

УДК 62.83.004.15

**С. М. Волянский,**  
**Я. Б. Волянская,** канд. техн. наук

### **ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ ДВИЖИТЕЛЬНО-РУЛЕВОГО КОМПЛЕКСА ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ**

***Аннотация.** Рассмотрена проблема повышения качества управления электроприводами движительно-рулевого комплекса подводного аппарата. Разработан, создан и апробирован тахометр измеряющий частоту вращения электродвигателя. Проведена его метрологическая аттестация в составе учебно-исследовательского лабораторного средства СВ-1 и подтверждена возможность применения с заданной точностью в системах управления электроприводами.*

***Ключевые слова:** подводные аппараты, системы автоматического управления, электроприводы, тахометр, моделирование*

**S. M. Volyansky,**  
**Y. B. Volyanskaya,** PhD.

### **IMPROVEMENT OF QUALITY CONTROL OF BY ELECTROMECHANICS OF PROPULSION-STEERING COMPLEX SUBMARINE**

***Abstract.** The decision of problem of improvement of quality control of SAC is considered the electromechanics of MCS of submarine vehicle. Worked out, the measuring device of frequency of rotation of electric motor is created and approved – tachometer. His metrology attestation is conducted in composition the educational-research laboratory means of CB-1 and possibility of application is confirmed with the set exactness in control system by electromechanics.*

***Keywords:** submarine vehicles, systems of automatic control, electromechanics, tachometer, to simulate*

**С. М. Волянский,**  
**Я. Б. Волянская,** канд. техн. наук

### **ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДАМИ РУЛІЙНО-КЕРМОВОГО КОМПЛЕКСУ ПІДВОДНИХ АПАРАТІВ**

***Анотація.** Розглянуто вирішення проблеми підвищення якості управління електроприводами рулійно-кермового комплексу підводного апарату. Розроблено, створено й апробовано тахометр., який вимірює частоту обертання електродвигуна. Проведена його метрологічна атестація у складі учбово-дослідницького лабораторного засобу СВ-1 і підтверджена можливість застосування із заданою точністю в системах управління електроприводами.*

***Ключові слова:** підводні апарати, системи автоматичного управління, електроприводи, тахометр, моделювання*

**Постановка проблемы.** Самоходные подводные аппараты (ПА) как объект управления принадлежат к сложному виду морской техники, которая работает в условиях существенных внешних возмущений – действия ветра и волн, течения, механических усилий от кабелей – тросов [1, 9].

С позиции теории автоматического управления ПА представляет собой твердое тело, которое двигается в потоке воды благодаря упорам движительно-рулевого комплекса (ДРК), который в свою очередь является исполнительным механизмом системы автоматического управления (САУ) движением ПА [2, 4, 10, 11].

В настоящее время к САУ движением ПА предъявляются жесткие требования: высочайшая точность управляемого движения аппарата по заданной траектории, достижение максимального быстродействия при ступенчатом движении, уменьшение энергоемкости. Таким образом, одной из современных тенденций развития систем автоматического управления движением ПА является повышение качества управления.

© Волянский С.М., Волянская Я.Б., 2014

**Цель статьи.** Выявление и минимизация негативных факторов, влияющих на качество управления САУ электроприводами ДРК подводных аппаратов.

**Изложение основного материала.** Для сведения к минимуму влияния допущений на качество управления системой необходимо проводить эксперименты на конкретном электроприводе, что не всегда возможно, или на его натурной имитационной модели.

Для этого был разработан, изготовлен и апробирован с проведением соответствующей метрологической аттестацией специализированный моделирующий комплекс [3, 6, 8], в состав которого входит учебно-исследовательское лабораторное средство «Стенд испытательный СВ-1», предназначенный для исследования эффективности систем автоматического управления электроприводами разного рода тока движительно-рулевых комплексов подводных аппаратов.

