

# ELECTRICAL ENGINEERING

## ЗАДАЧІ АВТОМАТИЗАЦІЇ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ БАГАТОЦІЛЬОВИХ СУДЕН ПОДВІЙНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

**Волянська Я.Б.**

*доцент кафедри електричної інженерії суднових та роботизованих комплексів,  
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова*

*м. Миколаїв, Україна*

**Волянський С.М.**

*доцент кафедри електричної інженерії суднових та роботизованих комплексів,  
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова*

*м. Миколаїв, Україна*

## TASKS OF CONTROL SYSTEM'S AUTOMATION FOR MULTI PURPOSE DUAL-DUTY VESSELS

**Volyanskaya Ya.**

*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of department of electrical engineering of ship and  
robotized complexes*

*Admiral Makarov National University of Shipbuilding  
Mykolayiv, Ukraine*

**Volyanskiy S.**

*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of department of electrical engineering of ship and  
robotized complexes*

*Admiral Makarov National University of Shipbuilding  
Mykolayiv, Ukraine*

### Анотація

Розроблено Simulink-модель просторового руху автономного плавального апарата подвійного призначення. Виконано оцінку точності моделювання просторового руху АПА ПП шляхом порівняння даних, отриманих при розрахунку на Simulink-моделі з приводами постійного та змінного струмів. Похибка не перевищує 25 %. Доказано адекватність розробленої Simulink-моделі, що дозволяє використовувати її при побудові й дослідженні систем керування електрорухом багатоцільових АПА ПП з приводами будь-якого роду струму.

### Abstract

Developed a Simulink-model of spatial motion of an autonomous swimming dual-duty vessel. The accuracy of ASV DD spatial motion modeling was evaluated by comparing the data obtained when calculating the Simulink-model with DC and AC drives. The error does not exceed 25%. The adequacy of the developed Simulink-model is proved, that allows to use it at construction and research of control systems of electric movement of multipurpose ASV DD with drives of any kind of current.

**Ключові слова:** автономний плавальний апарат, моделювання, подвійне призначення, система керування.

**Keywords:** autonomous swimming apparatus, modeling, dual purpose, control system.

### Постановка задачі.

Багатоцільовий автономний плавальний апарат (АПА) – це транспортний засіб, спеціальним чином пристосований для виконання ряду технологічних функцій, які зазвичай здійснюються декількома вузькоспеціалізованими плавальними апаратами. Багатоцільові АПА створюються з метою універсалізації застосування в різних кліматичних умовах і обстановці (соціальної, політичній, техногенній та ін.), для більш гнучкої та економічної експлуатації, вирішення різноманітних і нестандартних задач, при нестачі часу на проведення спеоперацій та інших обставин, ускладнюючих застосування вузькоспеціалізованих транспортних засобів.

Під поняттям АПА «подвійного призначення (застосування)» (ПП) маються на увазі об'єкти морської робототехніки, які можуть застосовуватися крім цивільних (мирних) цілей в тому числі і для

цілей військових. Галузь їх використання дуже широка: від використання у дуже важливих для сучасності системах захисту акваторії морського порту, морських нафто-газодобувних платформ, пунктів базування військових флотів, виявлення та відлякування піратів (з дотриманням правових норм), протидії незаконній міграції, вилову риби та морепродуктів, наркотрафіку, екологічного моніторингу до використання у системі технічного обслуговування та ремонту.

Головною тенденцією сьогодення є практичне злиття цивільного й військового секторів у галузі проектування і побудови об'єктів морської робототехніки. Світовим лідером у виробництві цивільної морської робототехніки є Японія. За загальною кількістю роботів Японія значно випереджає Німеччину і США. При цьому у Європі цей показник складає – 80, в Америці – 68, в Азії – 47 одиниць [1].

Сучасні АПА ПП – чисельний клас динамічних систем, що функціонують в умовах значного впливу зовнішнього середовища [2], здатні ефективно вирішувати низку важливих задач різного призначення, обсяг яких постійно розширюється. У зв'язку з цим спостерігається постійне підвищення вимог щодо їх маневреності, функціональних можливостей, продуктивності виконуваних робіт, що передбачає удосконалення автоматизованих систем керування об'єктів морської робототехніки. Такі системи повинні забезпечувати точну стабілізацію, динамічне позионування і орієнтацію АПА ПП в географічній точці водного простору.

