



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СБОРНИК

РОССИЙСКОГО МОРСКОГО РЕГИСТРА СУДОХОДСТВА

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ РАБОТА РЕГИСТРА
ОБОЗРЕНИЕ

6

МОРСКИЕ СУДА НА ГАЗОВОМ ТОПЛИВЕ
разработка новых требований Регистра

26

МОРСКИЕ СУДА ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ
новые требования к конструкции и прочности

64

№ 46/47
Июнь
2017



Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства, № 46/47, 2017

Научно-технический и информационно-аналитический журнал, издается с 1916 года.

Учредитель-издатель

ФАУ «Российский морской регистр судоходства»

Главный редактор

М.С. Бойко

E-mail: research.dept@rs-class.org

ISSN 2223-7097

Редакционная коллегия

В.И. Евенко – председатель, главный инженер – директор департамента классификации, ФАУ «Российский морской регистр судоходства»

М.С. Бойко – к.т.н., заместитель председателя, главный редактор журнала, начальник научно-исследовательского отдела, ФАУ «Российский морской регистр судоходства»

А.С. Большев – д.т.н., проф., Санкт-Петербургский государственный политехнический университет им. Петра Великого

А.В. Григорьев – к.т.н., доц., ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова
М.А. Кутейников – д.т.н., начальник отдела конструкции корпуса и судовых устройств, ФАУ «Российский морской регистр судоходства»

В.А. Малышевский – д.т.н., проф., заместитель генерального директора, ФГУП «ЦНИИ конструкционных материалов «Прометей»

В.Н. Половинкин – д.т.н., проф., референт генерального директора, ФГУП «Крыловский государственный научный центр»

А.А. Родионов – д.т.н., проф., заведующий кафедрой строительной механики корабля, Санкт-Петербургский государственный морской технический университет

К.В. Рождественский – д.т.н., проф., проректор в области международного сотрудничества и образования, Санкт-Петербургский государственный морской технический университет

А.Е. Сазонов - д.т.н., проф., член-корр. РАН, ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова

О.Я. Тимофеев – д.т.н., проф., заместитель генерального директора, ФГУП «Крыловский государственный научный центр»

В.Н. Трякин – д.т.н., проф., заведующий кафедрой конструкции и технической эксплуатации судов, Санкт-Петербургский государственный морской технический университет

Подписка на журнал может быть оформлена по каталогу Агентства «Роспечать». Подписной индекс 87730.

Электронная версия журнала доступна по адресу: www.rs-class.org.

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования www.elibrary.ru, Реферативный журнал и фонд научно-технической литературы ВИНТИ РАН, международную базу данных периодических изданий Ulrich's Periodicals Directory.

Журнал зарегистрирован Министерством связи и массовых коммуникаций Российской Федерации. Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-64086 от 25 декабря 2015 г.

Решением Президиума ВАК журнал «Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства» включен в перечень ведущих научных журналов и изданий, выпускаемых в РФ, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук <http://perechen.vak2.ed.gov.ru/>.

Ответственность за содержание информационных материалов, а также за использование сведений, не подлежащих публикации в открытой печати, несут авторы.

© Российский морской регистр судоходства, 2017

Research Bulletin by Russian Maritime Register of Shipping, №46/47, 2017

Scientific and technical periodical has been published since 1916.

The Founder and the Publisher

Russian Maritime Register of Shipping (RS)

Editor-in-chief

Maxim Boyko

E-mail: research.dept@rs-class.org

ISSN 2223-7097

Editorial board

Vladimir Evenko – Technical Director - Head of Classification Directorate, Chairman of Editorial board, RS

Maxim Boyko – Candidate of technical sciences, Deputy Chairman of Editorial board, Editor-in-Chief of Research Bulletin by RS, Head of the Research department, RS

Alexander Bolshev – Doctor of technical sciences, professor of St. Petersburg State Polytechnic University

Andrey Grigoriev – Candidate of technical sciences, Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping

Mikhail Kuteynikov – Doctor of technical sciences, Head of the Hull department, RS

