

DOI: 10.24143/1812-9498-2021-1-22-28  
УДК [629.5.035-2.33.1:534.1,013-752.2]:004.45

## РАЗРАБОТКА БЛОКА ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА КРУТИЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ СУДОВОГО ВАЛОПРОВОДА

*К. О. Сибряев, М. М. Горбачев, А. Д. Ибадуллаев*

*Астраханский государственный технический университет,  
Астрахань, Российская Федерация*

Крутильные колебания в совокупности с другими техническими факторами остаются одной из причин повреждений и поломок судовых гребных, промежуточных и коленчатых валов. Крутильные колебания возникают в судовых установках неизбежно, это связано с неравномерностью крутящего момента двигателя и момента на гребном винте (обнажение гребного винта, неравномерность движения потока воды, штормовые условия и т. д.), что приводит к знакопеременному скручиванию вала. Для снижения крутильных колебаний применяют демпферы, которые требуют периодической проверки на работоспособность при помощи процедуры торсиографирования. В отличие от существующих схем контроля технического состояния демпфера предполагается установить блок обработки информации для программно-аппаратного комплекса системы мониторинга крутильных колебаний судового валопровода и параметров, связанных с ними – вибрации и температуры гибких элементов соединительных муфт. Разрабатываемая установка позволит постоянно контролировать уровень крутильных колебаний и в случае их повышения сигнализировать судовому механику о необходимости перехода на другой режим работы главного двигателя, что повысит надежность и автоматизацию судовых энергетических установок, безопасность мореплавания и приведет к сокращению экономических расходов на эксплуатацию судов.

**Ключевые слова:** крутильные колебания, вибрация, валопровод, датчик, безопасность мореплавания.

**Для цитирования:** Сибряев К. О., Горбачев М. М., Ибадуллаев А. Д. Разработка блока обработки информации для программно-аппаратного комплекса системы мониторинга крутильных колебаний судового валопровода // Вестник Астраханского государственного технического университета. 2021. № 1 (71). С. 22–28. DOI: 10.24143/1812-9498-2021-1-22-28.

### Введение

Существующая в настоящее время система технической эксплуатации судовых главных энергетических установок (ГЭУ) сформирована в соответствии с правилами российских и зарубежных классификационных обществ и контролирующих органов и служит обеспечению безопасности мореплавания и безаварийной эксплуатации судов. Одним из явлений, неизбежно возникающих при работе ГЭУ, являются крутильные колебания, которые могут привести к разрушению элементов судового машинно-двигательного комплекса, аварии и даже гибели судна.

Крутильные колебания – «колебательные угловые деформации (скручивание) валопровода при вращении», согласно ГОСТ Р ИСО 3046-5-2004 [1]. Крутильные колебания возникают в судовых установках неизбежно, что связано с неравномерностью крутящего момента двигателя и момента на гребном винте (обнажение гребного винта, неравномерность движения потока воды, штормовые условия и т. д.), что приводит к знакопеременному скручиванию вала. При развитии таких колебаний и совпадении частот свободных и вынужденных колебаний амплитуды возрастают до значительных величин, что при длительной работе судового машинно-двигательного комплекса на данном режиме может вызвать возникновение усталостных трещин и разрушение валов и отдельных элементов валопровода. Характерный признак поломки валов от крутильных колебаний – это разрушение под углом 45° и особая структура металла в районе разлома. Многие специалисты отмечают, что на валопровод воздействуют комплексно и крутильные, и поперечные колебания, вибрации и ударные нагрузки от волнения, но большую часть на соответствующих резонансных частотах дают именно крутильные колебания [2, 3]. Российский морской регистр

судоходства (РМРС) рекомендует проводить испытания ГЭУ на крутильные колебания через каждые 15 000 часов работы [4–6], однако, как показывает практика, надежность устройств, снижающих крутильные колебания до безопасного уровня, сохраняется иногда до 90 000 часов работы. Таким образом, судовладельцы часто несут затраты на проведение испытаний, которые фактически не требуются, но регламентируются контролирующими органами. Значительно снизить затраты по процедуре оценки технического состояния демпферов поможет специализированная система удаленного мониторинга технического состояния ГЭУ по крутильным колебаниям.