При проектировании «Стенда испытательного СВ-1», одним из основных критериев пригодности разрабатываемого оборудования, являлось соответствие измеряемых величин заданным в техническом задании, как в статических, так и в динамических режимах. Для согласования работы измерителя частоты вращения с

платой ввода-вывода компьютера и пакетом Simulink среды MATLAB, разработано и создано устройство для измерения частоты вращения электродвигателя (тахометр) [5, 7, 12]. Сигнал, получаемый на выходе тахометра, может использоваться как самостоятельно, так и в качестве источника сигнала обратной связи в составе управляющих и измерительных систем электромеханических агрегатов. Исходя из задач исследования эффективности систем автоматического управления электроприводами разного рода тока движительно-рулевых комплексов подводных аппаратов, были определены следующие основные технические характеристики тахометра:

- максимальная частота вращения – 2000 об/мин;
- минимальная частота вращения – 100 об/мин;
- напряжение питания – 5 В;
- частота дискретизации – 100 Гц;
- разрядность – 10 бит;
- аналоговый выходной сигнал – 0...5 В;
- цифровой выходной сигнал – параллельный;
- относительная погрешность по цифровому каналу, не более – 2 %.

Информация о частоте вращения может быть получена разными методами, например с помощью тахогенераторов, индукционных датчиков, дискретных датчиков. Применение дискретных датчиков позволяет легко преобразовать информацию в цифровой код, устранить погрешности линейности и чувствительности, характерные для аналоговых датчиков. В качестве датчика выбран инкрементный энкодер, содержащий диск с 60-ю отверстиями и специальную двоянную оптипару с открытым оптическим каналом НОА 0901. На частоте вращения 2000 об/мин получена частота смены отверстий датчика 2 кГц. Для обеспечения разрешающей способности 10 бит требуется частота счетных импульсов не менее 2,048 МГц, поэтому выбран микроконтроллер с аппаратным интерфейсом квадратного энкодера PIC18F2431. Указанный интерфейс позволяет производить замеры периода следования входных импульсов аппаратно, контролировать направление вращения.

С учетом того, что частота счетных импульсов составляет 5 МГц, частота вращения механизма в об/мин будет равна  $5000000/N_x$ , где  $N_x$  – результат измерения. Если число  $N_x$  представить в виде двухбайтного целого, то минимальная измеряемая частота вращения составит 76 об/мин, что соответствует заданию с небольшим запасом.

Схема электрическая принципиальная устройства показана рис. 1. Кроме микроконтроллера устройство содержит цифроаналоговый преобразователь МСР 4921 для вывода сигнала в аналоговом виде и расширитель портов МС74НС595А для вывода сигналов в цифровом виде. Все элементы устройства объединены синхронным последовательным интерфейсом SPI.

В начале каждого цикла алгоритма в блоке 1 проверяется, завершился ли интервал времени, соответствующий частоте дискретизации. Если интервал завершился, то переходим к блоку 2, в котором проверяется, произошли ли за этот интервал события измерения скорости на этом временном интервале. Если событий не было, то считаем, что частота вращения, ниже минимальной измеряемой и может считаться нулевой. В блоке 3 и происходит обнуление скорости.

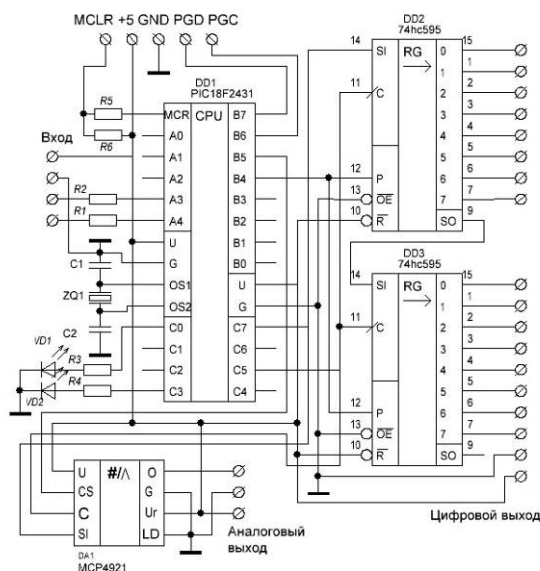


Рис. 1. Схема электрическая принципиальная тахометра

Для обработки сигналов энкодера разработан алгоритм, блок-схема которого представлена на рис. 2.

