УДК 621.86: 62-833: 614.847.15

В. М. Оксентюк[1], канд. техн. наук, А. П. Кушнір[2], канд. техн. наук, доцент,
Т. Я. Дзьоба[1], канд. техн. наук, доцент, О. В. Шаповалов[2], канд. техн. наук
([1] Національний університет "Львівська політехніка" СКБ електромеханічних систем,
[2] Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)

ІМІТАТОР СТАТИЧНОГО І ДИНАМІЧНОГО НАВАНТАЖЕНЬ ДЛЯ БЕЗРЕДУКТОРНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА МЕХАНІЗМУ ПОВОРОТУ ПЛАТФОРМИ ПОЖЕЖНОГО АВТОПІДІЙМАЧА

Проводити випробування запропонованого безредукторного електропривода повороту платформи пожежного автопідіймача не доцільно на реальній установці через високу вартість створення такого поворотного механізму, можливість пошкодження дорогого та високоточного обладнання, механічних конструкцій тощо. У такому випадках необхідно замінити натурні випробування стендовими. В статті запропоновано та розроблено динамічну модель безредукторного привода повороту платформи та аналітично визначено алгоритм керування навантажувальною машиною дослідного стенда. Цей алгоритм керування дає змогу імітувати реальний момент навантаження на електропривод повороту платформи в статичних і динамічних режимах з врахуванням активного та реактивного статичних моментів, великого змінного моменту інерції стріли.

Ключові слова: динамічна модель, вентильний моментний двигун, пожежний автопідіймач, механізм повороту платформи, електропривод.

В. М. Оксентюк, А. П. Кушнир, Т. Я. Дзьоба, О. В. Шаповалов

ИМИТАТОР СТАТИЧЕСКОЙ И ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЗОК ДЛЯ БЕЗРЕДУКТОРНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА МЕХАНИЗМА ПОВОРОТА ПЛАТФОРМЫ ПОЖАРНОГО АВТОПОДЪЕМНИКА

Проведение испытаний предложенного безредукторного электропривода поворота платформы пожарного автоподъемника на реальной установке нецелесообразно из-за высокой стоимости создания такого поворотного механизма, возможности повреждения высокоточного и дорогого электронного оборудования, механических конструкций т.п. В таком случае необходимо заменить натурные испытания стендовыми. В статье предложено и разработано динамическую модель безредукторного привода поворота платформы и аналитически определено алгоритм управления нагрузочной машиной испытательного стенда. Данный алгоритм управления позволяет имитировать реальный момент нагрузки на электропривод поворота платформы в статических и динамических режимах с учетом активного и реактивного статических моментов, большого и переменного момента инерции стрелы.

Ключевые слова: динамическая модель, вентильный моментный двигатель, пожарный автоподъемник, механизм поворота платформы, электропривод.

V. M. Oksentyuk, A. P. Kushnir, T. J. Dzjoba, O. V. Shapovalov

STATIC AND DYNAMIC LOADS SIMULATOR FOR DIRECT ELECTRIC DRIVE OF THE FIRE LIFT PLATFORM TURNING MECHANISM

The testing of the proposed direct electric drive of the fire lift platform turning mechanism on the real installation is not advisable because of many reasons such as high cost of rotating mechanism creating, the possibility of precision and expensive electronic equipment and mechanical constructions damage, and so on. In such cases it is necessary to use firing trial instead of full-scale test. Static and dynamic loads simulator for direct electric drive of the fire lift platform turning mechanism was designed and proposed in the article. Control algorithm allows to simulate real time load of the platform in static and dynamic modes, taking into account variables active and reactive static moments, large and variable moment of inertia of the boom pipe.

Key words: dynamic model, brushless torque motor, fire lifts, platform's turning mechanism, electrical drive.

Постановка проблеми. На сучасних пожежних автодрабинах і автопідіймачах впроваджується велика кількість інноваційних технічних рішень, спрямованих на підвищення функціональності, надійності і безпеки. Основними такими рішеннями є: система комп'ютерної стабілізації, яка дає змогу демпфувати коливання стріли за допомогою гідравлічної протидії поривам вітру, посадці в люльку тощо; застосування багатофункціональної люльки підвищеної вантажопідйомності (400 кг і вище); інноваційна система дистанційної діагностики елементів автопідіймача, яка забезпечує передачу інформації про динаміку зміни параметрів; комп'ютерна система керування усіма рухами стріли і системою безпеки тощо.

