождении резонансной зоны, когда амплитуда колебаний рабочего органа ВП является максимальной, величина вибромомента так же будет максимальной.

Таким образом, при определении мощности АД зарезонансных ВП для быстрого прохождения резонансной зоны с меньшими динамическими нагрузками необходимо учитывать наличие вибромомента, который зависит от конструктивных параметров ВМ, а также от темпа разгона электропривода.

## ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСАХ, МЕРЕЖАХ ТА СИСТЕМАХ

### **Литература**

1. Сергеев В.П. Строительные машины и оборудование / В.П. Сергеев. – М. : Высшая школа, 1987. – 376 с.
2. Ноженко В.Ю. Особенности пуска резонансных вибрационных машин с дебалансными вибровозбудителями / В.Ю. Ноженко, Д.И. Родькин, В.В. Ченчевой // Вестник Национального технического университета «Харьковский политехнический институт». – Харьков : НТУ «ХПИ», 2015. – Вып. 12 (1121). – С. 218–223.

### **ОПТИМАЛЬНИЙ РОЗПОДІЛ ПОТУЖНОСТІ ДЖЕРЕЛ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОГО НАВАНТАЖЕННЯ СПОЖИВАЧІВ**

*Ю.Ф. Романюк, доцент, О.В. Соломчак, доцент,  
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу*

Джерелами реактивної потужності можуть бути конденсаторні батареї (КБ), синхронні генератори (СГ), синхронні двигуни (СД) та інші джерела.

Вихідними даними для розрахунків є принципова схема і параметри розподільчої мережі, графіки активних і реактивних навантажень або їх характеристики.

Критерієм вибору оптимальної потужності КП є мінімум сумарних дисконтованих витрат  $B_{\text{дс}}$ , на величину яких впливає зміна технічних та економічних показників, зокрема вартість втрат електроенергії на генерацію реактивної потужності різними джерелами та її передачу мережею до місця споживання.

У загальному випадку в пункт А мережі реактивна потужність може бути передана від декількох джерел. Задача вибору найекономічніших джерел та їх оптимальної потужності для компенсації реактивного навантаження споживачів зводиться до мінімізації функції сумарних дисконтованих витрат, зумовлених генерацією і передачею реактивної потужності від усіх  $n$  джерел до вузла А мережі:

$$B_{\text{ос}} = \sum_{\kappa=0}^n (B_{0\kappa} + B_{1\kappa} Q_{\kappa} + B_{2\kappa} Q_{\kappa}^2),$$

де  $Q_{\kappa}$  – реактивні потужності джерел,  $\kappa = 1, 2, \dots, n$ ;  $B_{0\kappa}$  – стала складова дисконтованих витрат;  $B_{1\kappa}$ ,  $B_{2\kappa}$  – питомі витрати, величина яких залежить від типу КП і параметрів розподільчої мережі.

Дисконтовані витрати на передачу реактивної потужності  $Q_1$  від системи С до вузла А включають вартість втрат електроенергії в трансформаторі Т та витрати на передачу потужності  $Q_1$  від системи з врахуванням втрат реактивної потужності в трансформаторі

## ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСАХ, МЕРЕЖАХ ТА СИСТЕМАХ

$$B_1 = \frac{\Pi_{\text{вх}} \Delta P_{\text{н.х}} 8760}{E} + \frac{DTT_{\text{нб}}}{E} Q_1 + \frac{\Pi_{\text{вх}} R_T \tau 10^{-3}}{U_{\text{ном}}^2 E} Q_1^2 = B_{01} + B_{11} Q_1 + B_{21} Q_1^2,$$