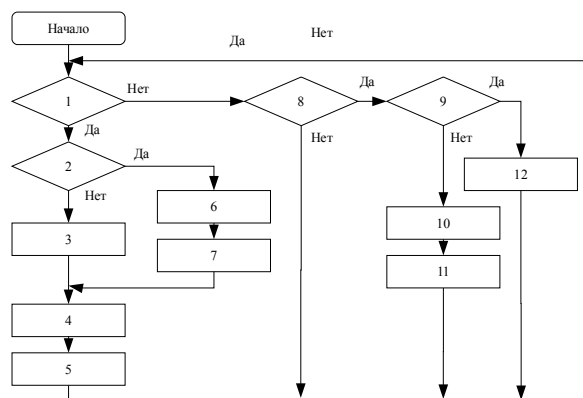


Рис. 2. Блок-схема алгоритма

Далее осуществляется вывод полученной величины, в блоке 4 выводится аналоговый сигнал через ЦАП, в блоке 6 выводится цифровой сигнал через расширитель портов. Если при проверке в блоке 2 выяснилось, что события измерения скорости были, то переходим к блоку 6, в котором вычисляется среднее значение длительности периода  $N_x$ , так как при высоких частотах вращения событий измерения скорости за период дискретизации может произойти больше одного. Далее в

блоке 7 производится вычисление частоты вращения в оборотах в минуту.

Если в блоке 1 выяснилось, что интервал времени не завершился, то приступаем к блоку 8 – проверке события измерения скорости. Если событие произошло, то в блоке 9 проверяем переполнение таймера 5, которое показывает, что частота вращения слишком низкая и выходит за измеряемый диапазон. Если переполнения не было, то в блоке 10 накапливаем измеренную величину, а в блоке 11 увеличиваем счетчик замеров. Результаты работы блоков 10 и 11 используются в блоке 6 для вычисления среднего значения. Алгоритм работает циклически, таким образом, устройство функционирует все время, пока подано питание.

Для определения динамических характеристик разрабатываемого устройства с пакета Simulink среды MATLAB создана модель (рис 3) алгоритма обработки сигнала согласно рис 2 с частотой дискретизации, соответствующей используемой в микроконтроллере.

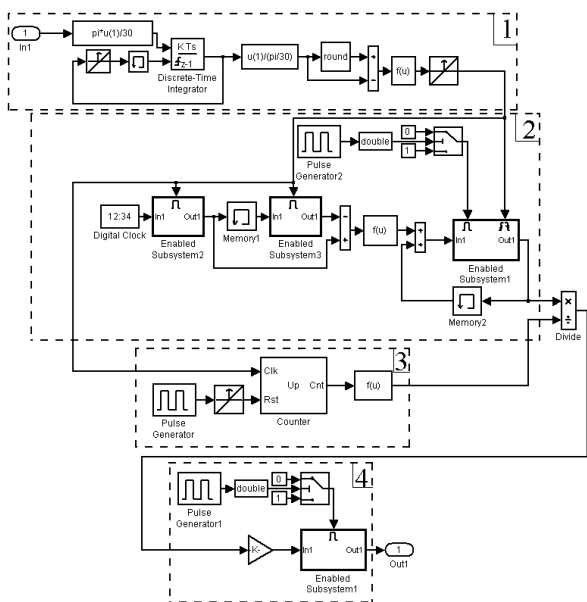


Рис. 3. Модель для проверки динамических характеристик тахометра

На вход In1 подается исследуемый сигнал – частота вращения, которого преобразуется в блоке 1 в последовательность импульсов, имитирующих формирование входного сигнала измерителя частоты вращения от оптического датчика, установленного неподвижно относительно вращающегося на валу исследуемого электродвигателя диска с прорезями.

В блоке 2 производится определение времени между соседними импульсами, вычисление частоты следования импульсов по формуле  $f = 1/t$  ее усреднение, и обнуление за период 0,01 секунды.

В блоке 3 определяется количество полных циклов расчета частоты входных импульсов. Выход блока 2 делится на выход блока 3 и полученный результат подается в блок 4, где он фиксируется на

протяжении 0,01 с и передается на выход Out1 для дальнейшего преобразования.

Период дискретизации 0,01 с выбран в соответствии с частотой вывода информации в разработанном тахометре. Для снижения влияния дискретности выходного сигнала на систему управления электроприводом синтезирован цифровой фильтр.