Victor Malyshevskiy – Doctor of technical sciences, professor, Chief Operating Officer of Central Research Institute of Structural materials “Prometei”

Valery Polovinkin – Doctor of technical sciences, professor, assistant of Chief Executive Officer, Krylov State Research Centre

Aleksander Rodionov – Doctor of technical sciences, professor of St. Petersburg State Marine Technical University

Kirill Rozhdestvenskiy – Doctor of technical sciences, professor of St. Petersburg State Marine Technical University

Anatoliy Sazonov – Doctor of technical sciences, professor of Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,

corresponding member of Russian Academy of Science
Oleg Timofeev – Doctor of technical sciences, Deputy Director General for Shipbuilding and Marine Technologies, Krylov State Research Centre

Vladimir Tryaskin - Doctor of technical sciences, professor, St. Petersburg State Marine Technical University

Subscription index is 87730 in Rospechat Agency.

On-line version of the journal is available on website: www.rs-class.org.

The journal is included in Russian index of scientific citing www.elibrary.ru, VINITI RAS Scientific and Technical Literature Collection, Ulrich's Periodicals Directory international database.

The journal is registered by the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology, and Mass Media. Registration Certificate ПИ № ФС77-64086 of 25.12.2015.

The journal is included into the List of Supreme Attestation Commission of leading peer-reviewed scientific magazines and editions, in which basic scientific results of doctoral and post-doctoral theses (in application for the scientific degrees of Doctor and Candidate of Science) shall be published <http://perechen.vak2.ed.gov.ru/>.

Authors are responsible for the contents of information and advertisement materials as well as for use of information not liable to publication in open press.

© Russian maritime register of shipping, 2017

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СБОРНИК РОССИЙСКОГО МОРСКОГО РЕГИСТРА СУДОХОДСТВА

№ 46/47

RESEARCH BULLETIN BY RUSSIAN MARITIME REGISTER OF SHIPPING

Журнал «Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства» публикует результаты научных исследований по широкому спектру вопросов безопасности мореплавания судов и морских объектов, охраны человеческой жизни на море, сохранности грузов, экологической безопасности, обзорные материалы и информацию о существенных изменениях действующих правил и руководств Регистра. Журнал предназначен для широкого круга специалистов, связанных с вопросами безопасности человеческой жизни на море, охраны окружающей среды, проектирования и строительства судов и средств освоения шельфа. Также журнал будет интересен студентам и курсантам профильных технических образовательных учреждений.

Регистр выражает признательность авторам статей и приглашает ученых и специалистов к публикациям научных работ в журнале.

Журнал распространяется на специализированных отраслевых мероприятиях, конференциях и выставках.

Research Bulletin by Russian Maritime Register of Shipping is a periodical covering a wide range of questions in the areas of shipbuilding and shipping, offshore development facilities, up-to-date maritime technology, environmental protection and maritime safety. New research results and scientific developments in the area of shipbuilding, are introduced in our journal.

The journal is intended for specialists of shipbuilding and ship repair companies, design engineering bureaus, research institutes, professors and postgraduate students of marine universities.

Russian Maritime Register of Shipping expresses appreciation to the authors and invites scientists and specialists to submit articles for publication in the journal.

The journal is distributed at trade events, conferences and exhibitions.

Санкт-Петербург
2017

ОБРАЩЕНИЕ ГЕНЕРАЛЬНОГО ДИРЕКТОРА РС



УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!

Представляем Вам новый выпуск журнала «Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства», выход которого традиционно приурочен ко Дню работника морского и речного флота.

В новом выпуске представлены статьи по широкому спектру научных исследований, имеющих непосредственное отношение к обеспечению безопасности мореплавания и охране окружающей среды. Традиционная для нашего журнала рубрика «Обзор», открывающая выпуск, посвящена научно-исследовательской деятельности Регистра. Приведена информация о новых научно-исследовательских работах Регистра, выполняемых в 2017 году, а также информация о внедрении результатов научно-исследовательских работ, завершённых в 2016 году, в нормативные документы Регистра.