исконтовані витрати на передачу реактивної потужності  $Q_2$  і  $Q_3$  від синхронних генераторів (СГ) і синхронних двигунів (СД) до пункту А включають відповідно вартість втрат електроенергії в СГ і СД та лініях живлення Л2 і Л3:

$$B_2 = \frac{D_{1\Gamma} T_{\text{р.г}} \Pi_{\Gamma}}{Q_{\text{ном.г}} E} Q_2 + \left( \frac{D_{2\Gamma} T_{\text{р.г}} \Pi_{\Gamma}}{N_{\Gamma} Q_{\text{ном.г}}^2 E} + \frac{\Pi_{\text{вх}} R_2 \tau 10^{-3}}{N_{\Gamma} U_{\text{ном.г}}^2 E} \right) Q_2^2 = B_{12} Q_2 + B_{22} Q_2^2;$$

$$B_3 = \frac{D_{1\text{сд}} T_{\text{р.сд}} \Pi_{\text{вх}}}{Q_{\text{ном.сд}} E} Q_3 + \left( \frac{D_{2\text{сд}} T_{\text{р.сд}} \Pi_{\text{вх}}}{N_{\text{сд}} Q_{\text{ном.сд}}^2 E} + \frac{\Pi_{\text{вх}} R_3 \tau 10^{-3}}{N_{\text{сд}} U_{\text{ном.сд}}^2 E} \right) Q_3^2 = B_{13} Q_3 + B_{23} Q_3^2.$$

Дисконтовані витрати на передачу реактивної потужності  $Q_4$  від конденсаторної батареї (КБ) включають вартість КБ і комутуючих апаратів, втрати в КБ і лінії живлення Л4

$$B_4 = \left( \left( 1 + \frac{\alpha_e}{100E} \right) K_{0\text{кб}} + \frac{\Pi_{\text{вх}} \Delta P_0 T_{\text{нб}}}{E} \right) Q_4 + \frac{\Pi_{\text{вх}} R_4 \tau 10^{-3}}{U_{\text{ном}}^2 E} Q_4^2 = B_{14} Q_4 + B_{24} Q_4^2.$$

На величину генерованої джерелами реактивної потужності  $Q_{\kappa}$  накладається ряд обмежень:

$$Q_1 \leq Q_T^{\text{max}}; \quad Q_2 \leq N_{\Gamma} Q_{\Gamma}^{\text{max}}; \quad Q_3 \leq N_{\text{сд}} Q_{\text{сд}}^{\text{max}}; \quad Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = Q_A.$$

Поставлена задача є задачею нелінійного програмування і розв'язана за допомогою функції Лагранжа:

$$L = B_{01} + B_{11} Q_1 + B_{21} Q_1^2 + B_{12} Q_2 + B_{22} Q_2^2 + B_{13} Q_3 + B_{23} Q_3^2 + B_{14} Q_4 + B_{24} Q_4^2 + \lambda (Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 - Q_A).$$

Авторами отримано оптимальні розв'язки для ряду варіантів схеми при різних вихідних даних. На основі цього зроблено наступні висновки.

1. Загальна задача оптимізації потужності джерел зводиться до покрокового розрахунку з фіксацією граничної потужності тих джерел, для яких оптимальні значення виходять за межі граничних.

2. Від'ємне значення оптимальної потужності джерела свідчить про недоцільність використання цього джерела для компенсації реактивної потужності споживача. Ця потужність повинна бути скомпенсована за рахунок інших джерел.

3. Оптимальний варіант компенсації реактивного навантаження передбачає комплексне використання всіх наявних джерел. Порівняння варіантів компенсації окремо від кожного джерела є неправильним.

4. Розрахунки показали, що немає універсального вирішення проблеми вибору джерел для компенсації реактивної потужності.

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ ПРИ НАЛИЧИИ НЕСИММЕТРИЧНЫХ НАГРУЗОК**

*О.С. Савенко, ассистент, С.К. Поднебенная, доцент, В.В. Бурлака,  
доцент, С.В. Гулаков, профессор, ГВУЗ «ПГТУ»*

На сегодняшний день существует большое количество нагрузок, которые являются не только потребителями реактивной мощности, но и причиной появления несимметрии в электрической сети. Например, к таким потребителям относятся однофазные сварочные источники питания, которые при включении в трехфазную сеть оказывают значительное влияние на качество питающего напряжения.