Наявність редуктора в механізмі повороту платформи призводить до утворення люфтів, виникнення динамічних ударів під час пуску, зупинки чи дії навантаження на опорно-поворотний механізм. Усе це негативно впливає на статичні та динамічні характеристики системи повороту платформи. Для забезпечення високих показників у статичних і динамічних режимах було запропоновано [1] модернізувати систему повороту платформи пожежного автопідіймача шляхом відмови від додаткових механічних зв'язків між виконавчим двигуном і робочим механізмом та створення безредукторого привода повороту платформи на базі моментного вентильного двигуна, вал якого з'єднується безпосередньо з валом об'єкта керування. Відсутність редуктора дало змогу підвищити жорсткість електромеханічної системи механізму повороту платформи та спростити механічну частину привода.

Проведення випробувань розробленого електропривода повороту платформи пожежного автопідіймача з моментним виконавчим двигуном [1] не доцільне на реальній установці через високу вартість створення такого опорно-поворотного механізму, можливість пошкодження дорогого та високоточного обладнання, механічних конструкцій тощо. Тому необхідно замінити натурні випробування стендовими, коли електропривод (ЕП) та системи автоматичного керування (САК) працюватимуть разом з тим пристроєм або механізмом, для якого вони розроблені [2, 3]. Виготовляти натуральний механізм повороту платформи, стрілу з люлькою для проведення стендових випробувань також не доцільно через високу вартість і складність робіт. Проблема досліджень полягає у необхідності відтворення статичних і динамічних навантажень під час стендових випробувань механізму. Кількісні і якісні показники таких навантажень відомі. Необхідно відтворити їх дію на досліджувану систему за допомогою навантажувальної машини під час випробування електропривода повороту платформи на стенді. Найбільш складним завданням є імітація на дослідному стенді реального моменту інерції механізму повороту платформи, оскільки стенд має порівняно невеликий власний момент інерції. Отже, виникло завдання розроблення пристрою та алгоритму керування ним для відтворення під час стендових випробувань навантажень на електропривод повороту платформи, еквівалентних тим, які діють у реальній машині.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. Намагання отримати якісніші показники роботи стріли з люлькою призводить до ускладнення завдань, що повинні виконуватися приводом повороту платформи. Тому САК повинна відповідати жорстким вимогам, а саме: висока швидкодія, статична і динамічна точність відтворення заданих траєкторій, плавність розгону і гальмування двигуна, відсутність перерегулювання в перехідних режимах, обмеження координат регулювання, необхідний запас стійкості. Усе це повинно забезпечуватися в умовах координатних і параметричних збурень.

Існує багато відомих математичних моделей [4-8] різноманітних механізмів, технологічних процесів та навантажувальних пристроїв, установок. Суттєвим їхнім недоліком є відсутність врахування динамічної складової навантаження на досліджуваний механізм та відсутність моделювання дії зміни навантаження в часі.

Завдання відтворення режимів роботи, що відповідають умовам експлуатації об'єктів дослідження, висвітлені не достатньо повно [4-8]. Під час проведення досліджень та моделювання [5-8] необхідно розробити закон керування навантажувальним агрегатом, який би імітував навантаження на робочий механізм аналогічне навантаженню у реальному технологічному процесі. Це суттєво підвищить ефективність, достовірність та результативність проведення стендових випробувань.

Загальнопоширеними є класичні схеми навантажувальних пристроїв для дослідження пускогальмівних режимів електричних машини [4-8]. У роботах [2, 3] розглянуто загальні питання динамічного моделювання, синтезування динамічного функціонального аналога. Також там наведено та проаналізовано різноманітні схеми і характеристики динамічних моделей, приклади реалізації стендів для імітації реальних умов роботи для різних технологічних процесів. Специфіка динамічного моделювання полягає в унікальності кожної моделі конкретного механізму і технологічного процесу.

Максимально наближеними до вирішення завдання, поставленого у цій роботі, є роботи [9, 10]. Ці роботи взяті за вихідні з метою розроблення алгоритму роботи імітатора реального навантаження та динамічної моделі механізму повороту платформи в цілому з врахуванням особливостей технологічного процесу обертання платформи.