### **Предлагаемое решение**

В отличие от существующих схем контроля технического состояния демпфера предполагается установить блок обработки информации (рис. 1) для программно-аппаратного комплекса системы мониторинга крутильных колебаний судового валопровода и параметров, связанных с ними, – вибрации и температуры гибких элементов соединительных муфт.

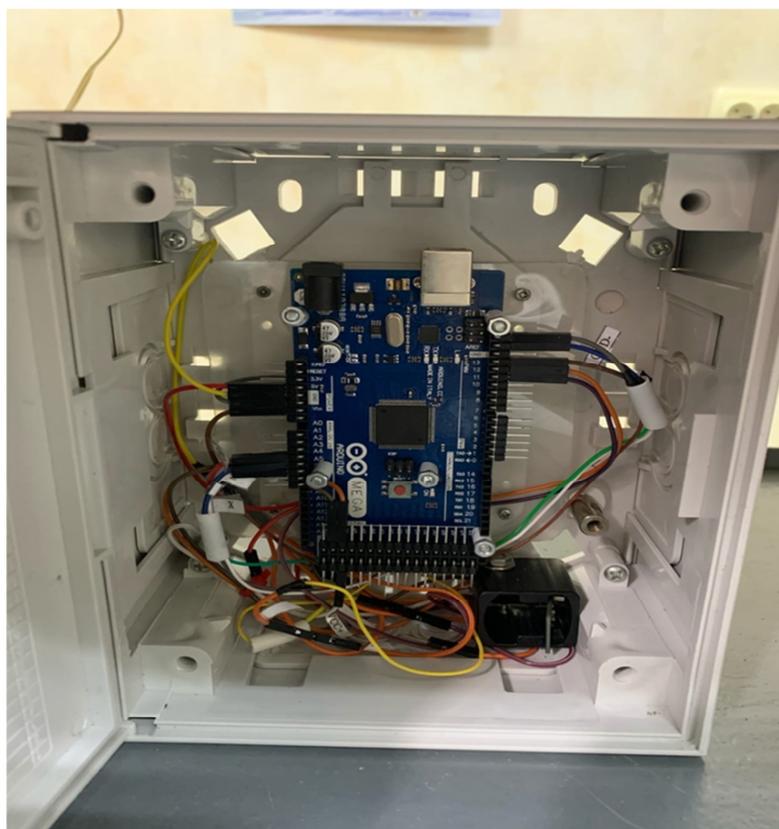


Рис. 1. Общий вид основного блока измерительной системы на базе микроконтроллера Arduino Mega 2560

Эта установка позволит постоянно контролировать уровень крутильных колебаний и в случае их повышения сигнализировать судовому механику о необходимости перехода на другой режим работы главного двигателя, что повысит надежность и степень автоматизации СЭУ, безопасность мореплавания и сокращение расходов на эксплуатацию судов (следует отметить, что на сегодняшний день сумма фрахта составляет 20–30 тыс. долл. и более в сутки).

Центральный блок системы мониторинга представляет собой программируемый контроллер, программное обеспечение и блоки передачи, хранения, ввода и отображения информации.

В результате анализа возможных способов измерения крутильных колебаний было принято решение об измерении крутильных колебаний индуктивными датчиками, лазерными датчиками и тензометрическими датчиками в лабораторных условиях (рис. 2).



Рис. 2. Общий вид лабораторного стенда Испытательного центра «Marine Technology Service» для проведения испытаний лабораторного прототипа

Также предлагается оценивать температуру гибких муфт, что предусматривается правилами РМРС.

Для измерения крутильных колебаний индуктивными и лазерными датчиками, а также температуры и вибрации был разработан основной блок измерительной системы. Для измерения тензометрическими датчиками необходим автономный блок (рис. 3), закрепляемый на валу лабораторного стенда.