Одна из основных задач нашего журнала — публикация статей, содержащих результаты выполненных по заказу Регистра научно-исследовательских работ. Таким образом, помимо непосредственного внедрения результатов в нормативную базу для последующего практического применения, для пользователей правил Регистра и читателей журнала создана возможность ознакомиться с более детальным научным обоснованием и основными преимуществами новых требований, рассмотреть научное обоснование с точки зрения достижений современной отраслевой науки.

Настоящий выпуск не является исключением. В разделе «Прочность судов и плавучих сооружений» приведены результаты научно-исследовательской работы Регистра, посвящённой техническому обоснованию применения

сварных форштевней и ахтерштевней на судах ледовых классов и ледоколах. В разделе «Материалы и сварка» приведены результаты научной работы, посвящённой разработке новой редакции требований Регистра к конструкции и прочности судов из полимерных композиционных материалов. В разделе «Электрооборудование судов» опубликована статья, подготовленная на основе научно-исследовательской работы Регистра по созданию методики численного моделирования механических испытаний вращающихся электрических машин. Традиционно в состав научно-исследовательских работ Регистра включаются направления, связанные с совершенствованием прикладного программного обеспечения. В разделе журнала «Информационные технологии» опубликована статья, посвящённая разработке программного обеспечения Регистра для расчетов по Общим Правилам МАКО.

Помимо публикации журнала, в целях популяризации результатов прикладных научно-исследовательских работ Регистр на регулярной основе проводит конференции и семинары, посвящённые наиболее актуальным аспектам морской транспортировки грузов. В частности, в период 21 — 22 марта 2017 года Регистром была проведена конференция «Контейнеры и контейнерные перевозки. Проблемы, решения, перспективы». В программы конференции было предусмотрено обсуждение результатов научно-исследовательской работы Регистра, завершённой в 2016 году и посвящённой разработке технических требований к контейнеру-цистерне с сосудом из полимерных композиционных материалов. Представители организаций контейнерного бизнеса в ходе конференции положительно оценили разработанные Регистром требования. Результаты данной работы уже внедрены в нормативную базу Регистра.

Еще одним аспектом научно-исследовательской деятельности Регистра является укрепление взаимодействия с отечественными научными и образовательными организациями. Данное взаимодействие осуществляется как непосредственно в процессе выполнения научно-исследовательских работ и деятельности Научно-технического совета, так и мероприятиями Регистра по поддержке отраслевой науки и образования. В качестве примеров таких мероприятий следует отметить открытие в апреле 2017 года Целевой аудитории Регистра в Государственном университете морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова, а также ежегодный конкурс выпускных студенческих работ и ежегодную студенческую конференцию Регистра.

Помимо вышеуказанного, следует отметить готовность Регистра и Редакционной коллегии журнала на бесплатной основе принимать к публикации научные статьи, подготовленные отечественными специалистами, обеспечивать качественное рецензирование поступающих материалов и широкую географию читателей. Приглашаем заинтересованных авторов к сотрудничеству!

К.Г. Пальников
Генеральный директор
ФГУ "Российский морской регистр судоходства"

ОБРАЩЕНИЕ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!

Выход в свет настоящего выпуска журнала «Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства» совпадает по времени со вступлением в силу 1 июля 2017 года Срочного бюллетеня №1 к Общим Правилам Международной Ассоциации Классификационных Обществ (МАКО) по конструкции и прочности навалочных и нефтеналивных судов издания 1 января 2015 года (Urgent Rule Change Notice 1 to 01 Jan Version). Выпуск данного бюллетеня стал результатом масштабной работы МАКО по отработке замечаний ИМО, выставленных по результатам аудита Общих Правил на соответствие Целевым Стандартам.