Метою роботи є розроблення динамічної моделі безредукторного привода повороту платформи та аналітичне визначення алгоритму керування навантажувальною машиною дослідного стенда для імітації статичного і динамічного навантажень з урахуванням великого і змінного моменту інерції стріли з люлькою та змінних активного та реактивного статичних моментів.

Результати дослідження. Для розроблення динамічної моделі безредукторного електропривода повороту платформи по-перше було визначено структуру і параметри дослідного стенда, який є складовою частиною цієї моделі. По-друге було проведено математичний опис механічної складової процесу обертання і визначено закон керування навантажувальною машиною. Отримані аналітичні вирази однозначно визначають структуру і параметри математичної динамічної моделі механізму повороту платформи. Динамічна модель [3] механізму повтору платформи складається з електромашинного агрегату дослідного стенда та математичної моделі досліджуваної системи (електропривод повороту платформи пожежного автопідіймача).

Для дослідження ЕП повороту платформи пропонується застосувати розроблений і виготовлений дослідний стенд у науково-дослідній лабораторії СКБ електромеханічних систем (НУ "Львівська політехніка") [11]. Електромашинний агрегат стенда складається з трьох електричних машин, що розташовані на одному вертикальному валу, а саме: приводного двигуна, електричної машини для імітації навантаження, тахогенератора ТГ (рис. 1). Навантажувальна машина (НМ) та приводний двигун сполучені за допомогою спільного вала без редукторного з'єднання, мають загальний момент інерції стенда J^{cm} та спільну швидкість обертання вала ω. У ролі приводного двигуна для здійснення повороту платформи з усіма механізмами пропонується використати спеціальний моментний вентильний двигун постійного струму (МВДПС). МВДПС та НМ живляться від керованих перетворювачів КП1 та КП2, які отримують керуючий сигнал через драйвер (Д) від керуючого персонального комп'ютера (КПК).

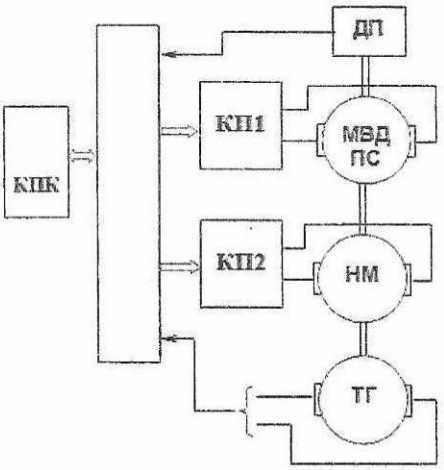

***Рисунок 1** – Функціональна схема електромашинного агрегату дослідного стенда*

Основною ідею проведення випробувань є заміна дії на виконавчий електричний двигун привода повороту платформи пожежного автопідіймача ідентичною дією навантажувальної машини. Для цього було аналітично синтезовано закон керування навантажувальною машиною виходячи з принципів динамічного моделювання складних електромеханічних об'єктів. Навантажувальна машина повинна імітувати в статичних і динамічних режимах дію механізму повороту платформи разом зі стрілою та люлькою на виконавчий електродвигун.

Механізм повороту платформи зі стрілою у реальному пожежному автопідіймачі відзначається великою масою і відповідно великим моментом інерції (їх величина залежить від типу автопідіймача, наприклад, вони можуть бути порядку 5 т і 500000 кг·м^2 для азимутальної осі повороту). Дослідження та випробування реальних виконавчих двигунів із ЕП і САК ними потрібно провести на стенді за умови імітації всіх особливостей функціонування привода та умов експлуатації, а саме: через дію сил тертя в опорах, навантаження на валу виконавчого двигуна має реактивну складову статичного моменту, а також може мати активну складову моменту від вітрового навантаження. Ці складові є змінними. Величина реактивної складової залежить від переміщення люльки, а активної – від сили вітру. Момент інерції електропривода також може змінюватися залежно від просторового розташування рухомих частин стріли.

Розроблено функціональну схему динамічної моделі (ДМ) (показана на рис. 2) реального механізму повороту платформи зі стрілою, яка складається з електромашинного агрегату стенда та пристроїв керування. ЕП повороту платформи є об'єктом випробування (ОВ) та складається з приводного двигуна МВДПС і керованого перетворювача (у цьому стенді – це широтно-імпульсний перетворювач (ШІП)).