Возникает необходимость симметрирования нагрузки, что можно выполнить путем использования гибридного компенсатора реактивной мощности (ГКРМ), состоящего из последовательно включенных симметричной батареи конденсаторов (БК) и активного фильтра [1]. При этом установка ГКРМ позволяет не только скомпенсировать реактивную мощность, но и снизить уровень несимметрии сетевого напряжения.

В качестве целевой функции ГКРМ может выступать:

- пофазная компенсация реактивной мощности;
- минимизация потерь мощности в сети, т.е. минимизация суммы квадратов линейных токов;
- симметрирование сетевых напряжений (в случае «слабой» сети или при работе от автономного источника ограниченной мощности).

Работа ГКРМ осуществляется по одному из двух алгоритмов: выполнение функции «изоляции» БК от высших гармонических составляющих, присутствующих в питающем напряжении, либо работа в качестве активного фильтра с учетом допустимой токовой перегрузки БК, при этом уменьшается коэффициент искажения синусоидальности сетевого напряжения. Снижение уровня несимметрии сетевых токов достигается путем изменения напряжения на вольтодобавочных трансформаторах активного фильтра, через которые ГКРМ включается в сеть.

### **Литература**

1. Савенко О.С. Гибридный компенсатор реактивной мощности с плавным регулированием / О.С. Савенко, С.К. Поднебенная, В.В. Бурлака, С.В. Гулаков // *Электротехника та електроенергетика: науковий журнал.* – Запоріжжя: ЗНТУ, 2014. – № 2. – С.13-19.

## СУЧАСНІ ЗАСОБИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

*А. Титаренко, студент, С.К. Поднебенна, доцент, ДВНЗ «ПДТУ»*

Сучасні енергосистеми повинні бути дуже надійними і забезпечувати високу якість живлення. Параметри якості живлення, такі як скачки напруги або гармоніки струму повинні бути зведені до мінімуму для досягнення високого рівня надійності в системі. Багато з сучасних електричних споживачів дуже чутливі внаслідок широкого поширення мікропроцесорів і електронних пристроїв. Разом з цим, збільшення споживання енергії та необхідність модернізації існуючих електричних мереж викликають багато технологічних проблем. У цьому контексті, якість енергії є дуже важливою темою.

Один з сучасних засобів забезпечення якості електроенергії являється використання активних силових фільтрів. Останнім часом значна увага приділяється використанню універсальних регуляторів якості електроенергії (UPQC – Universal Power Quality Controller), що представляє собою з'єднані по ланці постійного струму паралельний та послідовний активний фільтри. Такий регулятор дозволяє компенсувати гармоніки струму як паралельний фільтр та забезпечувати компенсацію вищих гармонік напруги як послідовний фільтр. Використання спільної ланки постійного струму також дозволяє перекачувати енергію між фазами мережі, проте можливості регулятора обмежуються через неможливість запасати енергію в ланці постійного струму. Сучасним рішенням цієї проблеми є спільне використання UPQC та надпровідного магнітного накопичувача енергії (SMES – Superconducting Magnetic Energy Storage) (рис. 1).

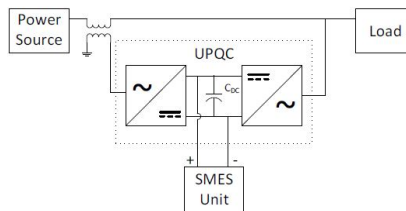


Рисунок 1 – Схема спільного використання UPQC та SMES

Спільне використання UPQC та SMES дозволяє збільшити енергію ланки постійного струму, що дає можливість збільшити встановлену потужність регулятора при збереженні того ж рівня вартості та незначному ускладненню системи управління UPQC.