В частности, внесены изменения в формулы для определения волновых нагрузок при расчете общей и местной прочности корпуса судна. Изменения обусловлены тем, что традиционно применяемая МАКО методика по расчету долговременных распределений волновых нагрузок, основанная на равномерном законе распределения курсовых углов хода судна, была отмечена аудиторами ИМО как недостаточно обоснованная и требующая внесения соответствующих изменений в Общие Правила. Для отработки данного замечания проведена работа по оценке влияния различных законов распределения курсового угла, включая несколько вариантов теоретических законов и законов распределения, основанных на «хорошей морской практике», на величину общих и местных нагрузок на корпус судна. В результате показано, что увеличение расчетных волновых нагрузок при учете различных возможных на практике законов распределения курсового угла не превышает 5 %, и соответствующие изменения внесены в Общие Правила.

Еще несколько изменений, связанных с отработкой замечаний аудиторов ИМО, внесены в разделы, содержащие требования к расчету усталостной долговечности корпуса навалочных судов. Предыдущая редакция Общих Правил предполагала, что для навалочных судов типа ВС-В и ВС-С длиной менее 200 м относительное время эксплуатации в состоянии «нормального балласта» (normal ballast condition) и «тяжелого балласта» (heavy ballast condition) равны между собой и составляют по 15% от расчетного срока службы. По требованиям аудиторов ИМО данное допущение было пересмотрено МАКО на основании масштабного анкетирования операторов судов и судовладельцев, эксплуатирующих суда указанного типоразмера. Определено, что наиболее репрезентативным значением для состояния «тяжелого балласта» следует считать 25 %. Соответствующие изменения внесены в Общие Правила. Также для отработки еще одного замечания аудиторов ИМО было увеличено расчетное время работы сварных соединений в коррозионно-активной среде, применительно к конструкциям в грузовых и балластных цистернах и трюмах навалочных судов.



Следует отметить, что деятельность МАКО по разработке и совершенствованию Общих Правил осуществляется при непосредственном участии Регистра. Вопросы разработки правил, а также создания специализированного программного обеспечения, регулярно освещаются на страницах нашего журнала. Настоящий выпуск журнала не является исключением. Также вопросы разработки программного обеспечения для Общих Правил МАКО регулярно обсуждаются на заседаниях секции Научно-технического совета Регистра. Таким образом, в лице Регистра для отечественных пользователей Общих Правил создана возможность оперативного взаимодействия по техническим аспектам применения новых разработок МАКО.

При этом по наиболее острым и дискуссионным вопросам применения Общих Правил приглашаем заинтересованных авторов к публикации статей в нашем журнале и выступлениям на секциях Научно-технического совета Регистра. Наиболее технически обоснованные предложения, которые могут привести к изменениям в нормативной базе МАКО, в соответствии с существующими процедурами могут быть доведены до сведения МАКО и использованы при совершенствовании нормативных документов.

М.С. Бойко
Главный редактор, к.т.н.



СОДЕРЖАНИЕ

Пальников К.Г. Обращение генерального
директора РС 2

Бойко М.С. Обращение главного редактора. 3

ОБОЗРЕНИЕ 6

БЕЗОПАСНОСТЬ МОРЕПЛАВАНИЯ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Диденко В.Ф., Лебедев Ю.А., Боровикова И.А.
Исследование и ранжирование озонобезопасных
и парниковобезопасных хладагентов
по энергетической эффективности
и экологической безопасности 11

Бирин С.А., Соловьев Ю.В. Разработка
инновационной системы экспресс-диагностики
холодильно-технологического комплекса
рыбопромышленных судов 20

Шурпяк В.К. Анализ применения газового топлива
на морских судах и разработка требований
Регистра к судам, подготовленным для перехода
на газовое топливо 26

Емельянов М.Д. Количественная оценка риска
аварий морских судов. 32

ПРОЧНОСТЬ СУДОВ И ПЛАВУЧИХ СООРУЖЕНИЙ

Горетый О.А., Компанец В.А., Суров О.Э. Расчеты
прочности и разработка рекомендаций
по эксплуатации судна с широким раскрытием
палубы. 38

Петров А.А. Техническое обоснование возможности
применения сварных штевней на ледоколах и судах
ледовых классов Arc5 – Arc9 45

Елисеев В.В., Пискунов В.А. Оценка динамической
прочности пневмоклапана линемета 51