Розробка автоматизованих систем керування АПА ПП та методів їх моделювання завжди знаходилися в центрі уваги провідних учених [2–4]. Але, незважаючи на суттєві досягнення в цьому напрямку, однією з актуальних задач, пов'язаних з проектуванням та експлуатацією подібних об'єктів морської робототехніки, залишається задача створення високоякісних систем керування, які повинні забезпечувати бажану динаміку і точність відпрацювання програмних траєкторій руху [5].

#### Мета роботи

Дослідження моделі просторового руху багатоцільового АПА ПП з приводами постійного та змінного струму.

#### Основний матеріал

Сьогодні для проектування багатоцільових АПА ПП з необхідними параметрами використовують різні підходи, які часто носять емпіричний характер [6]. Для розробки досконалих АПА ПП будують складні дослідницькі установки, проводять безліч вимірів, для обробки даних залучають кваліфікований персонал, все це вимагає суттєвих фінансових витрат. Таких недоліків позбавлений математичний підхід до рішення цієї задачі.

Метод математичного моделювання є найбільш поширеним методом дослідження морських рухомих об'єктів, оскільки відрізняється високою точністю та практично необмеженими можливостями по обліку нелінійностей будь-якого харак-

теру. Дослідження, проведене за допомогою математичної моделі, нерідко називають експериментом на моделі [7].

Математичне моделювання керованого руху АПА ПП може бути представлене сукупністю інформаційних, електромеханічних і гідромеханічних систем як складових об'єкту керування, що взаємодіють між собою.

При розробці математичної моделі елементів АПА ПП [8, 9] прийняті наступні загальні допущення, які не спотворюють фізики явищ, що протікають в об'єкті дослідження: вода як робоче середовище розглядається як ідеальна незбурена рідина; для кожного ступеня свободи АПА ПП має відповідний двигун; вектори тяги рушіїв і сили зовнішніх збурень прикладаються до центру мас АПА ПП і не створюють диферент і крен; насиченням магнітопроводів електродвигунів і нелінійними залежностями механічних елементів нехтуємо; АПА ПП у воді має нульову плавучість.

Для математичного моделювання просторового руху АПА ПП в даній роботі було використано додаток візуального програмування Simulink до пакету MATLAB, що дає можливість отримати наочне уявлення про потоки інформації, що протікають, оцінювати поведінку систем АПА ПП в різних режимах без проведення фізичного експерименту при відповідній верифікації використовуваних математичних моделей.

Дослідження були проведені для підводної системи з апаратом масою 45 кг, гребним гвинтом діаметром 20 см, редуктором з передавальним числом 1:4,5 і електродвигуном потужністю 400 Вт з номінальною швидкістю обертання 5500 об/хв. Розроблена Simulink-модель представлена на рис. 1.

Блок «Subsystem1» виконує функцію завдання вхідного сигналу для системи. Оператор самостійно обирає необхідний варіант реалізації сигналів – ступінчасті, синусоїдальні, періодичні, за заданою програмою. Блок «Subsystem2» використовується для диференціювання сигналу зворотного зв'язку.