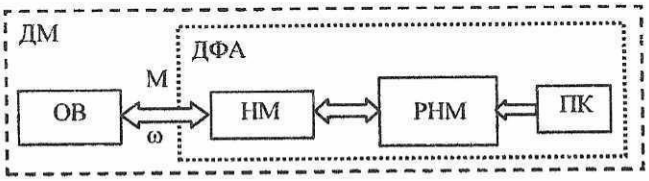

Рисунок 2 – Функціональна схема динамічної моделі для проведення випробувань

Опорно-поворотний механізм пожежного автопідіймача зі всією системою, а також компоненти технологічного призначення і зовнішнє середовище є об'єктом заміщення (ОЗ), який отримуємо шляхом виокремлення з технічної системи конкретного об'єкта випробування. У ДМ вказаний об'єкт заміщення еквівалентно представлений динамічним функціональним аналогом (ДФА). ДФА складається з навантажувальної електричної машини НМ, регулятора (РНМ), призначеного для вироблення керуючого впливу на НМ та пристрою керування (ПК).

Наближені до натурних стендові випробування систем керування можна проводити на дослідному стенді у випадку, якщо за допомогою ДФА можливо створити на валі двигуна навантаження (момент), який має таку ж саму функціональну залежність від параметрів системи і впливу зовнішнього середовища, як і в реальній машині. Вказана заміна моментів допустима, оскільки електромеханічні процеси в двигуні та його САК визначаються сумарним моментом на валу і не залежать від характеру його виникнення. Для цього у складі стенду необхідно передбачити пристрій завдання, який визначає режими роботи. Також у складі дослідного стенда має бути навантажувальний пристрій для відтворення навантажувальних моментів на валу виконавчого двигуна досліджуваної системи.

Виконавчий двигун ЕП створює момент $M_д$, що зумовлюється впливом зовнішнього середовища та умовами роботи. Відповідно момент $M_д$ описується відомим рівнянням балансу моментів [4]:

$$M_д = M_c + M_{дин}, \qquad (1)$$

де: M_c – момент статичного опору; $M_{дин}$ – динамічний момент, що виникає внаслідок зміни кінетичної енергії системи через зміну швидкості, маси рухомих частин тощо.

Загальний вираз динамічного моменту для систем, сумарна маса яких протягом визначеного часу залишається сталою, може бути отриманий з рівняння Лагранжа другого роду [4]:

$$\frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{\partial T}{\partial \omega}\right)-\frac{\partial T}{\partial \theta}=M, \qquad (2)$$

де: $T=J\omega^2/2$ – кінетична енергія системи; $\omega=d\theta/dt$ – кутова швидкість руху; θ – координата руху (кут повороту вала двигуна); J – сумарний момент інерції; M – узагальнений обертовий момент, що є алгебраїчною сумою рушійних моментів та моментів опору.

Виходячи з (1) і (2), В.І. Мещерським було отримано загальне рівняння балансу моментів для складних систем зі зміною мас [2, 3]:

$$M_\partial = M_c + J\frac{d\omega}{dt}+\frac{\omega^2}{2}\frac{dJ}{d\theta}+\omega k_i\left(v-u_x\right)\frac{dm}{d\theta}, \qquad (3)$$

де: $k_i=Ri$ – коефіцієнт, що визначається добутком приведеного радіуса R шківа двигуна та передавальним числом редуктора i; u_x – складова швидкості частинок маси, що приєднуються або від'єднуються вздовж напрямку руху системи; v – поступальна швидкість робочих органів об'єкта керування в точці зміни маси; m – маса рухомих частин системи.

Було проведено аналіз та застосовано рівняння (3) відповідно до нашого об'єкта керування. Доданок M_c є сумою активної та реактивної складових моменту статичного навантаження. Другий доданок присутній і для повороту в азимутальній площині J може змінюватися в значних межах, залежно від розташування стріли автопідіймача в кутомірній площині. Третій доданок може мати нерегулярне значення для ЕП азимутальної площини у випадку одночасної роботи ЕП в обох площинах. Четвертий доданок відсутній у цій системі через відсутність значної зміни мас. У цій роботі у першому наближенні приймаємо роботу тільки одного електропривода повороту платформи із стрілою автопідіймача. Тому третій та четвертий доданки виключено у подальшому аналізі. Зміну J під час процесу переміщення враховано для моделювання за допомогою другого доданка.

