

УДК 621.316.7

**ОСОБЛИВОСТІ СТВОРЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНО-СТІЙКИХ
ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ**

В. Чумакевич, к. т. н.

Львівський національний аграрний університет

Постановка проблеми. Важливе місце в економіці України посідає продукція сільського господарства. Аграрні підприємства України переживають значні складності, які викликані не лише веденням бойових дій на Сході України та анексією Криму (втрата посівних площ та низки підприємств). Велика кількість аграрних підприємств була орієнтована на ринки Росії та країн СНД, які зараз є або закритими або важкодоступними через транспортні санкції Російської Федерації [1 – 5]. Важливою складовою аграрної продукції є скотарство, і зокрема розведення великої рогатої худоби [1 – 5]. На фоні зростання продукції птахівництва [5], на жаль, статистика говорить про зменшення частки скотарства, зокрема поголів'я корів, в Україні [6].

Також важливим чинником є слабка перевантажувальна здатність ліній електропостачання і низька енергозахищеність сільськогосподарських підприємств, особливо приватних. Не можна забувати, що складні умови, в яких працює обладнання на різних фермах, заводах тощо, висувають додаткові умови до забезпечення надійності обладнання.

З початку 90-х років ХХ століття виникла й набула розвитку теорія функціональної стійкості [7; 8]. Спочатку вона призначалась виключно для авіаційних і космічних систем [7 – 9], згодом була розповсюджена на теорію керування рухом транспортних засобів [10 – 12], розподілені в просторі складні технічні системи [13; 14], облік і керування засобами й ресурсами [15 – 17] тощо. Сутність цієї теорії полягає в перерозподілі матеріальних, а частіше інформаційних і керуючих ресурсів для забезпечення надійного функціонування складних систем в умовах певного потоку збурень та відмов. У [16] було показано, що ця теорія може бути застосована для електромеханічних систем. Сільське господарство сьогодні оснащене сучасними складними електротехнічними та електромеханічними системами, які мають змогу отримувати інформацію про свій стан і в разі потреби зберігати отримані статистичні дані [18 – 20]. Тож постає

завдання проаналізувати межі застосування вказаної теорії для умов роботи сільськогосподарського обладнання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У роботах [7 – 17] обґрунтовано й доведено теоретичні аспекти побудови функціонально-стійких систем. Функціонально-стійкі системи повинні самостійно виявляти і класифікувати позаштатні ситуації й відмови у роботі обладнання. На основі спеціального математичного апарату та алгоритмів здійснюється перерозподіл завдань і ресурсів для забезпечення виконання поставлених завдань у конкретних системах, показано їх особливості. Існує велика кількість робіт [21 – 29], які присвячені оптимізації функціонування електромеханічних систем на основі алгоритмів, які використовують апарати лінійної та нелінійної оптимізації, нечіткої логіки, нейронних мереж тощо. У працях, які присвячені підвищенню ефективності сільськогосподарського обладнання, основну увагу приділено оптимізації роботи конкретного обладнання і систем без врахування міжсистемних зав'язків [2; 4; 5; 19; 20; 29 – 31].

Постановка завдання. Автоматизація виробничих процесів і підвищення надійності їх роботи у сільському господарстві передбачають підвищення продуктивності та якості праці, інтенсифікацію галузі, підвищення культури і привабливості праці за рахунок значного зменшення ручної праці і впровадження машин, механізмів, обладнання тощо. Вона базується на використанні системи машин для комплексної механізації процесів виробництва. На основі аналізу публікацій можна зробити висновок, що функціонально-стійкі системи повинні задовольняти низку вимог:

мати змогу отримувати інформацію про стан і функціонування складових елементів та на основі цієї інформації виявляти позаштатні режими роботи та аварійні ситуації;

мати запас енергетичних, апаратних та програмних ресурсів, які можливо перерозподіляти між елементами системи;

перерозподіляти ресурси у разі виникнення позаштатних та аварійних ситуацій для виконання цільової задачі.

Також необхідною умовою є наявність адекватних моделей функціонування об'єкта, позаштатних і аварійних ситуацій; алгоритму перерозподілу ресурсів [7 – 14].