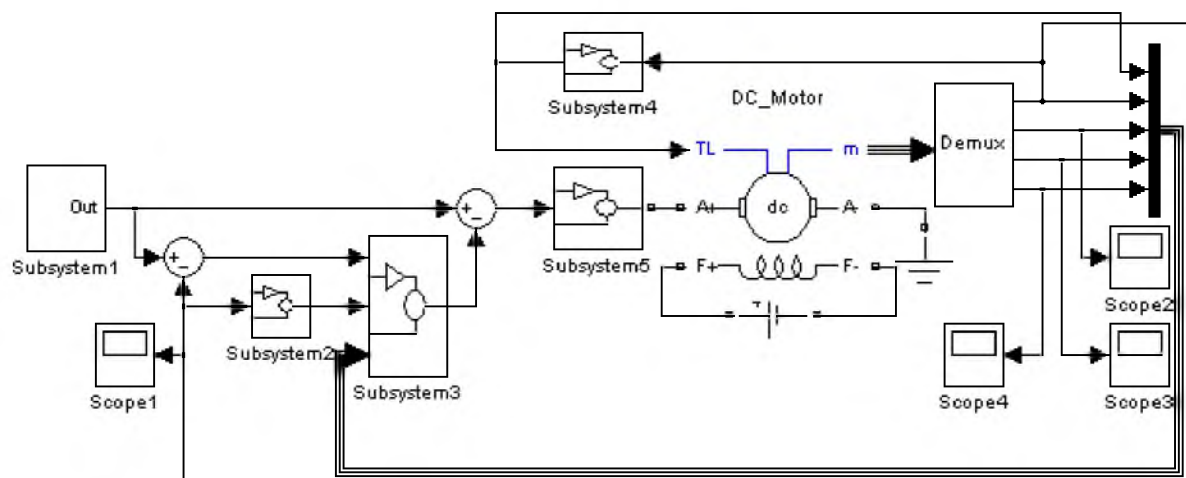


Рис. 1. Загальний вигляд системи моделювання просторового руху АПА ПП з приводом постійного струму

Основну функцію системи керування виконує блок «Subsystem3». У нього стікається вся інформація про стан системи, обробляється блоком нечіткої логіки і виробляється рішення на підставі бази правил (рис. 2).

У блоці «Subsystem4» проводиться апроксимація безрозмірних динамічних характеристик гвинта  $K_T$  і

$K_Q$ ,  $K_p$  і  $K_m$  за задалегідь заданими в табличному вигляді функціям від відносного ходу  $J$ . Далі обчислюється упор і гальмівний момент гвинта і передаються для подальшої обробки в блоці двигуна і блоці нечіткої логіки. У цьому ж блоці можуть формуватися і враховуватися при моделюванні зовнішні збурюючі впливи.