Для отримання ідентичності поведінки системи, під час стендових випробувань та у натурних умовах функціонування, необхідно забезпечити відповідні умови роботи, початкові умови та забезпечити виконання таких рівнянь [1]:

$$\begin{cases} M_д^{ст}(t)=M_д^{т}(t)=M_д(t) \\ \theta^{ст}(t)=\theta^{т}(t)=\theta(t) \end{cases} \qquad (0\le t\le T), \qquad (4)$$

де: $M_\partial^{cm}(t)$, $M_\partial^{n}(t)$ – моменти виконавчого безконтактного двигуна стенда та реального механізму повороту платформи пожежного автопідіймача відповідно; $\theta^{cm}(t)$, $\theta^{n}(t)$ – координати руху, а саме кути повороту вала виконавчого двигуна на стенді та реального механізму повороту платформи пожежного автопідіймача відповідно; T – час проведення одного циклу випробування (в позначеннях верхній індекс відображає технічний пристрій).

Перше рівняння системи (4) відображає вимогу рівності моментів на валу виконавчого двигуна під час випробувань (за допомогою динамічної моделі) на стенді та в натурних умовах. Друге рівняння (4) визначає умову ідентичності руху системи.

Виходячи з (3), отримано математичні моделі електромеханічних систем стенда та реального механізму повороту платформи:

$$\begin{aligned} M_\partial^{cm} &= M_c^{cm}+J^{cm}\frac{d\omega}{dt}+M^{кш}, \\ M_\partial^{n} &= M_c^{n}+J^{n}\frac{d\omega}{dt}, \end{aligned} \qquad (5)$$

де: $M_c^{ст}$, M_c^n – моменти статичного опору стенда і реального механізму повороту платформи відповідно; $J^{ст}$, J^n – моменти інерції стенда і реального механізму повороту платформи відповідно; $\omega = d\theta/dt$ – швидкість обертання вала виконавчого двигуна стенда, яка відповідно до (4) дорівнює швидкості обертання вала поворотної платформи; $M^{нм}$ – момент навантаження стенда, що створює НМ.

У результаті виконання умов системи (4) та шляхом прирівнювання правих частин першого і другого рівнянь системи (5) отримано аналітичний вираз закону керування моментом $M^{нм}$, який повинна створити НМ:

$$M^{нм} = M_{c.p}^n + M_{c.a}^n - M_{c.p}^{ст} + \left(J^n - J^{ст}\right)\frac{d\omega}{dt}, \tag{6}$$

де: $M_{c.p}^n$, $M_{c.a}^n$ – відповідно моменти реактивного і активного статичних навантажень в реальному механізмі повороту платформи; $M_{c.p}^{ст}$ – момент реактивного статичного навантаження стенда.

Під час фізичної реалізації алгоритму керування НМ, відповідно до (6), необхідно отримати диференціювання координати швидкості. Диференціювання будь-якого фізичного сигналу супроводжується підвищенням шумів, ускладненням схеми фільтрації. Особливо у цьому випадку за значної пульсації сигналу тахогенератора. Тому для отримання диференціювання кутової швидкості вала виконавчого двигуна запропоновано інший алгоритм для фізичної реалізації рівняння (6), який дає змогу отримати кутове прискорення $d\omega/dt$. Це значення можна отримати з математичної моделі електричного двигуна постійного струму, вхідним сигналом якої є реальний сигнал струму якірного кола I_o:

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{J^n}\left(C_1 I_o - M_{c.p}^n - M_{c.a}^n\right), \tag{7}$$

де: C_1 – електромагнітна стала двигуна, що досліджується.

У результаті проведених у цій роботі досліджень отримано аналітичні залежності (5), (6), (7), які описують роботу ДФА. Зокрема отримано аналітичний вираз (6) моменту $M^{нм}$, який повинна створювати НМ для можливості заміни натурних випробувань стендовими. Визначено структурну схему ДФА на основі отриманих аналітичних залежностей та вище описаної загальної структури електромашинного агрегату стенда. Таким чином розроблено математичну модель ДФА структурна схема якої показана на рис. 3, де $W_{кп2}$, $W_{нм}$ – передавальні функції керованого перетворювача і навантажувальної машини. У блоці ПК реалізовано рівняння (6) з врахуванням виразу (7).

