

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ВИНТОРУЛЕВОЙ КОЛОНКИ ДЛЯ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ЭФФЕКТА КОАНДА

Азимутальные винторулевые колонки (АВРК), применяемые с середины прошлого столетия, позволили изменять направление упора винта относительно продольной оси судна на 360°. Это позволило увеличить маневренность судна и снизить потери энергии. За это время они в своем развитии прошли путь от простых движителей для буксира, где главным требованием было повышенное маневрирование в стесненных условиях, до повсеместного применения на судах. На сегодняшний момент они применяются не только в качестве вспомогательных движителей, но и во многих случаях как основные, при этом их мощность может достигать 6000 кВт [1].

Однако, в ходе эксплуатации АВРК возникают ситуации, при которых снижается безопасная и эффективная их работа. Так одним из вариантов является случай медленного движения по курсу для судов-кабелеукладчиков и фиксации позиции для полупогружных буровых платформ (ППБУ) и научных судов. Для удержания объекта на позиции АВРК направляет поток воды под днище судна и в этом случае существует вероятность возникновения эффекта Коанда, при котором поток "прилипает" к днищу судна. При этом сила, действующая на винт, приводит к отклонению гребного вала, что влечет за собой повышенный износ дейдвудного, упорного и опорных подшипников. В связи с конструктивной особенностью нахождения АВРК ниже ватерлинии под днищем судна затруднен доступ к диагностике, планового обслуживания и ремонта. Работа буровых платформ основана на длительном сроке эксплуатации и преждевременный выход из строя одной из АВРК входящих в систему динамического позиционирования может привести к трагическим последствиям, многомиллиардным потерям и техногенной катастрофе [2, 3].

В работе [4] приводятся результаты исследования по визуализации потока от азимутального движителя с помощью прикладного пакета *Marin ReFRESCO* и графически показано отклонение потока от горизонтального в сторону днища судна от АВРК (рис. 1).

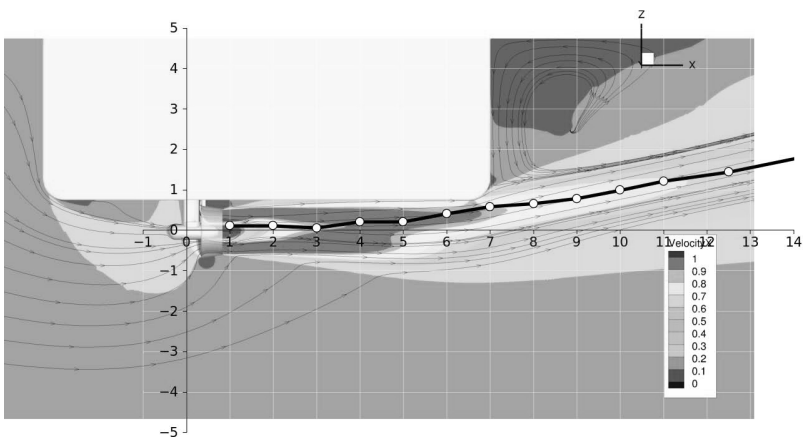


Рис. 1. Моделирование проявления эффекта Коанда при направлении потока под днище судна [4]

К сожалению, построить модель этого процесса с детализацией всех параметров не представляется возможным, т.к. на возникновение эффекта Коанда влияет множество факторов, не позволяющих точно предсказать момент появления этого эффекта. К ним можно причислить:

- скорость судна;
- скорость и направление вращения винта;
- скорость течения;
- химический состав и глубина водной поверхности;
- температура, влажность и давление воздушной среды;
- скорость и направление других ВРУ, работающих совместно и входящих в систему динамического позиционирования.

Так, фирмой "ABB Group" были проведены экспериментальные исследования возникновения эффекта Коанда, результатом которых стали рекомендации по введению в конструкцию баллера АВРК монтажного угла наклона. Максимальный результирующий монтажный угол (продольный и поперечный) рекомендуется 4° . Максимально допустимый суммарный угол монтажного угла и угла наклона составляет 6° [5].