На рис. 4 представлены результаты моделирования измерителя частоты вращения электродвигателя: 1 – входной сигнал; 2 – сигнал, имитирующий выход с измерителя частоты вращения электродвигателя; 3 – сигнал после цифрового фильтра. Как видно из результатов моделирования задержка сигнала составляет 0,02 с, и сам сигнал имеет вид, практически идентичный форме входного сигнала.

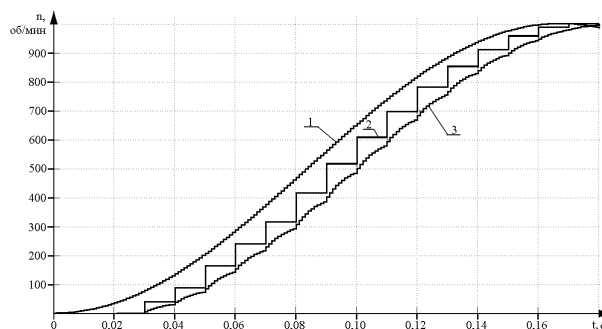


Рис. 4. Результат моделирования измерителя частоты вращения электродвигателя

**Выводы.** Разработан, создан и апробирован измеритель частоты вращения электродвигателя – тахометр. Проведена его метрологическая аттестация в составе учебно-исследовательского лабораторного средства СВ-1 и подтверждена возможность применения с заданной точностью в системах управления электроприводом.

#### Список использованной литературы

1. Агеев М. Д. Автономные необитаемые подводные аппараты [Текст] / М. Д. Агеев – Владивосток : Дальнаука, 2004. – 272 с.
2. Блинцов В. С. Привязные подводные системы [Текст] / В. С. Блинцов – К. : Наукова думка, 1998. – 232 с.
3. Волянский С. М. Использование ресурсосберегающих технологий в подводной технике [Текст] / С. М. Волянский // Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика. – Харьков : 2010. – № 2. – С. 77 – 79.
4. Волянский С. М. Анализ энергоэффективности системы управления движителями подводного аппарата методом компьютерного моделирования [Текст] / С. М. Волянский // Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика. – Кременчуг : 2012. – № 3 (19). – С. 472 – 474.
5. Волянский С. М. Разработка измерителя частоты вращения электродвигателя для стенда испытательного СВ-1 [Текст] // Подводная техника и технологии. IV Всеукраинская научно-техническая конференция с междуна-

родным участием, 30–31 октября 2013. Материалы конференции. – Николаев : – 2013. – НУК,– С. 63 – 65.

6. ДСТУ 3215-95. Метрологічна атестація засобів вимірювальної техніки. Організація та порядок проведення. – На заміну ГОСТ 8.326-89; введ. 01.01.96. – К. : Держстандарт України, 1995. – 11 с.

7. Дьяконов В. П. MATLAB 6.6 SPI/7 + Simulink 5/6 в математике и моделировании [Текст] / В. П. Дьяконов – М. : СОЛОН-Пресс, 2005. – 576 с.

8. Кухарчук В. В. Оцінка статичних метрологічних характеристик опосередкованих вимірювань / В. В. Кухарчук, В. Ю. Кучерук, В. О.Поджаренко // Автоматика, вимірювання та керування. – Львів : – 2001. – № 420. – С. 37 – 45.

9. Лукомский Ю. А. Системы управления морскими подвижными объектами [Текст] / Ю. А. Лукомский, В. С. Чугунов – Л. : Судостроение, 1988. – 272 с.

10. Пантов Е. Н. Основы теории движения подводных аппаратов [Текст] / Е. Н. Пантов, Н. Н. Махин, Б. Б. Шереметов – Л. : Судостроение, 1983. – 210 с.

11. Филаретов В. Ф. Системы управления подводными роботами [Текст] / В. Ф. Филаретов, Ю. К. Алексеев, А. В. Лебедев – М. : Круглый год, 2000. – 288 с.

12. Tesche F.M., Ianoz M.V., and Karlsson T., (1997), EMC Analysis Methods and Computational Models, *John Wiley & Sons Inc*, New York, 656 p.

