

Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова

## ПРОВЕРКА АДЕКВАТНОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДВИЖИТЕЛЬНО-РУЛЕВОГО КОМПЛЕКСА ПОДВОДНОГО АППАРАТА

На основе известных математических моделей пространственного движения подводного аппарата построена совмещенная модель его движительно-рулевого комплекса. Полученная модель учитывает особенности работы гребных электродвигателей в среде жидкого диэлектрика и дает возможность проводить компьютерные и натурные исследования режимов подводного аппарата. Проведена верификация совмещенной модели и экспериментально доказана адекватность реальному объекту.

На основі відомих математичних моделей просторового руху підводного апарата побудовано суміщену модель його рушійно-кермового комплексу. Отримана модель враховує особливості роботи гребних електродвигунів у середовищі рідкого діелектрика і дає змогу виконувати комп'ютерні та натурні дослідження режимів підводного апарата. Проведено верифікацію суміщеної моделі та експериментально доведено її адекватність реальному об'єкту.

On the basis of the known mathematical models of spatial motion of submarine vehicle the combined model of his engine- steering complex is built. The got model takes into account the features of work of rowing electric motors in the environment of liquid dielectric and gives an opportunity to conduct computer and model researches of the modes of submarine vehicle. Verification of the combined model is conducted and adequacy is experimentally well-proven to the real object.

В настоящее время метод математического моделирования является наиболее распространенным методом исследования морских подвижных объектов, так как отличается высокой точностью и практически неограниченными возможностями по учету нелинейностей любого характера.

С практической точки зрения, благодаря развитию вычислительной техники, программного обеспечения, методов математического описания, целесообразно не разрабатывать «с нуля» новую математическую модель, а набирать из уже имеющихся апробированных моделей, отвечающих за соответствующий узел. Но в то же время анализ публикаций, посвященных разработкам математических моделей движительно-рулевого комплекса (ДРК) для подводного аппарата [1], показывает, что проблема получения адекватной математической модели всего ДРК не потеряла своей актуальности до настоящего времени.

Основным потребителем электрической энергии в подводном аппарате (ПА) является ДРК. В качестве привода ДРК ПА получили широкое распространение двигатели постоянного тока благодаря простоте управления, хорошим массогабаритным характеристикам и возможности работы в среде жидкого диэлектрика [2]. Общий вид системы моделирования пространственного движения ПА на языке Simulink, построенной на основе математических моделей [1] и [2], представлен на рис. 1.

Блок «Subsystem1» выполняет функцию задания входного сигнала для системы. Блок «Subsystem2» используется для дифференцирования сигнала обратной связи.

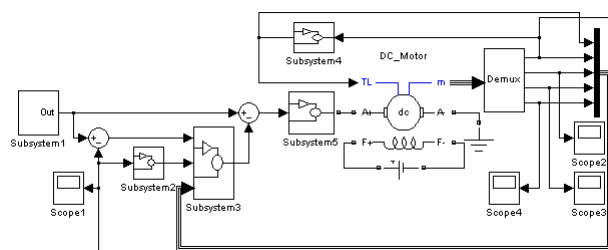


Рис.1. Simulink-модель пространственного движения ПА

Основную функцию системы управления выполняет блок «Subsystem3». В него поступает вся информация о состоянии системы, обрабатывается блоком нечеткой логики и вырабатывается решение на основании базы правил.

В блоке «Subsystem4» производится аппроксимация безразмерных динамических характеристик винта  $K_T$  и  $K_Q$ ,  $K_p$  и  $K_m$  по заранее заданным в табличном виде функций от относительного хода  $J$  [1].

Блок «Subsystem5» имитирует работу источника питания с встроенным ШИМ – регулятором. Блок «DC\_Motor» моделирует работу капсулированной машины постоянного тока [2].

Для проведения верификации созданной математической модели разработана совмещенная модель (рис.2) на языке Simulink среды Matlab. Особенность предложенной модели состоит в том, что она позволяет одновременно проводить исследования как в среде Matlab, так и на реальном электродвигателе. Совмещенная модель (рис. 2) состоит из трех основных блоков:

Subsystem – блок управления лабораторным натурным стендом [3] с возможностью получения на выходе частоты вращения двигателя;

Subsystem1 – блок формирования задающего сигнала;

Subsystem2 – блок разработанной математической модели двигателя.