МАТЕРИАЛЫ И СВАРКА

Мальшевский В.А., Томашевский В.Т. Некоторые
проблемы металловедения в современном
и перспективном судостроении. 57

Кутейников М.А., Кордонцев С.М., Федонюк Н.Н.
Разработка новых правил по конструкции
и прочности морских судов из полимерных
композиционных материалов 64

K.G. Palnikov RS Director General address

M.S. Boyko Editor-in-Chief address

NEWSROOM

MARITIME SAFETY AND ENVIRONMENTAL PROTECTION

V.F. Didenko, Yu.A. Lebedev, I.A. Borovikova Energy
efficiency and environmental safety research
and ranking of ozone and greenhouse effect
safe refrigerants

S.A. Birin, Yu.V. Solovyev Development of the innovative
express diagnostics system for fishing vessels'
refrigeration and technological complex

V.K. Shurpyak Analysis of using LNG as fuel
on sea-going ships and development of the Register's
requirements for ships ready for transition to gas fuel

M.D. Emelyanov Quantitative risk assessment
of accidents with ships

STRENGTH OF SHIPS AND FLOATING FACILITIES

O.A. Goretyi, V.A. Kompanets, O.E. Surov Strength
calculations and development of recommendations
for the safe operation of a ship with wide hatch openings

A.A. Petrov Technical justification of the possibility
of application of welded stem and stern instead
of cast ones on the icebreakers and ships with
the ice classes Arc5 – Arc9

V.V. Yeliseev, V.A. Piskunov Dynamic strength estimation
of a line thrower's pneumatic valve.

MATERIALS AND WELDING

V.A. Malishevsky, V.T. Tomashevsky Metallurgy problems
in contemporary and future shipbuilding

M.A. Kuteynikov, S.M. Kordonets, N.N. Fedonyuk
Development of new rules for hull structure and strength
of fiber reinforced plastic ships

МОРЕХОДНЫЕ КАЧЕСТВА СУДОВ

Ярисов В.В. Разработка предложений по оценке мореходных качеств поврежденного судна на волнении . 72

МЕХАНИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ДВИЖИТЕЛИ

Румб В.К., Иванов М.Ю. К вопросу о назначении запретных зон при расчете крутильных колебаний судовых валопроводов 78

Румб В.К., Хоанг Ван Ты, Серов А.В. Современный взгляд на осевые колебания валопроводов судовых пропульсивных установок 82

Мамонтов В.А., Глухов А.Н., Горбачев М.М., Кушнер Г.А. Экспериментальное исследование поперечных и крутильных колебаний валопроводов буксира типа ОТ-2400 86

Соляков О.В., Кутин Н.А., Ефремов А.С. Магаровский В.В. Исследования взаимодействия винто-рулевых колонок с корпусом судна и между собой в режиме динамического позиционирования 89

Ибрагимов Д.И., Поршкевич В.В., Камаев Н.А., Юртаев А.А. Эффективность воздушных микротурбин с углами выхода сопел меньше 9 градусов 92

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ

Шукин А.Ю., Забирохин П.Б. Оценка сходимости данных натурных испытаний и результатов расчета при компьютерном моделировании механических испытаний вращающихся электрических машин . 98

РАДИОНАВИГАЦИОННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Кобец Н.М. Сглаживание траекторных данных прямолинейного движения судна применительно к концепции удаленного навигационного контроля 107

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Тряскин В.Н., Рюмин С.Н., Кутейников М.А., Бойко М.С. Автоматизированная подготовка исходных данных для расчета общей и местной прочности судна в соответствии с требованиями общих правил МАКО при разработке программного обеспечения 112

ПРОБЛЕМЫ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА

Никитина В.Н. Значение системного анализа в решении задач профилактики аварийности судоходства по причине человеческого фактора 119

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ НАУКИ И ТЕХНИКИ

Токарев Л.Н., Макаров Д.А. Импортзамещение судового электрооборудования в СССР и в России 125

Правила предоставления статей 132

SEAWORTHINESS

V.V. Yarisov Development of proposals for seaworthiness of the damaged ship on a wave