Більшість досліджень [7 – 17] використовує лінійні або нелінійні імовірнісні динамічні моделі з дискретним часом:

$$\dot{X}(t+1) = A(t+1, t) \cdot X(t) + B(t+1, t) \cdot U(t) + G(t+1, t)W(t); \quad (1)$$

$$Y(t) = H(t) \cdot X(t) + D(t) \cdot U(t) + \Psi(t)V(t), \quad (2)$$

де $X(t)$ – n - мірний вектор стану системи;

$A(t+1, t)$, $B(t+1, t)$ – характеристичні динамічні матриці векторів стану системи $n \times n$ та вектору керування розмірністю $n \times m$;

$U(t)$ – m -мірний вектор управління;

$W(t)$ – випадковий r -мірний вектор гауссівських збурень з нульовим середнім та кореляційною матрицею $M[W(t)W^T(j)] = Q(t)\delta(t_j)$;

$\delta(t_j)$ – символ Кронекера;

$G(t+1, t)$ – матриця збурень;

$Y(t)$ – s -мірний вектор спостережень;

$H(t)$ – матриця спостереження системи;

$V(t)$ – p -мірний випадковий вектор гауссівських похибок вимірювань з нульовим середнім та кореляційною матрицею $M[W(t)W^T(j)] = R(t)\delta(t_j)$;

$D(t)$, $\Psi(t)$ – характеристичні матриці відповідних розмірів.

У даній системі рівняння (1) є рівнянням стану системи, а рівняння (2) – рівнянням спостереження за динамічною системою. Для завершення статистичного опису поведінки системи вводять щільність розподілу початкового стану $f(X(O))$.

Модернізація електротехнічного обладнання забезпечить не лише зниження витрат на оплату спожитої активної потужності, а й зменшення витрат реактивної потужності, які зумовлені фізичними особливостями роботи асинхронних електродвигунів [18, 20, 23].

Метою статті є теоретичне обґрунтування моделі функціонально-стійкої електромеханічної системи сільськогосподарського призначення з урахуванням міжсистемних зав'язків, висунення припущень та накладання обмежень на ці системи.

Виклад основного матеріалу. Умови функціонування електромеханічних систем у сільському господарстві можна зобразити у вигляді схеми (рис. 1). Більшість обладнання ферм не об'єднано в загальну систему, як це зроблено в передових господарствах світу. На сьогодні відбувається модернізація окремих систем. Проведена модернізація більшості господарств [2 – 5; 30; 31] дає змогу об'єднати їх в єдину систему і керувати не. з єдиного центру.

Відповідно до наведеної схеми (див. рис. 1) маємо складну ієрархічну систему з перехресними зв'язками (на схемі не показано).



Рис. 1. Функціональна схема електромеханічної системи в АПК.

Проведемо дослідження виконання умов, які накладаються на функціонально-стійкі системи.

Проаналізуємо можливість отримання інформації про стан елементів електромеханічної системи. За використання контактнорелейних систем керування електроприводами для досягнення зазначеної мети необхідно було використовувати спеціальне обладнання для збирання даних про стан системи (напруга живлення, струми в обмотках електродвигунів, системах керування, режим роботи, працездатність систем тощо). У разі використання частотно-регульованого електроприводу, який останнім часом набув широкого розповсюдження [4; 5; 22; 23], вказану процедуру можуть виконувати безпосередньо частотні перетворювачі [31; 34 – 37]. Зазначимо, що більшість із них має змогу працювати в централізованих системах, які керуються або центральним комп'ютером, або частотним

перетворювачем старшого рівня. Інформацію про стан електродвигуна або електромеханічної системи в цілому можна отримувати від сучасних пристроїв захисту. Вони забезпечують комплексний захист електродвигуна [31 – 37]:

- мають гальванічні розв’язки;
- функцію контролю мінімального навантаження;
- вимірювання струму в кожній із фаз;
- живлення їх струмових кіл, як і кіл релейних захистів, здійснюється від одних і тих самих трансформаторів струму;
- контролюють основні параметри (напругу, струм, зсув та наявність фаз тощо). Також більшість із них обладнана індикаторами, пультами зв’язку зручним інтерфейсом, і вони можуть здійснювати моніторинг подій у системі (табл. 1) [31 – 33];
- дозволяють об’єднати два компоненти: релейний захист та АСКОВЕ.

Виконавчі механізми дублювати практично неможливо. У більшості з них як приводний електродвигун використовують асинхронні двигуни, які мають просту конструкцію і високу надійність роботи при постійному контролі параметрів їх роботи, можемо припустити, що в заданому інтервалі часу вони або будуть працювати безвідмовно, або ненормальні режими можна виявити і запобігти їх розвитку в аварію з мінімізацією втрат. У працях [31 – 39] наведено можливі варіанти.