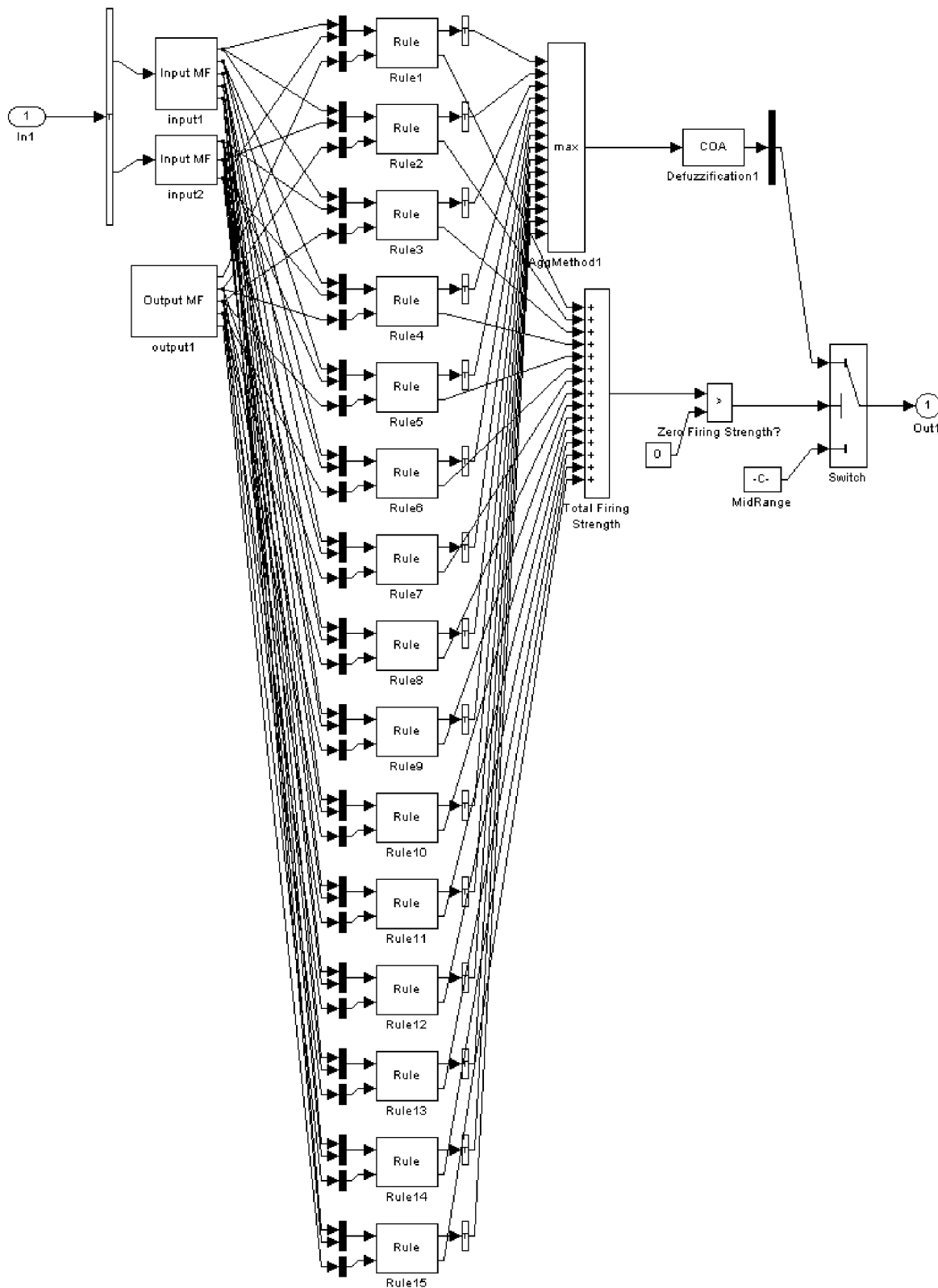


Рис. 2. Склад блоку «Subsystem3»

Блок «Subsystem5» імітує роботу джерела живлення з вбудованим ШІМ-регулятором. Керуючий сигнал надходить від блоку нечіткої логіки і має жорсткий зв'язок з вихідним.

Блок «DC\_Motor» моделює роботу машини постійного струму.

Блок «Demux» візуалізує сигнали від блоку «DC\_Motor» і готує їх для передачі в систему.

Блоки «Scope1» – «Scope4» необхідні для отримання графіків значущих для дослідження параметрів, наприклад, висоти АПА над ґрунтом, вертикальної швидкості, кількості оборотів гребного гвинта, сили струму якоря гребної енергетичної установки, керуючої напруги, що задає сигнал і сили зовнішнього збурення.

Результати моделювання представлені на рис. 3, де показані графіки керуючого сигналу  $u_z$ , упору вертикального рушія  $T$ , вертикальної швидкості  $g_z$  і висоти АПА над ґрунтом  $h$  для прямого пуску з класичним ПД-регулятором в системі підтримки заданої швидкості обертання гребного гвинта АПА у вільній воді і керованого пуску з системою керування заснованою на нечіткій логіці. Для другого випадку керування

проводилося за двома параметрами – помилкою і диференціалом помилки швидкості.