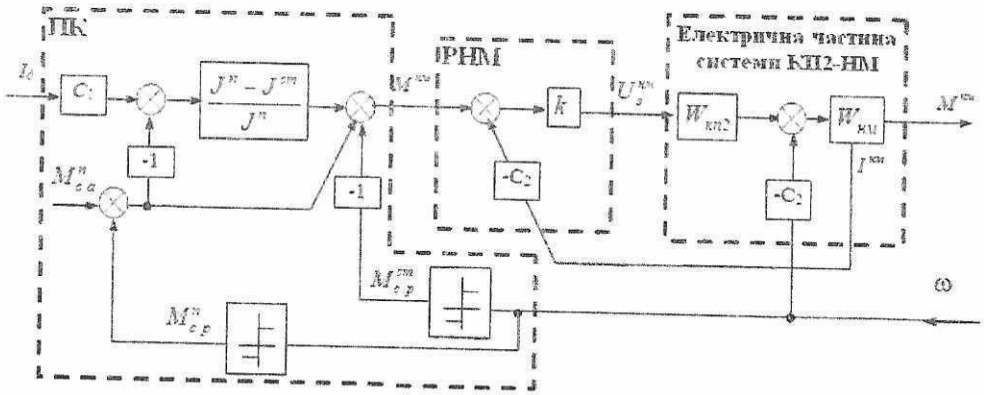

***Рисунок 3** – Структурна схема математичної моделі ДФА для безредукторного привода повороту платформи*

Для отримання сигналів реактивних складових моментів $M^{n}_{c.p}$ та $M^{cm}_{c.p}$ використано стандартні математичні моделі, вхідним сигналом для яких є сигнал реальної швидкості стенда ω. Вихідним сигналом ПК є бажаний момент $M^{нм}$, який повинна безінерційно відтворити НМ. Сигнал $M^{нм}$ є сигналом завдання для регулятора РНМ, який виробляє керуючий вплив безпосередньо на НМ. Вихідним сигналом блока РНМ є сигнал напруги завдання $U^{нм}_{з}$, що подається на вхід керованого перетворювача КП2 у колі НМ.

Для визначення структури та параметрів РНМ запропоновано класичний принцип побудови систем керування зі зворотним зв'язком за регульованою координатою (у нашому випадку – це $M^{нм}$). Тому регулятор РНМ складається з пропорційного регулятора з коефіцієнтом підсилення k. На вхід регулятора РНМ подається різниця сигналів бажаного та реального значень $M^{нм}$. Величина коефіцієнта k визначається за умови забезпечення необхідної статичної та динамічної точності відтворення сигналу завдання $M^{нм}$.

У результаті проведених у цій роботі досліджень розроблено структурну схему динамічної моделі (рис. 4) безредукторного електропривода повороту платформи пожежного автопідіймача. Електрична частина реального безредукторного електропривода повороту платформи складається з двох блоків, а саме: блока керування БК ЕП реального привода повороту платформи та з керованого перетворювача енергії КП1-Д. Блок БК ЕП призначений для вироблення керуючого впливу $U^{д}_{з}$, що подається на КП1, для отримання заданої кутової швидкості.