Эти методы механического противодействия позволяют бороться с возникающим эффектом, однако имеют ряд недостатков:

- направление потока воды под углом в сторону от днища судна не избавляет полностью от возникновения эффекта Коанда, а лишь отодвигает момент его возникновения на более высокой скорости;

нежелательность работы АВРК в реверсном режиме (в этом случае поток воды уже будет иметь наклон к поверхности днища, что приведет к быстрейшему возникновению эффекта Коанда);

энергетические потери за счёт неоптимального направления потока воды под углом к горизонтальной поверхности.

Поэтому актуальными являются исследования по созданию системы мониторинга состояния АВРК, позволяющей в реальном времени фиксировать момент возникновения эффекта Коанда для последующего его предупреждения. В работе [6] нами предложена такая система, структурная схема которой показана на рис. 2. Она состоит из пьезоэлектрических датчиков ПД₁, ПД₂, ..., ПД_n, расположенных вокруг дейдвудного подшипника валопровода АВРК, блока АЦП и микроконтроллера МК с выдачей информации по интерфейсу RS-485.

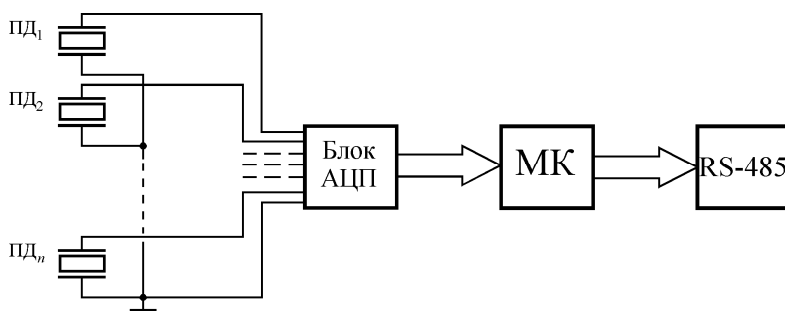


Рис. 2. Структурная схема системы мониторинга состояния винторулевой колонки для предупреждения эффекта Коанда

Для реализации такой системы был собран макет (рис. 3), имитирующий момент возникновения эффекта Коанда при работе АВРК.

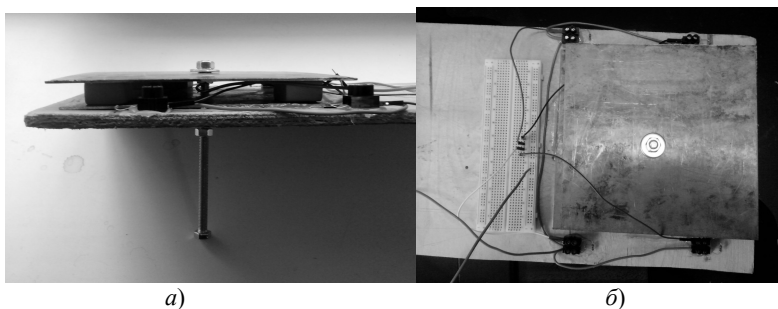


Рис. 3. Макет системы мониторинга возникновения эффекта Коанда: а) – вид сбоку; б) – вид сверху

Данный макет состоит из двух квадратных стальных пластин. Нижняя жестко соединена с корпусом и неподвижна. Верхняя соединена с подвижным вертикальным штифтом. Между пластинами расположены пьезоэлектрические датчики. Общий минус пьезоэлектрических датчиков объединён на пластине с корпусом. Между верхней пластиной и датчиками расположены прокладки, выполняющие две функции: демпфирующую и изолирующую. При работе штифт, выполняющий функции баллера АВРК, отклоняется от вертикальной позиции, что приводит к наклону верхней пластины. При этом расстояние между пластинами уменьшается, происходит деформация пьезоэлектрического датчика. Полученный в результате прямого пьезоэффекта сигнал передается на микроконтроллер для последующей обработки.

Работа была реализована на следующей элементной базе.