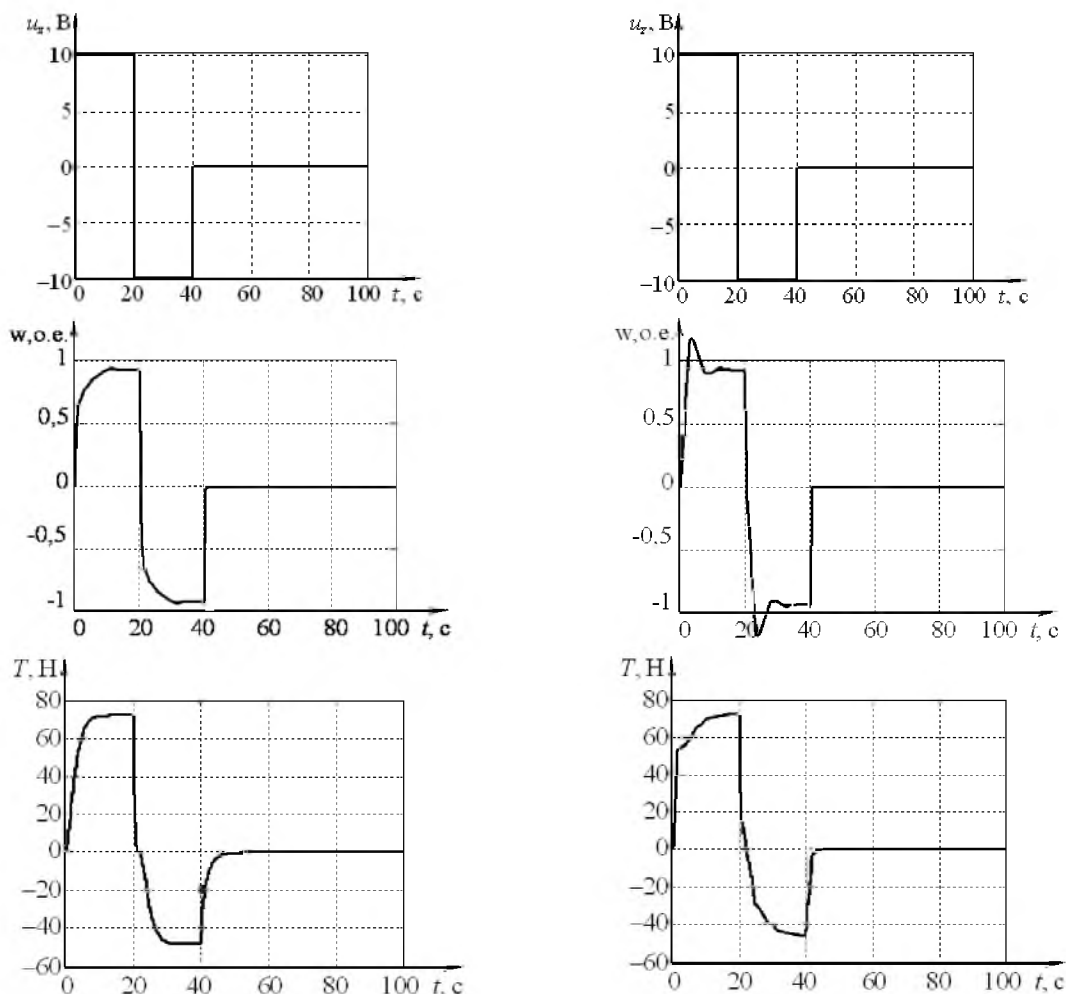
За даними графіків (рис. 3) можна стверджувати, що система керування на базі нечіткої логіки дозволяє знизити переколювання практично до нуля, а сам перехідний процес скоротити в два рази, що в свою чергу веде до скорочення енергетичних і тимчасових витрат на виконання поставленого перед АПА завдання.

За результатами моделювання отримуємо наступні характеристики АПА:

– в швартовному режимі максимальні упори вертикального рушія складають  $72H$  при спливанні і  $48H$  при зануренні;

– в режимі вертикального руху максимальна швидкість АПА становить  $0,5$  м/с при спливанні і  $0,4$  м/с при зануренні.

Тенденції розвитку силової напівпровідникової техніки дозволяють більш широко використовувати асинхронні двигуни в якості приводу гребного гвинта АПА ПП. При цьому можна отримати практично такі ж жорсткі характеристики, як і з приводом постійного струму.