MECHANICAL INSTALLATIONS AND PROPULSION

V.K. Rumb, M.Yu. Ivanov Regarding the barred speed ranges concretization as a result of the ship shafting torsional vibration calculation

V.K. Rumb, Hoang Van Tu, A.V. Serov Modern view on axial vibration of ship propulsion unit shafting

V.A. Mamontov, A.N. Glukhov, M.M. Gorbachev, G.A. Kushner Experimental research on transverse and torsional vibrations of type OT-2400 ship shaft

O.V. Solyakov, N.A. Kutin, A.S. Efremov, V.V. Magarovsky Studies of the rudder propeller's interaction with the hull and with each other in the dynamic positioning mode

D.I. Ibragimov, V.V. Porshkevich, N.A. Kamaev, A.A. Yurtaev Effectiveness of microturbines nozzles with outlet angles of less than 9 degrees

ELECTRICAL EQUIPMENT

A.Yu. Shchukin, P.B. Zabirokhin Field test data and results of calculations by computer simulated modelling for rotating electrical machines: convergence estimation

RADIO NAVIGATIONAL EQUIPMENT

N.M. Kobets Trajectory measurements smoothing for a ship's rectilinear motion in regard to the navigation remote control concept

INFORMATION TECHNOLOGY

V.N. Tryaskin, S.N. Rumin, M.A. Kuteynikov, M.S. Boyko Automatic input data preparation for global and local ship strength calculation in accordance with IACS Common Structural Rules as a software development task

HUMAN ELEMENT PROBLEMS

V.N. Nikitina The significance of systemic analysis in solving problems for prevention of human element related shipping accidents

HISTORY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

L.N. Tokarev, D.A. Makarov Import substitution of ship electrical equipment in the USSR and the Russian Federation



ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ

УДК 534.13; УДК 62-89

ОЦЕНКА СХОДИМОСТИ ДАННЫХ НАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЙ И РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА ПРИ КОМПЬЮТЕРНОМ МОДЕЛИРОВАНИИ МЕХАНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ ВРАЩАЮЩИХСЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

А.Ю. Щукин, ООО «ЦКТИ-Вибросейсм», Санкт-Петербург, тел: +7 (812) 327-85-99,
e-mail: AShchukin@cvs.spb.su

П.Б. Забиروهин, ООО «ЦКТИ-Вибросейсм», Санкт-Петербург, тел: +7 (812) 327-85-99,
e-mail: PZabirokhin@cvs.spb.su

В статье дано описание сейсмостенда, на котором проводились испытания на механические воздействия асинхронного двигателя ВАО2-315. Описаны основные задачи натурных испытаний, которые позволили получить следующую информацию: параметры динамических характеристик изделия для использования в расчетах, данные для определения режимов испытаний, соответствующих требованиям Правил Регистра, данные по реакции конструкции двигателя на заданные воздействия, необходимые для сравнения расчета с результатами натурных испытаний. Экспериментальные исследования асинхронного двигателя ВАО2-315 включали следующие типы испытаний: определение динамических характеристик двигателя, определение резонансных частот элементов конструкции двигателя, испытания на вибропрочность и ударпрочность. Приведены результаты натурных испытаний двигателя ВАО2-315 на вибропрочность и ударпрочность, основной задачей которых является получение данных для проведения сравнительного анализа результатов эксперимента и расчета. Разработана компьютерная расчетная модель двигателя ВАО2-315, с использованием которой проведена оценка сходимости данных, полученных расчетным путем, с результатами натурных испытаний. Сравнение результатов натурных испытаний и расчета показало, что современные программные средства позволяют корректно решить задачу компьютерного моделирования механических испытаний вращающихся электрических машин в соответствии с требованиями Правил Российского морского регистра судоходства.