Эксперименты проводились при синусоидальном задающем сигнале и постоянном моменте нагрузки на валу.

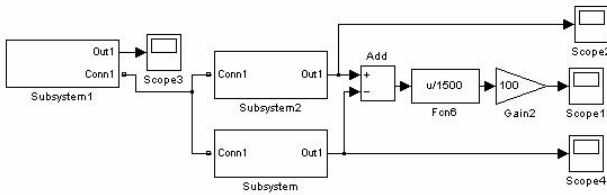


Рис.2. Совмещенная математическая и натурная модели для целей верификации

Результаты проведенных экспериментов при синусоидальном управляющем сигнале представлены на рис.3-5.

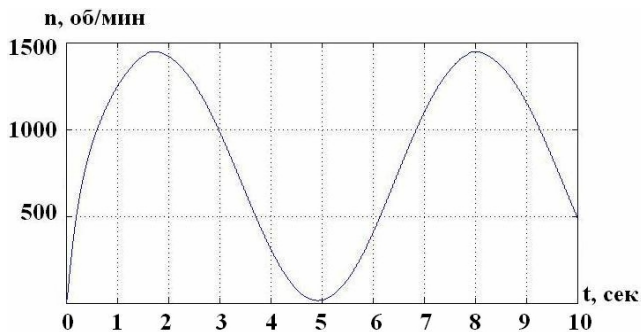


Рис.3. Частота вращения по математической модели

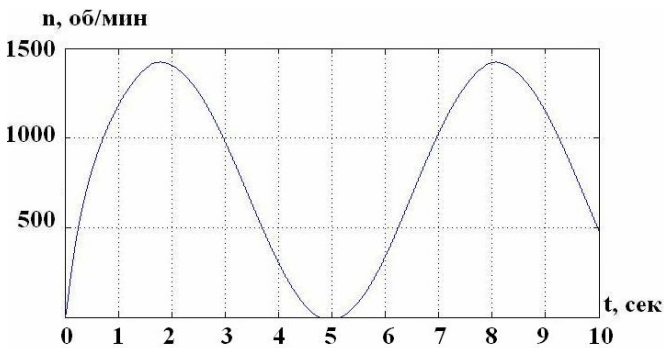


Рис.4. Частота вращения по натурной модели

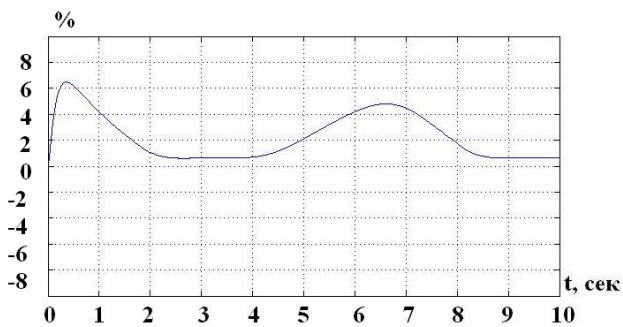


Рис.5. Сигнал ошибки

Таким образом, ошибки расчетов по разработанной математической модели не превышают 10% по сравнению с натурной моделью, поэтому можно сделать вывод, что разработанная математическая модель является адекватной и может использоваться для дальнейших исследований.

#### Список использованной литературы

1. Блінцов С.В. Автоматичне керування автономними підводними апаратами в умовах невизначеності / С.В.Блінцов. – К.: Наук. Думка, 2008. – 205 с.
2. Блинцов В.С. Определение потерь в погружном электроприводе подводного аппарата / В.С.Блинцов, Д.В.Костенко, П.Шимчак // Вісн. Нац. техн. ун-ту «ХПІ». Зб. наук. праць. Тематич. – Вип. 10. – Харків: – 2001. – С. 410-411.
3. Волянский С.М. Разработка стенда для исследования эффективности систем автоматического управления электроприводом / С.М.Волянский // Эл.техника и л.механика: Материалы международной науч.-техн. конф., 13-14 ноября 2006 г. – Николаев: НУК. – 2006. – С. 55-56.

Получено 19.07.2011



Волянский Сергей Михайлович,  
 асс. каф. ЭОС и ИБ Нац. ун-та  
 кораблестроения  
 им. адм. Макарова,  
 г. Николаев, ПГС, 9  
 тел. (0512) 39-94-54,  
 ffogres@yandex.ru