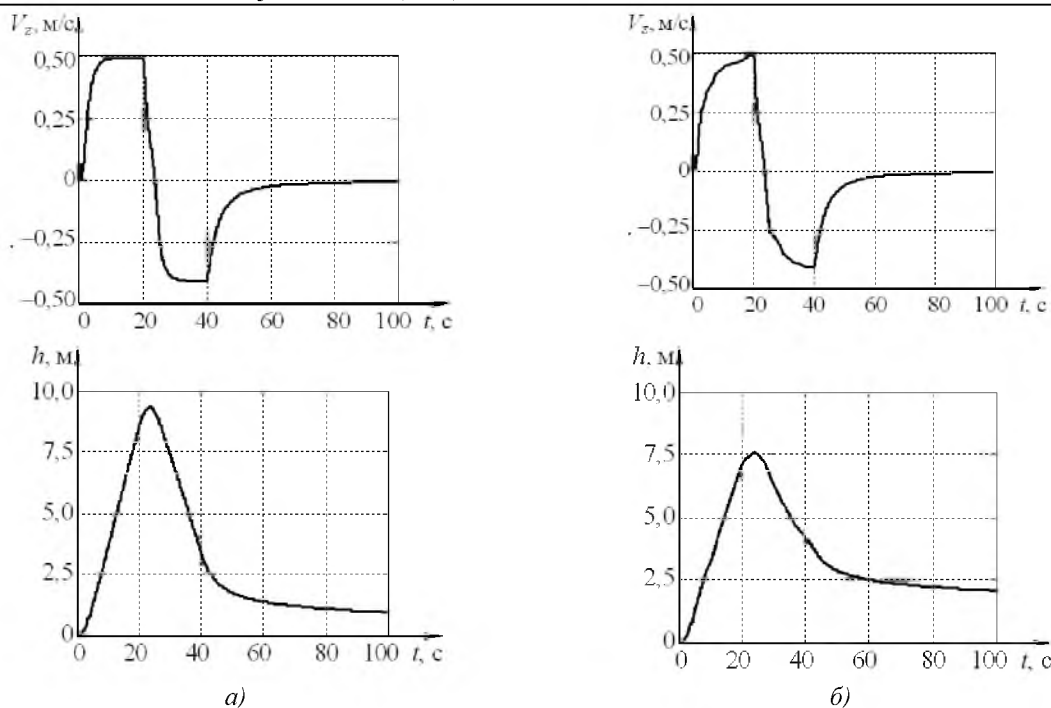


Рис. 3. Моделювання просторового руху АПА ІІІ з приводом постійного струму: а) під час руху АПА ІІІ у вільній воді; б) керованого пуску з системою керування заснованої на нечіткій логіці

Ще одна з переваг – можливість установки гребного гвинта безпосередньо на вал двигуна (минаючи механічний перетворювач – редуктор), що в свою чергу підвищує ККД системи, керованість, спрощує моделювання, зменшує масогабаритні показники. Для проведення досліджень взяті ті ж

вихідні дані, що і в попередньому дослідженні, але без редуктора, з насадженим на вал двигуна гребним гвинтом, номінальною потужністю 250 Вт і номінальною частотою обертання 1380 об / хв. Розроблена Simulink-модель представлена на рис. 4.

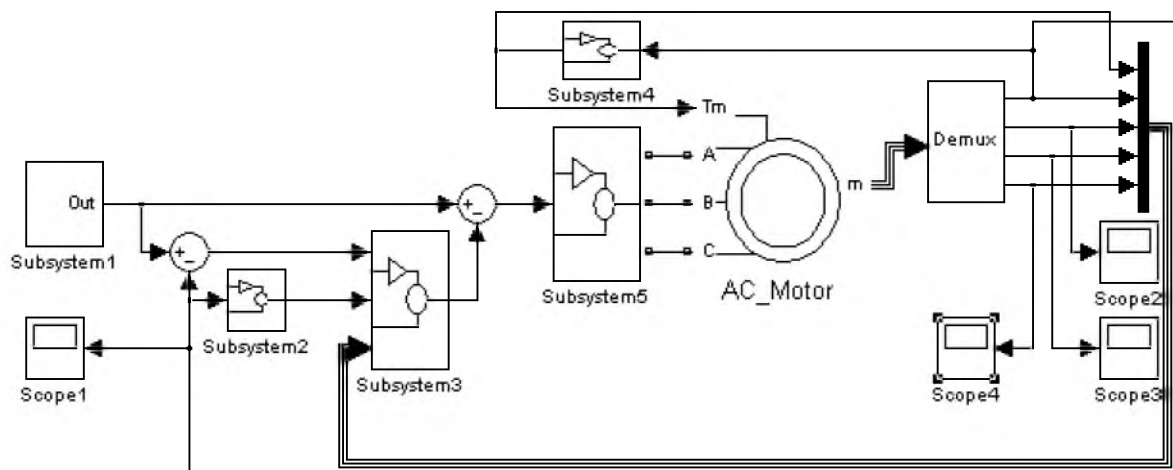


Рис. 4. Загальний вигляд системи моделювання просторового руху АПА ІІІ з асинхронним короткозамкненим приводом

Дана модель має кілька відмінностей від моделі (рис. 1):

- блок «Subsystem5» імітує роботу джерела змінного струму з вбудованим ШІМ – регулятором. Керуючий сигнал надходить від блоку нечіткої логіки і має жорсткий зв'язок з вихідним.