Постачання енергетичних ресурсів здійснюється, як правило, від зовнішніх організацій – водо-, газо- і електропостачальних компаній. Останнім часом для забезпечення теплом та гарячою водою спостерігається перехід від використання природного газу на дешевші джерела енергії (дрова, вугілля, палети тощо). Мало підприємств мають власні електроенергетичні ресурси та джерела водопостачання. Це питання потребує окремого дослідження.

Таблиця 1

Порівняння комплексних захисних пристроїв електродвигунів

Показник	ЗРВ12	РДЦ-05	УБЗ-302	РЗ-01-06	РЗ-04-05	БЗ-031М	РКЗМ-Р	УЗДР-8	СиЭЗ-1М	СиЭЗ-2М
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Передпусковий контроль мережі		+	+					+		+

Продовження табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Предпусковий контроль ізоляції			+		+		+	+	+	+
Перевантаження	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Неповнофазний режим	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Загальмований ротор	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Асиметрія за струмом або напругою	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Контроль перегріву за тепловою моделлю			+	+	+					
Контроль перегріву з термодетекторами	+							+	+	+
Контроль мінімального навантаження		+	+	+	+	+	+	+		+
Контроль струму витoku на корпус при роботі АСД	+		+							
Зміна струму в трьох фазах	+	+		+	+			+	+	+
Цифровий індикатор		+		+	+	+	+	+		+
Пульт зв'язку			+			+	+			
Інтерфейс			+	+	+			+		
Моніторинг мережі і подій		+	+	+	+	+	+	+		+
Допустима температура – $\leq -25^{\circ}\text{C}$		+	+					+		
Ступінь захисту корпусу не нижче IP54				+		+				

В існуючих системах у разі відмов обладнання просто виводиться з роботи, а перерозподіл ресурсів здійснюється лише за наявності дублювання, що трапляється в системах водопостачання, контролю мікроклімату (кондиціонування), іноді електропостачання. Основні виробничі механізми ферм не мають змоги замінювати елемент, який виведено з роботи. За об'єднання виробничих механізмів в єдину інформаційно-керуючу систему у разі відмови елементів, які відповідають за збір інформації про стан елементів системи та вироблення команд і сигналів керування, виникає можливість перерозподілу інформаційних ресурсів та команд керування між апаратами, які є справними і продовжують працювати.

Відповідно до рис. 1 важливий вплив на роботу електромеханічних систем сільськогосподарського призначення мають

умови їх використання. Електромеханічне обладнання працює в агресивному середовищі (продукти життєдіяльності тварин або птахів, може працювати на відкритому повітрі або в складних температурних умовах з підвищеною вологістю тощо). Ці чинники можливо мінімізувати вибором відповідного виконання обладнання.

Сучасні системи керування й захисту електромеханічних систем [31 – 39] не є дешевими, тому їх впровадження значною мірою залежить від інвестицій, які в умовах економічної кризи сьогодні є обмеженими. Зазначимо, що за достатньо високої вартості впровадження сучасних систем керування і захисту електродвигунів вони мають невеликий термін окупності. Для прикладу розглянемо економічний ефект від впровадження частотного перетворювача CFM210 та універсального блока захисту УБЗ–302 при модернізації системи керування й захисту електроприводу гноетранспортера ТСН-3,0Б. Ефект від впровадження запропонованого вдосконалення полягає насамперед у захисті двигуна від ненормальних режимів під час запуску й роботи. Частотний перетворювач CFM210, виробництва АС Привод, м. Дніпро, дозволяє розвивати стабільний пусковий момент, значно зменшити пускові струми, припинити запуск у разі заклинювання ротора електродвигуна, наприклад під час примерзання, забезпечити низку заданих швидкостей, здійснювати дистанційне, у тому числі й комп'ютерне, керування тощо. Універсальний блок захисту УБЗ-302, виробництва Новатек-Електро, м. Київ, дає змогу здійснювати захист від усіх видів короткого замикання, перенагріву, коливання напруги, зсуву або обриву фаз і є одним із найпростіших сучасних пристроїв захисту українського виробництва. Така схема дозволяє зменшити споживання електроенергії та кількість капітальних ремонтів двигуна. Проведені розрахунки зведено у табл. 2.