Рис. 3. Общий вид блока измерения крутильных колебаний тензодатчиками

Для оценки крутильных колебаний индуктивными датчиками использовались система цифрового осциллографа HANTEK с программным обеспечением HANTEK, что позволило получить первоначальные ориентировочные данные: касательные напряжения в валу при резонансе составили 1,054 МПа.

Блок дополнительных параметров разработанного прототипа системы на микроконтроллере Arduino Mega 2560 позволил получить точные значения температуры поверхности при помощи инфракрасного датчика температуры Infrared Temperature Sensor (рис. 4) и значение вибрации при помощи датчика на базе акселерометра MMA7361 (рис. 5).



Рис. 4. Общий вид инфракрасного датчика температуры Infrared Temperature Sensor

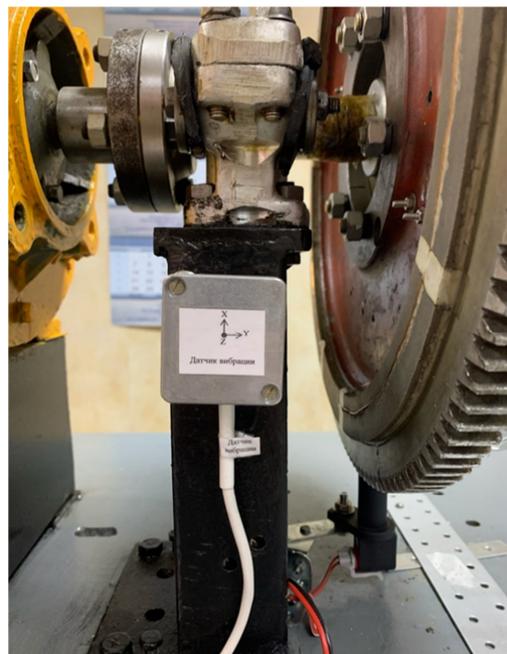


Рис. 5. Общий вид датчика вибрации на базе акселерометра MMA7361

Контроль погрешности по температуре производится при помощи пирометра Testo 830-T1, а вибрации – виброметром AP-63. Также отработана система измерения при помощи индуктивных датчиков как с двумя измерительными шестеренными колесами, так и с одним.

#### **Перспектива коммерциализации**

В Астраханском государственном техническом университете (АГТУ) действует испытательный центр «Marine Technology Service» (ИЦ «MTS»), аккредитованный РМРС, занимающийся торсиографированием машинно-двигательных комплексов судов, что может обеспечить формирование маркетинговой базы для продвижения продукта. В ИЦ «MTS» АГТУ освидетельствовано около 170 судов для 80 судовладельческих компаний.

Перспектива коммерциализации продукта обусловлена большим объемом рынка – только морских судов в России, в которых крутильные колебания в обязательном порядке контролируются, составляет около 1 130 единиц. Объем рынка нами оценивается в 275 млн руб., исходя из средней стоимости системы (250 млн руб.), количества морских судов, на которых требуется установка системы (1 000 ед.), и 10 % стоимости сервисных услуг по настройке системы. Стоимость блока обработки рассчитывается нами в пределах 150 000 руб.

#### **Научная новизна проекта**

Научная новизна проекта заключается в получении большого количества новых данных по крутильным колебаниям, что позволит применять блок не только для контроля напряжений в валах, но и для контроля вибрации в валопроводах, а также температуры гибких муфт. Перспектива создания безэкипажных судов интересна внедрением блока автоматического управления режимом ДВС при опасности повреждения валопровода от крутильных колебаний.

#### **Техническая значимость проекта**

Техническая значимость проекта заключается в использовании элементов российского производства; система будет универсальной по виду применяемых датчиков, с возможностью измерения амплитуды колебаний, мощности, крутящего момента, частоты вращения и других параметров. Система будет передавать информацию в машинное отделение, на центральный пост и на берег, в технический отдел судовладельца. Основное назначение системы – это обеспечение безопасности мореплавания и снижения аварий. Кроме того, мы предполагаем разработку вопросов применения подобных блоков на безэкипажных судах, тестовое испытание которых планируется МИНТРАНСОМ РФ уже в 2021 г.