В качестве датчиков были выбраны пьезоэлектрические датчики фирмы Керо Electronics типа MFT [7]. Количество датчиков было принято равным четырем для фиксации смещения валопровода в одно из четырех направлений – вверх, вниз, вправо или влево. В общем случае достаточно одного датчика, установленного сверху валопровода, который будет регистрировать "прилипание" потока воды к днищу. Однако известно, что на валопровод воздействуют непрерывно меняющиеся по величине и направлению периодические нагрузки. Под их воздействием в валопроводе возникают переменные деформации кручения и изгиба, возбуждающие в нём механические колебания [8]. Введение в систему нескольких датчиков позволит распознать возникновение крутильных и в меньшей мере изгибных колебаний и исключить эту информацию из обработки.

В качестве аппаратной части был выбран микроконтроллер AVR ATmega328 [9] фирмы Atmel Corporation имеющий характеристики представленные в табл. 1.

Таблица 1

Технические характеристики микроконтроллера ATmega328

Характеристики	Значение
тактовая частота, МГц	16
рабочее напряжение, В	5
рабочий ток, мА	25
цифровые входы / выходы	14
аналоговые входы	6
флеш-память, Кб	32
ОЗУ, Кб	2

Дешевизна, простота конструкции и управления – его основные достоинства, которые используются для построения проектов начального уровня, отладки и получения результатов. Последующее внедрение на производстве происходит уже с использованием контроллеров промышленной автоматизации.

Рассмотрим подробнее характеристики, повлиявшие на выбор этого микроконтроллера.

Рабочее напряжение 5 В (в отличие от 24 В принятых в промышленных микроконтроллерах) в сумме с малым энергопотреблением позволит организовать мобильное питание на макете.

В контроллере реализованы 6 аналоговых входов, каждый разрешением 10 бит (т.е. может приниматься 1024 различных значения), которые позволяют обойтись без внешнего блока АЦП.

Открытая архитектура AVR-микроконтроллеров обусловила доступность большого числа инструментальных средств проектирования, предоставляемых, как непосредственно корпорацией Atmel, так и сторонними производителями. В проекте была использована интегрированная среда разработки [11], показанная на рис. 4, позволяющая писать программы на простом языке по образцу языка Processing [12].

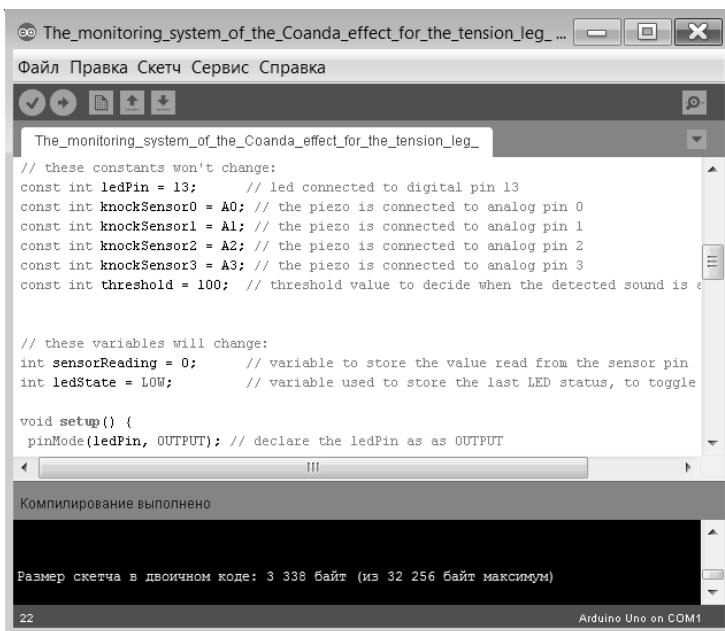


Рис. 4. Интерфейс программного обеспечения

Для осуществления связи с компьютером, другими устройствами или микроконтроллерами ATmega328 поддерживает последовательный интерфейс UART TTL (5 В) для чего используется микросхема ATmega8U2. Она направляет информацию через USB, эмулируя виртуальный COM порт. Прошивка ATmega8U2 использует стандартные драйверы USB COM. Микроконтроллер ATmega328 поставляется с записанным загрузчиком, облегчающим запись новых программ без использования внешних программаторов. Связь осуществляется оригинальным протоколом STK500 [10].