Получено 09.07.2014

#### References

1. Ageev M.D. Avtonomnye neobitaemye podvodnye apparaty [Autonomous Uninhabited Submarine Vehicles], (2004), *Dalscience Publ*, Vladivostok, Russian Federation, 272 p. (In Russian).

2. Blintsov V.S. Privyaznye podvodnye sistemy [Fastened Submarine Systems], (1998), *Naukova Dumka Publ*, Kiev, Ukraine, 232 p. (In Russian).

3. Volyansky S.M. Ispolzovanie resyrsosberegaushix tekhnologiy v podvodnoy tekhnike [The use of Recourse Saving Technologies is in a Submarine Technique], (2010) *Problemy Avtomatizirovannogo Electroprivoda. Publ*, Kharkov, Ukraine, No. 2, pp. 77 – 79 (In Russian).

4. Volyansky S.M. Analiz energoeffektivnosti sistemy upravleniya dvizhitelyami podvodnogo apparata metodom kompjuternogo modelirovaniya [Analysis of Energy to Efficiency of Control System Motors of Submarine Vehicle by the Method of Computer Simulated], (2012) *Problemy Avtomatizirovannogo Electroprivoda. Publ*, Kremenchug, Ukraine, No. 3(19), pp. 472 – 474 (In Russian).

5. Volyansky S.M. Razrabotka izmeritelya tchasoty dhatsheniya elektrodvigatelya dlya stenda ispytatelnogo SV-1 [Development of Measuring Device of Frequency of Rotation of Electric Motor for the Stand of Proof-of-Concept SV-1], (2013), *Podvodnaya*

*Tekhnika i Tekhnologii: Mat. Mezhdunar. Konf.*, Nikolaev, Ukraine, pp. 63 – 65 (In Russian).

6. DSTU 3215-95. Metrologichna atestatsiya zasobiv vymiruvainoy tekhniky. Organizatsiya ta porjadok provedennya [Metrology Attestation of Facilities of Measuring Technique. Organization and Order of Realization], (1996), *Derzhstandart Ukraine, Publ*, Ukraine, 11 p. (In Ukrainian).

7. D'yakonov V.P. MATLAB 6.6 SPI/7 + Simulink 5/6 v matematike i modelirovanii [MATLAB 6.6 SPI/7 + Simulink 5/6 in Mathematics and Simulated], (2005), *Solon-Press*, Moscow, Russian Federation, 576 p. (In Russian).

8. Kukhartchuk V.V. Otsinka statychnykh metrologichnykh kharakterystyk oposeredkovanykh vumirjuvan [Estimation of Static Metrology Descriptions of the Mediated Measuring], (2001), *Avtomatyka, Vmirjuvannya ta Keruvannya, Publ*, Lviv, Ukraine, pp. 37 – 45 (In Ukrainian).

9. Lukomsky U.A. Sistemy upravleniya morskimi podvizhnymi ob'ektami [Control System by Marine Movable Objects], (1988), *Sudostroenie, Publ.*, Leningrad, Russian Federation, 272 p. (In Russian).

10. Pantov E.N. Osnovy teorii dvizheniya podvodnykh apparatov [Bases of theory of Motion of Submarine Vehicles], (1983), *Sudostroenie, Publ* Leningrad, Russian Federation, 210 p. (In Russian).

11. Filaretov V.F. Sistemy upravleniya podvodnymi robotami [Control System by Submarine Robots], (2000), *Krugly god, Publ*, Moscow, Russian Federation, 288 p. (In Russian).

12. Tesche F.M., Ianoz M.V., and Karlsson T., (1997), EMC Analysis Methods and Computational Models, *John Wiley & Sons Inc, Publ*, New York, USA, 656 p. (In English).



Волянский  
Сергей Михайлович, преподаватель  
каф. электрооборудования судов и  
информационной безопасности Нац.  
ун-та кораблестроения имени  
адмирала Макарова.  
Тел.: +38(067) 9816094.  
E-mail: ffogres@yandex.ru



Волянская  
Яна Богдановна, канд. техн. наук,  
доц., каф. электрооборудования  
судов и информационной безо-  
пасности Нац. ун-та кораблестрое-  
ния имени адмирала Макарова.  
Тел.: +38(067)7981870.  
E-mail: yanavolyanskaya@yandex.ru