Таблиця 2

Техніко-економічні показники проекту

Показник	Існуюча схема електроприводу	Проектована схема електроприводу
1	2	3
Капітальні вкладення, грн		16600
Кількість ремонтів у рік, шт.	1	0,1
Вартість ремонтів у рік, грн	5580	1116

Продовження табл. 2

1	2	3
Спожита за годину потужність двигунами, кВт	7,2	5,04
Загальна спожита за годину потужність, кВт	10,08	7,04
Загальна спожита за рік потужність, кВт	58060,8	40550,4

Капітальні вкладення, які складають 16600 грн, дають змогу за рік зекономити на споживанні електроенергії 17510,4 кВт вартістю 34493,74 грн. Зменшення вартості ремонтних робіт дозволить зекономити 4464 грн. Загальна економія становить 38957,74 грн, а термін окупності запропонованої модернізації складає 0,43 року, або 5,1 місяця. Але таких систем на фермі понад 10 і капіталовкладення будуть вагомими. Таким чином, постає також задача мінімізувати кількість інвестицій. Цей параметр можливо врахувати під час вибору функціоналу оптимізації запропонованої системи.

Постає проблема за допомогою рівнянь (1) і (2) описати перелічені чинники й забезпечити функціональну стійкість запропонованої системи.

Зробимо низку припущень. По-перше, електромеханічна система є сукупністю елементарних систем, які за один цикл роботи не мають взаємного впливу. По-друге, кожна електромеханічна система, умови застосування, енергетика процесу описуються рівняннями (1) і (2). По-третє, у кожному циклі обчислюють зміну енергетики та умов застосування. По-четверте, у кінці кожного циклу роботи враховується зміна початкових умов, чим враховуємо взаємний вплив систем, енергетики та умов застосування. Також необхідно забезпечити виконання таких вимог [16]:

- безперешкодна робота достатньої кількості джерел інформації про стан елементів системи;
- працездатність мінімально допустимої кількості елементів електромеханічної системи.

Більшість сучасних електроприводів використовує систему “тиристорний перетворювач напруги – асинхронний двигун” (ТПН-АД), функціональна блок-схема якої наведена на рис. 2 та має широкий вибір жорстких механічних характеристик асинхронного електродвигуна (рис. 3) [27]. Використання нечітких регуляторів можливе за використання електроприводів із структурною схемою (рис. 4) [28]. Також можливе використання лінійних [21; 22] та інших

моделей. Вибір моделі роботи електроприводу потребує додаткових досліджень.

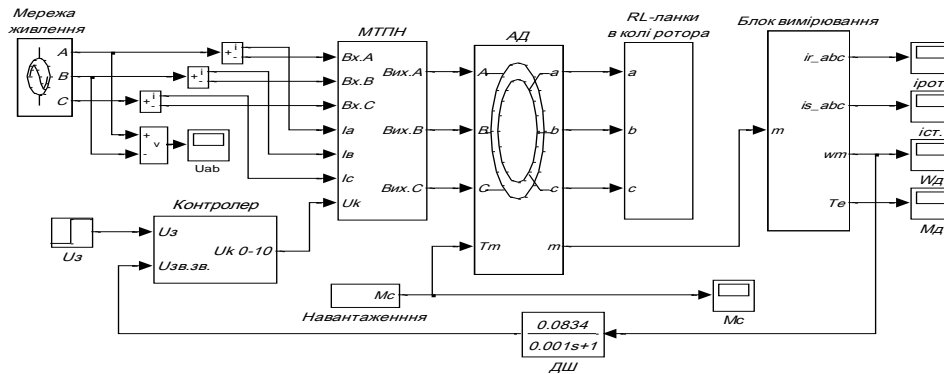


Рис. 2. Функціональна блок-схема моделі електроприводу ТПН-АД.

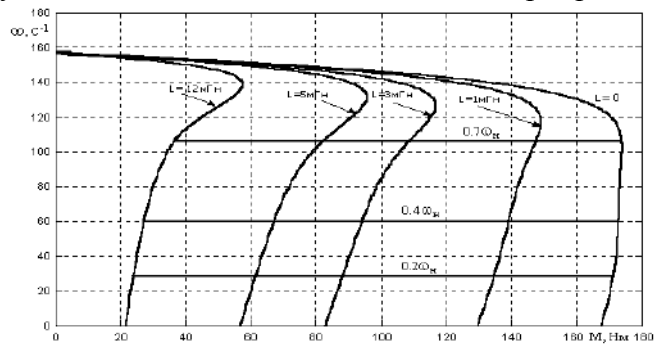


Рис. 3. Механічні характеристики системи ТПН-АД.