## **ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ СИСТЕМИ СТРУМОПІДВОДУ ЕЛЕКТРОБУРА**

*М.Й. Федорів, доцент, І.Д. Галушак, доцент, І.М. Михайлів, аспірант,  
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу*

Видобування вуглеводнів та енергозбереження є однією з найголовніших проблем України. Її можна вирішити шляхом буріння нових свердловин, а також додаткових горизонтальних відгалужень у діючих, при цьому застосовуючи енергозаощаджувальні технології. Електробуріння нафтових і газових свердловин має ряд переваг у порівнянні з бурінням турбобуром і роторним бурінням: жорстка механічна характеристика електробура, одна з основних переваг - відсутні втрати потужності на обертання колони бурильних труб, а також їх мале механічне зношення, електробур нечутливий до витрат промивної рідини; контроль викривлення і кута нахилу свердловини за допомогою телеметричної системи з використанням жили кабелю кабельних секцій як інформаційного каналу; можливість опосередкового контролю обертового моменту на долоті.

Комплекс електротехнічних засобів для електробуріння (КЕЗЕБ) включає в себе: електробур, пристрій контролю опору ізоляції, телеметричну систему, струмовідвід за системою "два провідники-труба", струмоприймач, станцію керування і захисту, знижувальний трансформатор

Найбільші об'єми електробуріння глибоких свердловин є в Долинському районі, який характеризується заляганням твердих порід на глибинах 2...5 км. Спостерігається значна кількість простоїв обладнання через відмови кабельних секцій струмопроводу та наземних підстанцій. Основною причиною відмов кабельних секцій є недосконалість їх конструкцій та значні комутаційні перенапруги. Загальний час роботи електробурової техніки монотонно зменшується: для двигунів електробурів з 4010 до 2730 годин; телеметричних систем з 2930 до 1000 годин; пристроїв контролю ізоляції з 32000 до 22309 годин. Статистичні дані свідчать про зношування електробурового обладнання та збільшення кількості ремонтів електробурів Е240, Е164 і найбільше - кабельних секцій КСТ-1, які є основними елементами струмопроводу

Кількість ремонтів електробурової техніки за рік складає для двигунів електробурів 25-30, для телеметричних систем 5-20, для пристроїв контролю ізоляції 5-12, струмоприймачів 4-10, кабельних секцій 300-600 [1]. Міжремонтні періоди складають для двигунів електробурів: 50-80 год., для телеметричних систем 70-140 год., для пристроїв контролю ізоляції 150-300 год., кабельних секцій 400-550 год.

## ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСАХ, МЕРЕЖАХ ТА СИСТЕМАХ

Ефективність роботи двигуна електробура практично не залежить від кількості бурового розчину, що прокачується для вимивання вибуреної породи на поверхню. Однак через те, що буріння нових та розгалуження діючих свердловин провадиться на великих глибинах, відчутними стають втрати напруги в струмопідводі. Внаслідок цього зменшується напруга на затискачах електродвигуна електробура, що призводить до таких негативних явищ як зменшення пускового та номінального крутного моменту. Різні опори жил кабелю і колони бурильних труб призводять до виникнення несиметрії струмів у обмотці статора занурювального електродвигуна. Занижена напруга живлення і несиметрія струмів призводять до перегріву електродвигуна, швидкого старіння ізоляції обмотки статора та відмови електробура.

Підвищення енергоефективності електробуріння свердловин може бути досягнуте коли буде можливість точніше визначити напругу на затискачах електробура залежно від заданих технологічних параметрів буріння. Для зменшення несиметрії струмів електробура, як один із можливих варіантів, треба створити на початку струмопідводу таку несиметричну систему напруг, при якій отримаємо симетричну систему струмів і, відповідно, напруг на затискачах занурювального двигуна.

Підвищення енергоефективності роботи електричного обладнання бурових установок Прикарпатського УБР можна досягнути також шляхом реконструкції системи енергозабезпечення, правильного вибору енергооптимальних режимів роботи, реалізації енергозощаджуючих технологій та економічно обґрунтованого вибору енергетичного обладнання у відповідності до вимог процесу буріння.