Ключевые слова: натурные испытания, двигатель ВАО2-315, компьютерная модель, сравнение испытаний и расчета, вибропрочность, ударпрочность

FIELD TEST DATA AND RESULTS OF CALCULATIONS BY COMPUTER SIMULATED MODELING FOR ROTATING ELECTRICAL MACHINES: A CONVERGENCE ESTIMATION

A.Yu. Shchukin, "CKTI-VIBROSEISM" Ltd. St. Petersburg, tel.: +7 (812) 327-85-99,
e-mail: AShchukin@cvs.spb.su

P.B. Zabirokhin, "CKTI-VIBROSEISM" Ltd. St. Petersburg, tel.: +7 (812) 327-85-99,
e-mail: PZabirokhin@cvs.spb.su

The article provides a description of the shake table that was used for testing of the induction motor VAO2-315 for mechanical impact. The article also outlines the basic tasks of field tests, from which the following information was obtained: the product's dynamic

characteristics parameters to be used in the calculations, the data to determine the test conditions complying with the requirements of the Register Rules, data for engine design responses to given impacts necessary to compare calculation and field tests results. Experimental studies of VAO2-315 induction motor included the following types of tests: motor dynamic characteristics determination, the determination of the motor construction elements resonance frequencies as well as tests for vibration and shock resistance. The results of VAO2-315 motor field tests for vibration and shock resistance are presented, their main goal being the provision of data for comparative analysis of experimental results and calculation. A computer model of VAO2-315 motor is developed to estimate the degree of convergence between the calculation results and field test data. The comparison of the results of field tests and calculations has shown that contemporary software is able to reliably simulate the mechanical testing process for rotating electrical machines in full accordance with the requirements of Russian Maritime Register of Shipping.

Keywords: field tests, VAO2-315 motor, computer model, comparison of field tests and calculation, vibration resistance, shock resistance

ВВЕДЕНИЕ

Статья посвящена вопросам разработки расчетных моделей вращающихся электрических машин (ВЭМ), используемых для компьютерного моделирования механических испытаний в соответствии с требованиями «Правил технического наблюдения за постройкой судов и изготовлением материалов и изделий для судов» (том 2, часть IV, глава 10, [1]).

В статье представлены результаты натурных динамических испытаний двигателя VAO2-315, разработана расчетная модель двигателя и проведено сравнение результатов натурных испытаний и расчета с целью верификации компьютерной модели двигателя VAO2-315.

Задача компьютерного моделирования испытаний ВЭМ на механические воздействия связана с тем, что существует проблема проведения этих испытаний для крупногабаритных ВЭМ. Расчеты, выполненные с применением современных программных комплексов, снижают расходы на обоснование прочности и работоспособности ВЭМ при динамических нагрузках.

Актуальность проблемы подтверждается большим количеством статей, посвященных численному моделированию различных машин и механизмов, в которых приводятся данные по сравнению результатов экспериментальных исследований и расчетов. Анализ этих материалов показывает, что подход, связанный с численным моделированием, экономичен и более информативен по сравнению с традиционными экспериментальными методами [2 — 5].

Результаты исследований, приведенные в настоящей статье, получены в рамках научно-исследовательской работы, выполненной по заказу Российского морского регистра судоходства.

1. СЕЙСМО-ВИБРОСТЕНД «УСВС-100»

Испытания двигателя VAO2-315M4 на механические воздействия проводились на стенде Центра Комплексно-Сейсмических Испытаний (www.centercst.ru).

Сейсмо-вибростенд «УСВС-100» предназначен для воспроизведения одно- и двухкомпонентных механических колебаний (виброперемещений) при испытаниях фрагментов строительных сооружений, конструкций, оборудования на сейсмостойкость, вибропрочность и виброустойчивость в соответствии с актуализированной редакцией ГОСТ 17516.1-90, ГОСТ 30630.1.1-99 [6, 7].

Технические возможности стенда: реализуемый частотный диапазон (от 0,1–100 Гц), грузоподъемность (до 100 т) и размер платформы 4 × 5 м в плане позволяют проводить испытания на вибропрочность и виброустойчивость широкой номенклатуры изделий, в том числе крупногабаритных.

Общий вид стенда показан на рис. 1.