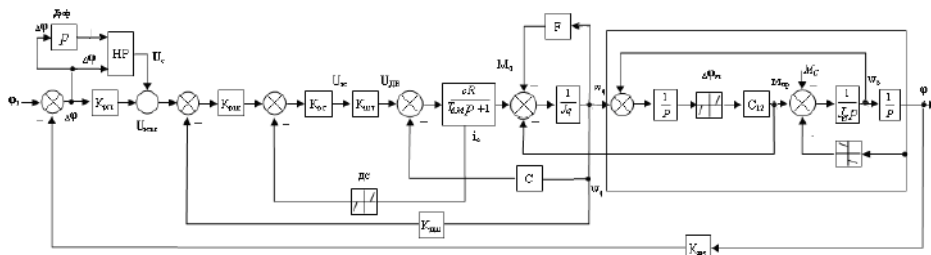


Рис. 4. Структурна схема електромеханічної системи з нечіткою паралельною корекцією.

Висновки. У результаті проведеного аналізу літератури показано доцільність створення функціонально-стійких електромеханічних систем сільськогосподарського призначення. Зроблені припущення на сформульовані теоретичні засади створення математичної моделі функціонально-стійкої електромеханічної системи сільськогосподарського призначення. Отримані результати спонукають

до подальших досліджень з обґрунтування та вибору математичних моделей конкретних елементів та об'єднання їх в єдину систему.

Бібліографічний список

1. Бутенко М. І. Моніторинг розвитку ринку молока та молочних продуктів України / М. І. Бутенко ; Спілка молочних підприємств України ; за ред. М. І. Бутенко. – 5 вип. – К., 2010. – 100 с.

2. Стецюк Я. Ю. Розвиток молочної галузі України [Електронний ресурс] / Я. Ю. Стецюк // Ефективна економіка. – 2015. – № 6. – Режим доступу : <http://www.economy.nauka.com.ua/?op=1&z=4164>.

3. Павленко О. Що чекає молочну галузь України [Електронний ресурс] / О. Павленко // LB.ua. 2015 – Режим доступу : http://blogs.lb.ua/opavlenko/323994_shcho_chekaie_molochnu_galuz_ukraini.html.

4. Глебова Ю. С. Ефективності виробництва яловичини при реконструкції тваринницьких комплексів / Ю. С. Глебова // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка «Вдосконалення технологій і обладнання виробництва продукції тваринництва і птахівництва». – 2009. – Вип. 79. – С. 239 – 247.

5. Технологічні прийоми покращення мікроклімату у пташнику при утриманні індиків на підстилці / А. П. Горбаньов, Є. М. Чаплигін, О. В. Рябініна [та ін.] // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка «Технічні системи і технології тваринництва». – 2013. – Вип. 132. – С. 470 – 477.

6. Державний комітет статистики України. Ukraine statistics [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2016/sg/vpt/vpt_u/vpt2016.html

7. Повышение эффективности бортовых информационно-управляющих комплексов на основе обнаружения и парирования отказов в процессе управления : отчет о НИР/ КВВАИУ. – № 09026. – К. : КВВАИУ, 1990. – С. 226 - 264.

8. Машков О. А. О функциональной устойчивости бортовых информационно-управляющих комплексов / О. А. Машков // Вопросы повышения эффективности и качества систем управления полетом и навигации воздушных судов. – К. : КИИГА, 1990. – С. 79 – 83.

9. Машков О. А. Исследование эффективности функционально-устойчивых бортовых информационно-управляющих комплексов / О. А. Машков // Методы построения функционально-устойчивых бортовых информационно-управляющих комплексов : отчет о НИР. – К. : КВВАИУ, 1991. – С. 11-30.

10. Машков О. А. Синтез високоточної радіонавігаційної системи на основі методу аналізу ієрархій показників якості / О. А. Машков, Ю. В. Кравченко, В. А. Савченко // Моделювання та інформаційні технології : зб. наук. праць ПМЕ НАН України. – 2003. – Вип. 22. – С. 41-48.