Для аналізу роботи комплексу електротехнічних засобів для електробуріння необхідна інформація про наступні енергетичні параметри системи: фазні струми та напруги двигуна електробура; активну, реактивну та повну потужності споживання; швидкість обертання валу; моменту на валу двигуна та про показники якості напруги живлення нафтопроводів

На даний час важливо визначити способи експериментального дослідження енергоефективності основного електричного обладнання бурових установок, так як існуючі засоби контролю дозволяють отримувати інформацію за допомогою давача активної потужності, які встановлюються на поверхні. Цей засіб дає змогу контролювати активну потужність, яка підводиться на поверхні до системи «два проводи – труба – електродвигун» (ДПТ - ЕД).

Відомо, що ККД електропривода є відношення потужності на валу до активної потужності, що підводиться до статора електродвигуна. Але для електроприводу електробура цю залежність можна визначити за формулою:

ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ  
КОМПЛЕКСАХ, МЕРЕЖАХ ТА СИСТЕМАХ

$$\eta = \frac{P_B}{P_1} = \frac{P_1 - \Sigma \Delta P}{P_1}, \quad (1)$$

де  $P_1$  – активна потужність, яка підводиться до системи «ДПТ - електродвигун», кВт;  $\Sigma \Delta P$  – сума втрат потужності в струмовідводі і неробочого ходу в двигуні, кВт;  $P_B$  – потужність на валу заглибного електродвигуна, кВт.

Слід відмітити, що втрати потужності в струмопідводі і втрати потужності неробочого ходу для електроприводу електробура є значними і можуть досягати 50 %. Тому розробка засобів контролю потужності на валу заглибного електродвигуна або вдосконалення існуючих дозволять більш точно визначити ККД заглибних електродвигунів, а також визначати шляхи його підвищення [1].

Отже, ККД заглибного електроприводу, враховуючи (1), може бути визначено:

$$\eta = \frac{P_1 - [(I_A^2 + I_B^2) \cdot R_K \cdot L + I_T^2 \cdot R_T \cdot L + \Delta P_{HX} + I_{ДВ}^2 \cdot R_{ДВ}]}{P_1}, \quad (2)$$

де  $I_A$ ,  $I_B$ ,  $I_T$  – струми навантаження системи «два проводи - труба», А;  $R_K$ ,  $R_T$  – питомий активний опір кабелю і труби, Ом/км;  $R_{ДВ}$  – активний опір обмотки статора електродвигуна, Ом;  $\Delta P_{HX}$  – втрати потужності неробочого ходу, кВт;  $L$  – довжина свердловини, км.

Для вдосконалення засобів контролю активної потужності і можливості використання їх для контролю потужності на валу заглибного двигуна пропонується метод непрямого вимірювання з введенням корегуючих ланцюгів, які дозволять врахувати втрати потужності в струмовідводі, двигуні і втрати неробочого ходу.

Вітчизняна промисловість випускає давачі активної потужності, що під'єднуються до вторинної обмотки трансформаторів струму і трансформаторів напруги. Вихідний сигнал цих давачів знаходиться в межах 0÷10В. Якщо використати сучасну елементну базу для реалізації корегуючих ланок, то це дозволить реалізувати алгоритм:

$$P_B = P_1 - \Delta P_{СП} - \Delta P_{HX} - \Delta P_{ДВ}, \quad (3)$$

де  $\Delta P_{СП}$  – втрати потужності в струмопідводі, кВт;  $\Delta P_{ДВ}$  – втрати потужності в двигуні, кВт.

Визначення втрат потужності в струмовідводі пропонується здійснити за допомогою таких елементів: квадратор, пристрій множення, в якому здійснюється операція піднесення до квадрату струму і множення на опір, тобто на виході цих елементів отримаємо напругу в межах від



## ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСАХ, МЕРЕЖАХ ТА СИСТЕМАХ

0÷10 В, що пропорційна квадрату струму, і напругу, яка пропорційна втратам потужності в струмовідводі. Аналогічно можна визначити величини втрат потужності у заглибному електродвигуні  $\Delta P_{ДВ}$ .