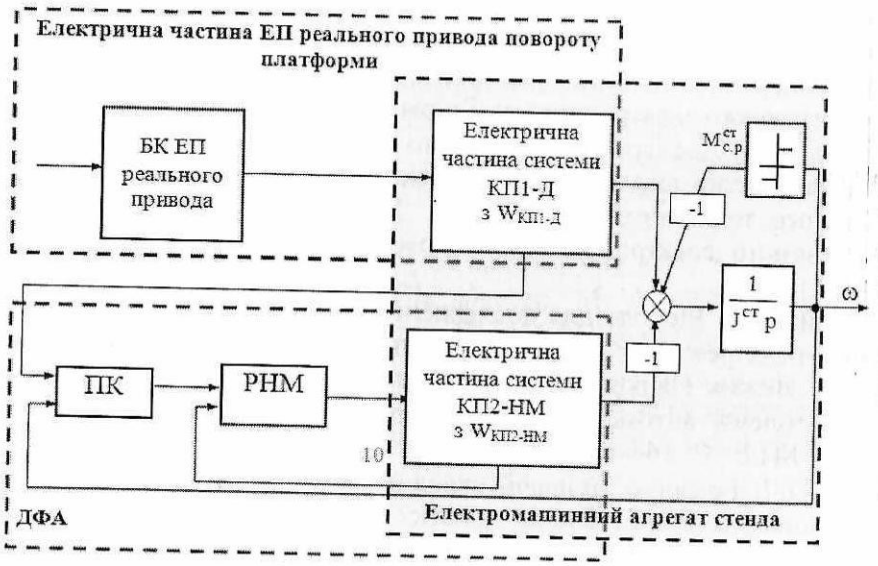

Рисунок 4 *– Динамічна модель безредукторного електропривода повороту платформи пожежного автопідіймача*

Електромашинний агрегат фізично реалізований на дослідному стенді з власним $J^{ст}$ та $M^{ст}_{с.р}$. Цей агрегат складається з двох електричних машин: виконавчого МВДПС з КП1 та НМ з КП2, які представлені на рис. 4 передавальними функція $W_{КП1-Д}$ і $W_{КП2-НМ}$, та тахогенератора для отримання сигналу зворотнього зв'язку за кутовою швидкістю. МВДПС та НМ сполучені спільним валом без редукторного з'єднання, мають загальний момент інерції стенда $J^{ст}$ та спільну швидкість обертання вала ω.

ДФА імітує навантаження, яке наявне у реальному безредукторному електроприводі привода повороту платформи. ДФА складається з ПК, РНМ та системи КП2 – НМ (рис. 2). Блоки ПК та РНМ планується фізично реалізувати на персональному комп'ютері засобами відповідного програмного забезпечення.

Висновки. Розроблено структурну схему динамічної моделі безредукторного електропривода повороту платформи пожежного автопідіймача. Аналітично визначений алгоритм керування навантажувальною машиною стенда для випробування електропривода та виконавчого двигуна реального безредукторного привода повороту платформи. Синтезований динамічний функціональний аналог та динамічна модель в цілому дають змогу забезпечити імітацію реального моменту навантаження безредукторного електропривода повороту платформи в статичних та динамічних режимах роботи з врахуванням змінних активного і реактивного статичних моментів та змінного моменту інерції механізму повороти платформи. Для подальших досліджень планується цифрове моделювання та фізична реалізація розробленої динамічної моделі механізму повороту платформи пожежного автопідіймача.

Список літератури:

1. Кушнір А. П. Вентильний електропривод механізму повороту платформи пожежного автопідйомника / Кушнір А. П., Марущак Я. Ю., Оксентюк В. М. // Пожежна безпека: Зб. наук. праць. – Львів: ЛДУ БЖД, 2014. – №24. – С.103-110.
2. Кочубиевский И. Д. Динамическое моделирование нагрузок при испытаниях автоматических систем / Кочубиевский И. Д. Стражмейстер В. А. – Л.: Энергия, 1965. – 321 с.
3. Кочубиевский И. Д. Системы нагружения для исследования и испытания машин и механизмов / Кочубиевский И. Д. – М. : Машиностроение, 1985. – 305 с.
4. Мазепа С. С. Системи керування та динаміка роботів / Мазепа С. С., Лозинський А. О. – Львів: Видавництво ДУ "Львівська політехніка", 1998. – 117 с.
5. Чермалых В. М. Система оптимального управления электроприводом с задающей и компенсирующей моделями / Чермалых В. М., Яценко О. Я., Бардавил Имад // Вісник Харківського Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика. – Харків: Основа, 1997. – С.72-73.
6. Шокарьов Д. А. Дослідження макетного зразка тягового асинхронного електропривода рудничного контактно-акумуляторного електровоза / Шокарьов Д. А., Федотов В. А. // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія і практика. – Харків: НТУ "ХПІ", 2015 – №12 - С. 234-237.
7. Рябенький В. М. Модель для дослідження суднових електроенергетичних систем в аварійних і динамічних режимах роботи / Рябенький В. М., Ушкаренко О. О., Язід Джамал Ісмаїл Аль-шайх // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія і практика. – Харків: НТУ "ХПІ", 2015 – №12 - С. 164-167.
8. Толочко О. І. Розробка моделей складних електромеханічних систем в середовищі пакета Mathlab з використанням блоків додатку віртуального фізичного моделювання simscape. / Толочко О.І. // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія і практика. – Харків: НТУ "ХПІ", 2015 – №12 - С. 118-123.
9. Щур І. З. Імітатор статичного і динамічного навантажень у стенді для дослідження електроприводів телескопа / Щур І. З., Журкіна В. М., Черепаняк М. В. // Вісник НУ "Львівська політехніка", Електроенергетичні та електромеханічні системи. – Львів: НУ"ЛП", 2004. – № 511. – С. 112-117.
10. Журкіна В. М. Позиційно-слідкуючий електропривід великого оптичного телескопа та його стендові випробування з моделюванням реальних параметрів / Журкіна В. М., Щур І. З. // Збірник наукових праць ХПІ Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія і практика. – Харків: ХПІ. – 2005. – № 45. – С. 278-280.