11. Машков О.А. Функціонально-стійка система попередження та запобігання авіаційних пригод з використанням кількісної оцінки і прогнозування небезпеки : /О. А. Машков, В. П. Юньов. – К.,: АКАУ, 2003. – 185 с.

12. Обидин Д. Н. Концепция обеспечения функциональной устойчивости распределенной интеллектуализированной системы управления / Д. Н. Обидин // Наука і техніка повітряних сил Збройних сил України. – 2012. – № 3 (9). – С. 114 – 117.

13. Барабаш О. В. Понятійний апарат функціональної стійкості розподілених інформаційно-керуючих систем / О. В. Барабаш, С. В. Козелков, О. А. Машков // Збірник наукових праць НЦ ВПС ЗС України. – 2005. – Вип. 7. – С. 87 – 95.

14. Машков О. А. Шляхи створення та дослідження функціонально-стійкої моделі вимірювально-обчислювального комплексу / О. А. Машков, В. О. Чумакевич, В. А. Шуренок // Моделювання та інформаційні технології : зб. наук. праць ПМЕ НАН України. – 2003. – Вип. 24. – С. 40 – 47.

15. Чумакевич В. О. Застосування теорії функціональної стійкості для дослідження автоматизованих систем збереження, обліку розподілення та видачі боєприпасів / В. О. Чумакевич, О. М. Дробан, О. А. Кравчук // Проблеми створення, випробування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем : зб. наук. праць / Житомирський військовий інститут імені С. П. Корольова Національного авіаційного університету. – Житомир : ЖВІНАУ, 2010. – Вип. 3. – С. 110 – 116 .

16. Паранчук Я. С. Проблеми створення функціонально-стійких електромеханічних комплексів / Я. С. Паранчук, В. О. Чумакевич, Ю. В. Шабатура // Вісник НУ "Львівська політехніка": Електроенергетичні та електромеханічні системи. – 2011. – № 707. – С. 114 – 119.

17. Коробчинський М. В. Забезпечення функціональної стійкості систем управління групи розвідувальних ДКЛА / М. В. Коробчинський, Г. І. Вінніков // Матеріали XVII Воєнно-наукової конференції слухачів та молодих науковців Воєнно-дипломатичної академії, 26 квіт. 2012 р. – К. : ВДА, 2012. – № 15. – С. 126 – 128.

18. Козирський В. В. Електропостачання агропромислового комплексу : підручник / В. В. Козирський, В. В. Каплун, С. М. Волошин. – К. : Аграрна освіта, 2011. – 448 с.
19. Автоматизація виробничих процесів : навч. посіб. для техн. спец. ВНЗ / Я. І. Проць, В. Б. Савків, О. К. Шкодзінський, О. Л. Лящук. – К. : Аграрна освіта, 2011. – 344 с.
20. Корчемний М. О. Енергозбереження в агропромисловому комплексі : навч. посіб. / М. О. Корчемний, В. С. Федорейко, В. В. Щербань. – Тернопіль : Підручники і посібники, 2001. – 984 с.
21. Костинюк Л. Д. Моделювання електроприводів : навч. посіб. / Л. Д. Костинюк, В. І. Мороз, Я. С. Паранчук. – Львів : Вид-во НУ “Львівська політехніка”, 2004. – 428 с.
22. Синтез лінійних оптимальних динамічних систем : навч. посіб. / О. Ю. Лозинський, А. О. Лозинський, Я. Ю. Марущак, Я. С. Паранчук, В. Б. Цяпа. – Львів : Вид-во НУ “Львівська політехніка”, 2016. – 392 с.
23. Закладний О.М. Енергозбереження засобами промислового електропривода: навч. посіб. О.М. Закладний – К.: Кондор,2005.–408 с.
24. Энергосберегающее управление электротехнологическим комплексом как база повышения энергоэффективности металлургии стали / И. Д. Труфанов, В. П. Метельский, В. П. Чумаков, О. Ю. Лозинський, Я. С. Паранчук // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2008. – № 6/1 (36). – С. 22-29.
25. Лозинський О. Ю. Моделювання електромеханічних систем із стохастичним принципом керування / О. Ю. Лозинський, Я. С. Паранчук, А. В. Маляр // Електромеханіка. Теорія і практика : праці наук. - техн. конф., присвяченої 100-річчю від дня народження Тихона Губенка. – Львів-Славськ, 1996. – С. 127-129.
26. Лозинський О. Ю. Дослідження електромеханічної системи, що перебуває під дією випадкових збурень / О. Ю. Лозинський, Я. С. Паранчук, А. В. Маляр // Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія і практика : тр. конф. с междунар. участієм. – Харьков : Основа, 1995. – С. 104-107.
27. Паранчук Я. С. Енергозберігаюча система управління трифазними електроприводами військово-технічних комплексів з покращеною електромагнітною сумісністю / Я. С. Паранчук, В. О. Чумакевич, Ю. В. Шабатура // Проблеми створення, випробування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем : зб. наук. праць / Житомирський військовий інститут імені