#### **Имеющиеся аналоги**

Наиболее близким конкурентом нашего проекта на данный момент являются блоки систем австрийской компании Geislinger [7] и норвежской MetaPower, но они имеют ряд недостатков: высокую стоимость и необходимость установки дополнительных элементов; у конкурентов нет присутствия в России. Такие системы, имеющиеся на сегодняшний день на судах, немногочисленны, не имеют полноценной функциональности по диагностике и полностью зарубежного производства. Наличие практических и научных российских разработок отдельных блоков такой системы в условиях программы импортозамещения может в конечном итоге привести к созданию отечественного аналога.

#### **Перспективы разработки**

В настоящее время ведутся работы с тензометрическим комплексом, далее планируется измерение крутильных колебаний лазерными датчиками и установка еще одного датчика вибрации российского производства. Следующим этапом будет получение данных при помощи измерительных блоков на базе микроконтроллеров «Искра» производства России.

В заключение следует уточнить, что создание и внедрение российских элементов систем автоматики на судах сейчас является очень актуальной и не только тактической, но и стратегической задачей.

#### *СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ*

1. ГОСТ Р ИСО 3046-5-2004. Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Характеристики. Ч. 5. Крутильные колебания. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2004. 7 с.
2. Ефремов Л. В. Теория и практика исследования крутильных колебаний силовых установок с применением компьютерных технологий. СПб.: Наука, 2007. 276 с.
3. Мартынов В. В. Метод оценки и прогнозирования виброактивности элементов пропульсивного комплекса пассажирских судов на основе расчета крутильных колебаний: автореф. дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2017. 21 с.
4. НД № 2-020101-124. Российский морской регистр судоходства. Правила классификации и постройки морских судов. Ч. VII. Механические установки. СПб., 2021. 106 с.
5. НД № 2-020101-124. Российский морской регистр судоходства. Правила классификации и постройки морских судов. Ч. IX. Механизмы. СПб., 2021. 181 с.

6. НД № 2-030101-009. Российский морской регистр судоходства. Приложения к руководству по техническому наблюдению за судами в эксплуатации. СПб., 2021. 321 с.

7. *Geislinger Monitoring System*. Catalog. Salzburg, 2013. 27 p.

Статья поступила в редакцию 26.04.2021

### **ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ**

**Константин Олегович Сибряев** – канд. техн. наук, доцент; доцент кафедры эксплуатации водного транспорта; Астраханский государственный технический университет; Россия, 414056, Астрахань; evt2006@rambler.ru.

**Максим Михайлович Горбачев** – канд. техн. наук; доцент кафедры эксплуатации водного транспорта; Астраханский государственный технический университет; Россия, 414056, Астрахань; max9999\_9@mail.ru.

**Адель Дамирович Ибадуллаев** – студент, специальность «Эксплуатация судовых энергетических установок»; Астраханский государственный технический университет; Россия, 414056, Астрахань; adel.ibadullaev99@mail.ru.



## **DEVELOPING INFORMATION PROCESSING UNIT USED IN SOFTWARE AND HARDWARE COMPLEX MONITORING SHIP SHAFT LINE TORSIONAL VIBRATIONS**

***K. O. Sibrayev, M. M. Gorbachev, A. D. Ibadullaev***

*Astrakhan State Technical University,  
Astrakhan, Russian Federation*

**Abstract.** The article considers torsional vibrations in combination with other technical factors, which remain a cause of damages and breakdowns of the ship's propeller shafts, intermediate shafts and crankshafts. Torsional vibrations inevitably occur in the ship plants. It can be explained by the uneven torque of the engine and the torque on the propeller (exposure of the propeller, uneven movement of the water flow, stormy weather, etc.), which leads to alternating twisting of the shaft. To reduce torsional vibrations, dampers are used, which require periodic performance testing by using the torsiography procedure. In contrast to the existing monitoring systems of the technical condition of the damper, it is planned to install an information processing unit for the software and hardware complex for monitoring torsional vibrations of the ship's shaft line and the parameters associated with them (vibration and temperature changes of the flexible elements of the connecting couplings). The unit under development will allow to constantly monitor the level of torsional vibrations and, if they increase, to signal the ship's mechanic to switch to another operational mode of the main engine, which will increase the reliability and automation of the ship power plants, the safety of navigation, and reduce the economic costs of ship operating.