11. Щур І. З. Аналіз структури САК стендом для дослідження прецизійного слідкуючого електропривода телескопа (на базі моментного двигуна постійного струму) / Щур І. З., Журкіна В. М. // Вісник Східноукраїнського націон. ун. ім. В. Даля. – Луганськ: СНУ, 2003. – № 6 – С. 41-46.

References:

1. Marushchak, Y. Y., Kushnir, A. P., and Oksentyuk V.M. (2014). "Switched electrical drive of platform's rotation mechanism of aerial appliance". *Fire of safety.* Lviv: LDU BGD, 24, 103-110 (in Ukr.).

2. Kochubyevskyy, Y. D., and Strazhmeyster, V. A. (1965). *Dinamicheskoe modelirovanie nagruzok pri ispyitaniyah avtomaticheskih sistem [Dynamycheskoe modeling nahruzok at trials of automatic systems].* L .: Energy (in Ru.).

3. Kochubyevskyy, Y. D. (1985). *Sistemyi nagruzheniya dlya issledovaniya i ispyitaniya mashin i mehanizmov [Nahruzhenyya for Systems Studies and trials machines and mechanisms].* M .: Engineering (in Ru.).

4. Mazeppa, S. S., and Lozinskyy A. O. (1998). *Systemy keruvannya ta dynamika robotiv [Control systems and dynamics of robots].* – Lviv: Publishing "Lviv Polytechnic" (in Ukr.).

5. Chermalyh, V. N. Yatsenko, O. J., and Bardavyl Imad. (1997). Optimal control system with Elektroprivod zadayuschey and kompensyruyuschey models. *Problems of automatic electric drive. A theory and practice : Journal of Kharkov National Technical University "Kharkiv polytechnic institute"*, 72-73 (in Ukr.).

6. Shokarov, D. A., and Fedotov, V. A. (2015). Research model standards asynchronous traction electric mine contact-storage electric. *Problems of automated electric. Theory and Practice : Proceedings of the National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"*, 12, 234-237 (in Ukr.).

7. Ryabenkyy, V. M., Ushkarenko, A. A., and Yazid Ismail Jamal al-Shaykh (2015) The model for the study of marine power systems in emergency and dynamic modes. *Problems of automated electric. Theory and Practice : Proceedings of the National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"*, 12, 164-167 (in Ukr.).

8. Talochko, O. I. (2015). Modeling complex electromechanical systems among Mathlab package using the virtual application blocks physical modeling simscape. *Problems of automated electric. Theory and Practice : Proceedings of the National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"*, 12, 118-123 (in Ukr.).

9. Schur, I. Z., Zhurkin, V. M., and Cherepanyak, M. V. (2004). The simulator static and dynamic loads in stand telescope to study electric. *Herald "Lviv Polytechnic" Electricity and electromechanical systems*, 511, 112-117 (in Ukr.).

10. Zhurkin, V. M., and Schur, I. Z. (2005). Position-following power large optical telescope and its bench tests with simulation of real options. *Problems of automated electric. Theory and Practice : Proceedings of the Cational Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"*, 45, 278-280 (in Ukr.).

11. Schur, I. Z, and Zhurkin, V. M.. (2003). The analysis of structure SAC by a stand for research of high-precision tracking telescope electric drive (on the base of switched torque motor of direct-current) // *Proceedings of the Skhidnoukrainskogo National University the name of V.Dalya*, 6, 41-46(in Ukr.).

❖❖❖