С. П. Корольова Національного авіаційного університету. – Житомир : ЖВІНАУ, 2009. – Вип. 2. – С. 140-147.

28. Швидкодійна позиційна електромеханічна система керування механізмом наведення з нечітким регулятором / Я. С. Паранчук, В. О. Чумакевич, П. М. Єфімов, В. О. Москалик // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Тематичний випуск «Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія й практика» науково-виробничого журналу. – Кременчук : КрНУ, 2012. – Вип. 3/2012 (19). – С. 235 – 236.

29. Чумакевич В. О. Енергозбереження у водонасосних установках у наслідок використання частотно-регульованого електроприводу / В. О. Чумакевич, О. Є. Сокульський, С. М. Олійник // Науковий вісник ЛНТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України, 2015. – Вип. 25.1. – С. 197 - 203.

30. Орлов О. Управління сучасною молочною фермою [Електронний ресурс] / О. Орлов // Агробізнес сьогодні. – 2016. – №5 (324), березень. – Режим доступу : <http://www.agro-business.com.ua/suchasne-tvarynyystvo/5249-upravlinnia-suchasnoiu-molochnoiu-fermoiu.html>.

31. Компоненты систем электроснабжения и автоматизации в промышленности : общий каталог. – К.: СВ АЛЬТЕРА, 2006. – 156 с.

32. Универсальный блок защиты электродвигателей УБЗ-301: руководство по эксплуатации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://promin.in.ua/produkcija_novatek-elektro_ua/pristroii_zahistu_asinhronnih_elektrodviguniv.html.

33. Захист в електродвигунах [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://fasteh.kiev.ua>.

34. Schneider Electric. [Electronic resource]. – Mode of access : <http://www.schneider-electric.com/site/home/index.cfm/ua>.

35. Moeller Electric [Electronic resource]. – Mode of access : <http://moeller.kiev.ua>.

36. ABB [Electronic resource]. – Mode of access : <http://www.abb.ua>.

37. TDM Electric [Electronic resource]. – Mode of access : <http://tdmelectric.ru/>.

38. АС Привод. [Електронний ресурс]. – Режим доступу:<http://acprivod.com.ua>.

39. Новатек-Електро м. Київ. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://novatek-electro.com/ua>.

Чумакевич В. Особенности створення функціонально-стійких електромеханічних комплексів сільськогосподарського призначення

Розглянуто особливості структури, роботи та підхід до створення математичних моделей електромеханічних функціонально-стійких систем у сільському господарстві. Оцінено вартість впровадження окремих новітніх технологій у існуючі застарілі комплекси. Окреслено напрями подальших досліджень.

Ключові слова: математична модель, електромеханічна система, функціональна стійкість, надійність, безвідмовність, адаптивність, відновлюваність.

Chumakevych V. Singularity of the functional-stable electromechanical complex of agricultural purpose

The features of the structure, operations and approaches to building mathematical models of functional-stable electromechanical complex of agricultural purpose. The cost of introducing some of the newest technologies into existing obsolete complexes has been estimated. The ways of conducting further research are outlined.

Key words: mathematical model, electromechanical system of agricultural purpose, functional stability, dependability, reliability, adaptability, restorability.

Чумакевич В. Особенности создания функционально-устойчивых электромеханических комплексов сельскохозяйственного назначения

Рассмотрены особенности структуры, работы и подходы к созданию математических моделей функционально-устойчивых электромеханических комплексов сельскохозяйственного назначения. Проведена оценка стоимости внедрения отдельных новейших технологий в существующие устаревшие комплексы. Намечены пути проведения дальнейших исследований.

Ключевые слова: математическая модель, электромеханическая система сельскохозяйственного назначения, функциональная устойчивость, надежность, безотказность, адаптивность, восстанавливаемость.