Важливим показником заглибного електроприводу є потужність на долоті, від величини якої залежить ефективність процесу руйнування породи на вибої свердловини. Цей показник визначається, коли від потужності на валу заглибного електродвигуна відраховуються втрати потужності в шпінделі, тобто:

$$P_{ДОЛ} = P_B - \Delta P_{ШП} . \quad (4)$$

Якщо є змога отримати величину потужності на долоті аналітично або експериментально, то ККД заглибного електродвигуна

$$\eta_{ЗП} = \frac{P_{ДОЛ.}}{P_1} . \quad (5)$$

Потужність на долоті в процесі буріння свердловин не є сталою величиною і, як правило, при постійному осьовому навантаженні її величина змінюється за рахунок зносу долота в зв'язку з чим зменшується ККД заглибного електроприводу та збільшується споживання електроенергії.

Тому разом з підвищенням точності контролю потужності на валу заглибного електроприводу в реальному часі, для підвищення ККД необхідно стабілізувати потужність на валу електродвигуна і на долоті. Це можливе шляхом створення системи "один провід- труба" на постійному струмі і застосування векторного керування асинхронним двигуном електротруба .

### **Література**

1. Федорів М.Й. Дослідження комплексних показників надійності електрообладнання системи електропостачання електротруба /М.Й. Федорів, А.І. Поточний, У.М. Николин, А.В. Чуйко // Нафтогазова енергетика. Всеукраїнський науково технічний журнал. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2010. – №1(12). – С. 80-85 с.

2. Математична модель функціонування системи електропостачання електротруба [Текст] / Федорів М.Й., Николин У М, Поточний А.І. // Вісник Вінницького політехнічного інституту, 2013 – № 5/ – С. 55-62/

## **ВИДЫ ДЕФЕКТОВ И ОЦЕНКА УЩЕРБА ОТ ОТКАЗОВ ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ НА БЛОКАХ СТАНЦИЙ**

*В.В. Шевченко, профессор, Национальный технический университет «ХПИ»*

Оценка технологических и эксплуатационных рисков эксплуатации электрооборудования (ЭО) в энергосистеме основывается на анализе статистических данных. Также, наряду с технологическими рисками, необходимо учитывать и рыночные: цены, конъюнктуру и т.д.

Оценка возможных рисков в мировой практике турбогенераторостроения выполняется на базе анализа статистических данных по эксплуатации ЭО. Для объективной готовности предупреждения отказов и снижения рисков, связанных с дефектами турбогенераторов (ТГ), необходимо знать, какие из них встречаются наиболее часто. Такие дефекты называются типичными, т.е. такими, которые повторяются наиболее часто в ТГ одного или даже разного типа, но при подобных конструкциях и условиях эксплуатации.

Не все дефекты ТГ приводят к отказам, и выбор таких дефектов, должен проводиться по численному показателю, например, по величине удельного простоя ТГ (часы/(ТГ в год)). Риск проявления дефекта ( $D$ ) может быть определен, как произведение вероятности появления дефекта ( $B$ ) на усредненную величину ущерба ( $U$ ) от последствий появления дефекта:  $D=B \cdot U$ . Установленное на блока станций количество ТГ недостаточно для образования статистически однородной и представительной выборки, что ведет к значительному рассеянию результатов. Перечень отказов по ТЭС и АЭС Украины (по убыванию риска) может быть представлен:

- повреждения масляных уплотнений валов ТГ с водородным охлаждением их внутреннего объема;
- нарушения крепления бандажей лобовых частей обмотки статора, трещины в паяных соединениях головок лобовых частей и креплений обмотки статора в пазах, неплотность полых проводников, обрыв болтов крепления сливного коллектора;
- усталостные трещины в медных соединительных трубках подачи воды в выводы обмотки статора вблизи пайки медной трубки к стальному штуцеру, в т.ч. и в охлаждающих шинах;
- нарушение прессовки, «распушивание» крайних пакетов сердечников статоров, разрушение шихтованных листов пакетов;
- повреждения элементов систем охлаждения обмоток статоров ТГ и/или газоохладителей, трещины в сварных швах напорного и сливного коллекторов;
- износ контактных колец, нарушения щеточного аппарата;

## ЭНЕРГОЗБЕРЕЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСАХ, МЕРЕЖАХ ТА СИСТЕМАХ

– дефекты балансировки роторов и связанные с ними повреждения токоподводов и валов, увеличенные смещения лобовых частей в различных режимах работы генератора, ослабления крепления радиальных шпилек в лобовых частях обмотки;

– технологические и эксплуатационные дефекты изоляции обмотки статора.

Наиболее важны (по риску последствий) следующие дефекты:

– трещины в валу ротора и в деталях бандажных узлов ротора;

– разрушения торцевых частей шихтованных пакетов сердечника статоров, что приводит к разрушениям бандажей и изоляции лобовых частей обмоток статоров;

– нарушения масляных уплотнений ТГ с водородной системой охлаждения, приводящие к выбросу водорода в машинный зал.

Эти дефекты представляют большую опасность, т.к. приводят к серьезным авариям, пожарам и даже взрывам, к длительным вынужденным простоям (до года и более), к разрушениям турбогенераторов, машинных залов, к возможным жертвам.

В таблице представлены данные об ущербах из-за различных видов отказов ТГ мощностью 220, 350, 800 и 1000 МВт с водородно-водяным охлаждением по суммарной недовыработке электроэнергии, полученные по данным электростанций Украины.

Таблица 1 – Ущерб от различных видов отказов турбогенераторов

Мощность ТГ, МВт	Средняя частота отказов ТГ, 1/(ТГ·год)	Продолжительность среднего простоя на один отказ ТГ, час	Возможный ущерб (риск)	
			удельный простой, часы/ (ТГ·год)	удельная недовыработка электроэнергии, 10 <sup>6</sup> (кВт·час)/ (ТГ·год)
1000	0,33	46,8	15,4	15,4
800	0,36	47,3	16,8	13,2
350	0,41	45,0	18,4	9,2
220	0,57	65,0	37,0	8,2

Существенное влияние на число отказов и на недовыработку электроэнергии также оказывает состояние возбудителя, систем возбуждения и охлаждения.

## БАГАТОЦІЛЬОВА ОПТИМІЗАЦІЯ РОБОТИ МАГІСТРАЛЬНИХ НАСОСНИХ АГРЕГАТІВ

*І.І. Яремак, асистент, Івано-Франківський національний технічний  
університет нафти і газу*

Сучасна світова політико-економічна ситуація призвела до того, що насосні агрегати (НА) нафтоперекачувальних станцій (НПС) почали працювати в далеко не оптимальних, відмінних від проектних навантажених режимах, що спричинило різке зниження показників енергоефективності та надійності їх роботи.

Магістральний насосний агрегат (НА) складається з приводного синхронного чи асинхронного електродвигуна (ЕД) та відцентрового насоса (ВН). Найбільш ефективний режим роботи ВН визначають на основі характеристики його ККД. Проте для комплексного аналізу роботи ВН необхідно також враховувати і надійність його роботи [1], підвищення якої дасть можливість зменшити витрати на ремонт та обслуговування, що також дозволить підвищити і ефективність роботи ВН. Варто зауважити, що електродвигун для насоса вибирається так, щоб його номінальні параметри відповідали оптимальним параметрам насоса. Таким чином, неоптимальний режим роботи насоса зумовлює також зниження ефективності приводного ЕД – погіршення його ККД та коефіцієнта потужності, появу додаткових втрат в елементах електромережі.