**Key words:** torsional oscillations, vibration, shaft line, sensor, maritime safety.

**For citation:** Sibrayev K. O., Gorbachev M. M., Ibadullaev A. D. Developing information processing unit used in software and hardware complex monitoring ship shaft line torsional vibrations. *Vestnik of Astrakhan State Technical University*. 2021;1 (71):22-28. (In Russ.) DOI: 10.24143/1812-9498-2021-1-22-28.

## REFERENCES

1. GOST R ISO 3046-5-2004. *Dvigateli vnutrennego sgoraniia porshnevye. Kharakteristiki. Chast' 5. Krutil'nye kolebaniia* [GOST R ISO 3046-5-2004. Piston internal combustion engines. Characteristics. Part 5. Torsional vibrations]. Moscow, IPK Izd-vo standartov, 2004. 7 p.
2. Efremov L. V. *Teoriia i praktika issledovaniia krutil'nykh kolebani silovykh ustanovok s primeneniem komp'iuternykh tekhnologii* [Theory and practice of research of torsional vibrations of power plants using computer technologies]. Saint-Petersburg, Nauka Publ., 2007. 276 p.
3. Mart'ianov V. V. *Metod otsenki i prognozirovaniia vibroaktivnosti elementov propul'sivnogo kompleksa passazhirsikh sudov na osnove rascheta krutil'nykh kolebani. Avtoreferat dissertatsii ... kand. tekhn. nauk* [Method of assessing and predicting vibration activity of propulsion complex parts of passenger ships by analyzing torsional vibrations. Diss.Abstr. ... Cand.Tech.Sci.]. Saint-Petersburg, 2017. 21 p.
4. ND № 2-020101-124. *Pravila klassifikatsii i postroiki morskikh sudov. Chast' VII. Mekhanicheskie ustanovki* [ND No. 2-020101-124. Rules for Classification and Construction of Sea-Going Ships. Part VII. Mechanical units]. Saint-Petersburg, 2021. 106 p.
5. ND № 2-020101-124. *Rossiiskii morskoi registr sudokhodstva. Pravila klassifikatsii i postroiki morskikh sudov. Chast' IX. Mekhanizmy* [ND No. 2-020101-124. Russian Maritime Register of Shipping. Rules for Classification and Construction of Sea-Going Ships. Part IX. Mechanisms]. Saint-Petersburg, 2021. 181 p.
6. ND № 2-030101-009. *Rossiiskii morskoi registr sudokhodstva. Prilozheniia k rukovodstvu po tekhnicheskomu nabliudeniui za sudami v ekspluatatsii* [ND No. 2-030101-009. Russian Maritime Register of Shipping. Appendices to the Manual on technical supervision of ships in service]. Saint-Petersburg, 2021. 321 p.
7. *Geislinger Monitoring System. Catalog*. Salzburg, 2013. 27 p.

The article submitted to the editors 26.04.2021

### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Konstantin O. Sibrayev** – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department of Water Transport Operation; Astrakhan State Technical University; Russia, 414056, Astrakhan; evt2006@rambler.ru.

**Maksim M. Gorbachev** – Candidate of Technical Sciences; Assistant Professor of the Department of Water Transport Operation; Astrakhan State Technical University; Russia, 414056, Astrakhan; max9999\_9@mail.ru.

**Adel D. Ibadullaev** – Student, specialty “Operation of Marine Power Plants”; Astrakhan State Technical University; Russia, 414056, Astrakhan; adel.ibadullaev99@mail.ru.