- блок «AC\_Motor» моделює роботу асинхронного короткозамкненого двигуна.

- блок «Demux» візуалізує сигнали від блоку «AC\_Motor» і готує їх для передачі в системі.

Блоки завдання керуючого впливу, візуалізації сигналів, нечіткої логіки, апроксимації упору використовуються такі ж, що і в попередньому дослідженні. Така уніфікація дозволяє говорити про можливість проведення на запропонованій моделі досліджень приводів будь-якого роду струму.

За результатами моделювання отримані характеристики АПА ІІІ, аналогічні характеристикам при моделюванні системи з приводом постійного струму.

**Висновки.**

Результати моделювання просторового руху АПА ПП з приводами різного роду струму відрізняються незначно (до 8%), що в основному зумовлено відмінностями номінальних частот обертання гребного гвинта (постійний струм – 1220 об/хв, змінний – 1380 об/хв.) та відмінними механічними характеристиками приводів. На підставі проведених досліджень та зрівняння з результатами натурних експериментів, отриманих при синтезі математичної моделі просторового руху АПА ПП, можна стверджувати, що розроблена Simulink-модель в середовищі Matlab дозволяє проводити подальші дослідження просторового руху АПА ПП з приводами будь-якого роду струму.

Розроблена модель адекватна, що дає можливість використовувати її для дослідження ефективності різних типів регуляторів в системі керування рухом АПА ПП і отримання необхідних характеристик приводів. Спільне ж використання цієї моделі й спеціалізованого моделюючого комплексу [10] розробленого і створеного в Національному університеті кораблебудування імені адмірала Макарова дозволяє проводити комбіноване дослідження електроприводів будь-якого роду струму з можливістю паралельного відпрацювання алгоритмів керування на моделі і апробації їх на натурному експерименті.

**Список літератури**

1. Буренок В. М. Развитие военных технологий XXI века: проблемы планирование, реализация / В. М. Буренок, А. А. Ивлев, В. Ю. Корчак. – Тверь: Издательство ООО «КУПОЛ», 2009. – 624 с.
2. Агеев М. Д. Автономные подводные роботы. Системы и технологии / М. Д. Агеев. – М.: Наука, 2005. – 398 с.

3. Tavares Durval The Hybrid AUV/ROV / Durval Tavares // Marine Technology Reporter. – 2017. – Vol. 60. – № 8. – P. 48–49.

4. Блінцов С. В. Автоматичне керування автономними підводними апаратами в умовах невизначеності / С. В. Блінцов. – Миколаїв: ТОВ «Фірма «Іліон», 2008. – 204 с.

5. Budashko V. V. Design of the three-level multicriterial strategy of hybrid marine power plant control for a combined propulsion complex / V. V. Budashko // Electrical engineering & Electromechanics. – 2017. – № 2. – P. 62–72.

6. Odegard V. Nonlinear identification of ship autopilot models / V. Odegard // Norwegian University of Science and Technology. – 2009. – P. 100–107.

7. Бобков В. А. Программный комплекс моделирования пространственного движения автономного подводного аппарата / Филаретов В. Ф., Бобков В. А., Юхимец Д. А., Мельман С. В., Борисов Ю. С. // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2007. – № 1. – С. 8–13.

8. Volyanskaya Ya. Synthesis of mathematical model of controlled electromotive device of pilotless floating vehicle / Ya. Volyanskaya // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2018. – Vol. 172 (2018), 012008. – Режим доступа: doi:10.1088/1755-1315/172/1/012008 (дата доступу 14.07.2018).

9. Юдин Ю. И. Идентификация математической модели судна / Ю. И. Юдин, С. В. Пашенцев. – М.: Моркнига, 2015. – 141 с.

10. Volyanskaya Ya. Development of specialized modeling complex to study control systems of movable maritime objects / Ya. Volyanskaya, S. Volyanskiy // Eastern-European journal of enterprise technologies. – 2017. – № 1/9 (85). – P. 26–33.