Для дослідження оптимальної роботи НА критерії ефективності ( $\varphi_{\eta_{ВН}}$ ,  $\varphi_{\eta_{ЕД}}$ ) та надійності ( $\varphi_{\gamma_{ВН}}$ ,  $\varphi_{\gamma_{ЕД}}$ ) ВН та ЕД відповідно представлено у вигляді поліномів залежно від витратного навантаження агрегату  $Q$  [2]:

$$\left. \begin{aligned} \varphi_{\eta_{ВН}} &= a_1 Q^2 + a_2 Q + a_3 \Rightarrow \max; \\ \varphi_{\gamma_{ВН}} &= b_1 Q^2 + b_2 Q + b_3 \Rightarrow \max; \\ \varphi_{\eta_{ЕД}} &= c_1 Q^2 + c_2 Q + c_3 \Rightarrow \max; \\ \varphi_{\gamma_{ЕД}} &= d_1 Q^2 + d_2 Q + d_3 \Rightarrow \max, \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

де  $a_1, a_2, a_3; b_1, b_2, b_3; c_1, c_2, c_3; d_1, d_2, d_3$  – відповідно коефіцієнти апроксимації характеристик ККД та надійності ВН та ЕД.

Проте представлені у виразі (1) критерії мають суперечливий характер. Це означає, що досягнення оптимальних рішень за будь-яким одним критерієм незмінно спричиняє погіршення інших, а тому визначення квазірезультуючого розв'язку в області узгодженого оптимуму можливе лише з позицій системного підходу. Крім того максимальних значень критерії ефективності та надійності досягають при різних зна-

## ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСАХ, МЕРЕЖАХ ТА СИСТЕМАХ

ченнях витрати нафти [3]. Тому задача оптимізації квазіусталених режимів роботи НА зводиться до визначення і подолання вищенаведених протиріч шляхом спільного розв'язання локальних взаємозв'язаних одно- і багаточільових задач.

При суперечності основного комплексу цілей для визначення параметрів рішень використовують наступні методи багаточільової оптимізації (БО): скалярного синтезу (побудова складного критерію оптимальності); абсолютної і відносної “справедливої поступки”, які приводять до адитивної або мультиплікативної форми запису цільових умов; методи побудови шкал переваг; оцінка рішень за узагальненою функцією корисності.

Така кількість методів зумовлена насамперед різноманітністю задач, що вирішуються, а також прагненням зменшити частку суб'єктивності в процедурі розв'язку багаточільових задач. Очевидно, що уникнути застосування евристичних процедур в багаточільових задачах не вдається, а тому прийняття рішень при багатьох критеріях буде залишатися “наукою і мистецтвом”. Однак, розв'язок задачі БО можна спростити шляхом побудови області координатно-параметричного керування режимами НА, яка поділяє їх на квазіусталені, перехідні динамічно стійкі та нестійкі.

Таким чином для встановлення оптимального режиму роботи НА необхідно розв'язати багаточільову задачу за критеріями ефективності та надійності. Запропонована задача формалізована на основі системного підходу, що дає можливість дослідити електричну (ЕД) та гідравлічну (ВН) підсистеми НА та підвищити показники ефективності та надійності його роботи в недовантажених режимах.

### **Література**

1. Hodgson, J. and T.Walters. “Optimizing Pumping Systems to Reduce First or Life- Cycle Cost,” Proceedings of the 19th International Pump Users Symposium, Houston, February 2002.

2. Костышин В.С., Оптимизация работы магистральных насосных агрегатов по критериям эффективности и режимной надежности / В.С. Костышин, И.И. Яремак // Трубопроводный транспорт – 2015 : Материалы X Международной учебно-научно-практической конференции / редкол.: Р.Н. Бахтизин и др. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2015. – С 366-367.

3. Костишин В.С. Аналіз енергоефективності нафтоперекачувального насосного агрегату / В.С. Костишин, І.І. Сорохтей // Нафтогазова енергетика : всеукраїнський науково-технічний ІФНТУНГ. – 2009. – №2(11). – С.76–79.