Мониторинг последовательной шины (Serial Monitor) позволяет посылать и получать текстовые данные при подключении к платформе. На рис. 5 показан результат работы стенда. На отображаемой информации выводится номер сработавшего пьезоэлектрического датчика и уровень сигнала, который соответствует приложенному давлению.

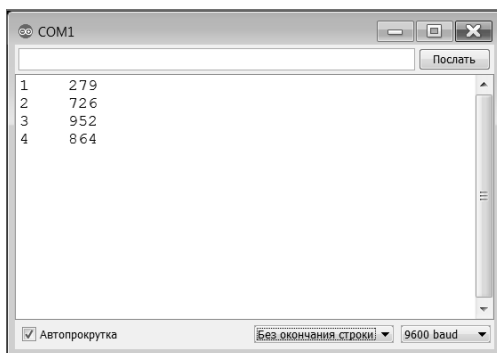


Рис. 5. Интерфейс Serial Monitor

Таким образом, предложенный программно-технический комплекс системы мониторинга эффекта Коанда, позволяющий зафиксировать момент возникновения данного эффекта и передать информацию в систему управления пропульсивным комплексом. Дальнейшие исследования предполагается направить на построение модели сенсоров и расчёт их физических параметров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. The SCHOTTEL Rudderpropeller. From brilliant invention to global classic [Электронный ресурс]. – <http://www.schottel.de/marine-propulsion/srp-rudderpropeller/>.
2. Peter Lehner, Bob Deans In Deep Water: The Anatomy of a Disaster,

the Fate of the Gulf, and How to End Our Oil Addiction. – New York: "OR Books", – 2010. – 173 p.

3. Final Report on the Investigation of the Macondo Well Blowout // Deepwater Horizon Study Group, March 1, 2011 [Электронный ресурс]. – http://ccrm.berkeley.edu/pdfs_papers/bea_pdfs/dhsgfinalreport-march2011-tag.pdf.

4. MACIEL, P., KOOP, A., VAZ, G. Modelling thruster-hull interaction with CFD. In: ASME 2013 32nd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering. American Society of Mechanical Engineers, 2013. p. V007T08A024 – V007T08A024.

5. Представление двигателей Azipod® серии VI [Электронный ресурс]. – [http://www05.abb.com/global/scot/scot293.nsf/veritydisplay/908eb000f6546300c12577e5004191aa/\\$file/azipod_vi_project_guide_ru.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot293.nsf/veritydisplay/908eb000f6546300c12577e5004191aa/$file/azipod_vi_project_guide_ru.pdf).

6. Бібліографічні дані до патенту на корисну модель № 100819. Будашко В.В., Нікольський В.В., Хнюїн С.Г. Суднова система моніторингу для попередження ефекту Коанда [Електронний ресурс]. – <http://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=viewdetails&IdClaim=215069>.

7. Kero Electronics. Piezoelectric Element. Ceramic self-drive [Электронный ресурс]. – <http://www.chinaacoustic.com/prodList.php?type=0&fid=1&sid=18>.

8. Ефремов Л.В. Теория и практика исследований крутильных колебаний силовых установок с применением компьютерных технологий. – СПб.: Наука, 2007. – 276 с.

9. 8-bit AVR® Microcontroller with 4/8/16/32K Bytes In-System Programmable Flash [Электронный ресурс]. – <http://www.atmel.com/Images/doc8161.pdf>.

10. 8-bit AVR® STK500 Communication Protocol [Электронный ресурс]. – <http://www.atmel.com/Images/doc2525.pdf>.

11. Download the Arduino Software [Электронный ресурс]. – <https://www.arduino.cc/en/Main/Software>.

12. Official website Processing [Электронный ресурс]. – <https://www.processing.org>.