Рис. 1 Сейсмо-вибростенд «УСВС-100»

2. КОНСТРУКТИВНАЯ СХЕМА ДВИГАТЕЛЯ VAO2-315M4

Объектом испытаний являлся двигатель асинхронный VAO2-315 М. Конструктивная схема двигателя приведена на рис. 2.

Основные технические характеристики двигателя асинхронного типа VAO2-315:

- Мощность – 250 кВт;
- Частота вращения – 1500 об/мин;
- Масса – 1475 кг.

Двигатель VAO2-315M4, установленный на столе стенда, показан на рис. 3.

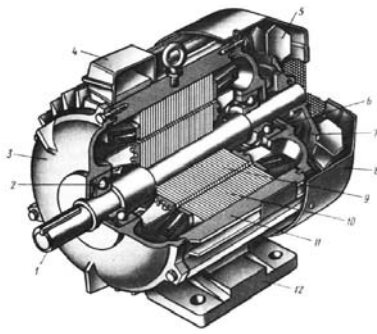


Рис. 2 Конструктивная схема двигателя асинхронного типа ВАО2-315М4

- 1 – вал; 2 – радиальный подшипник (роликовый);
3, 7 – подшипниковые щиты;
4 – коробка; 5 – вентилятор; 6 – радиально-упорный подшипник;
8 – кожух; 9 – обмотка ротора; 10 – обмотка статора;
11 – станина; 12 – лапы



Рис. 3 Двигатель асинхронный типа ВАО2-315М4

3. ЦЕЛЬ, ОБЪЕМ И УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ

С целью верификации результатов расчета двигателей на внешние динамические воздействия проведены испытания по определению динамических характеристик и испытания на стойкость к механическим внешним воздействующим факторам.

Основная цель натурных испытаний заключается в следующем:

- получение информации по значениям динамических характеристик изделия для использования в расчетах;
- проведение натурных испытаний двигателя на режимах соответствующих требованиям Правил Регистра;
- оценка точности выполненных расчетов — проверка сходимости путем сравнения расчета с результатами натурных испытаний.

Испытания двигателя асинхронного типа ВАО2-315 включали:

- визуальный осмотр двигателя перед началом испытаний;
- испытания по определению динамических характеристик двигателя;
- испытания по определению резонансных частот элементов конструкции двигателя;
- испытания на вибропрочность;
- испытания на ударопрочность.

4. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ НАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЙ ДВИГАТЕЛЯ ВАО2-315М4

Определение динамических характеристик двигателя

Испытания по определению динамических характеристик проводятся в соответствии с ГОСТ 30630.1.1-99 [7].

Целью данных испытаний является определение динамических свойств изделия, а также для использования при динамических расчетах изделия.

В табл. 1 приведены результаты обработки данных по определению динамических характеристик элементов двигателя ВАО2-315М.

Записи затухающих колебаний элементов двига-

Таблица 1

Динамические характеристики элементов двигателя ВАО2-315

| Элемент двигателя | Частота, Гц | Демпфирование, % |
|---|--|------------------|
| Подшипниковый щит со стороны привода с ротором | 386 | 3,5 |
| | 444 | 3,4 |
| | 610 | 2,2 |
| Подшипниковый щит со стороны, противоположной приводу | 303 | 3,6 |
| | 386 | 2,6 |
| | 586 | 1,9 |
| Станина двигателя. Продольное направление | 20,8 ¹ (к жесткого целого) | 2,4 |
| Ротор (в осевом направлении) | 45,2 ¹ | 10,8 |
| Ротор (в поперечном направлении) | 142 | 2,1 |
| | 513 | 1,9 |
| | 635 | 2,0 |

¹Частота для случая крепления двигателя на вибростенде;
²задана осевая жесткость подшипника.

теля ВАО2-315, полученные в результате испытаний, показаны на рис. 4 – 6.

Определение резонансных частот элементов конструкции двигателя

Цель данного режима испытаний заключается в получении исходной информации для выбора методов и режимов испытаний на вибропрочность, определения длительности импульсов ударного ускорения [1].

В результате испытаний по определению динамических характеристик конструкции двигателя

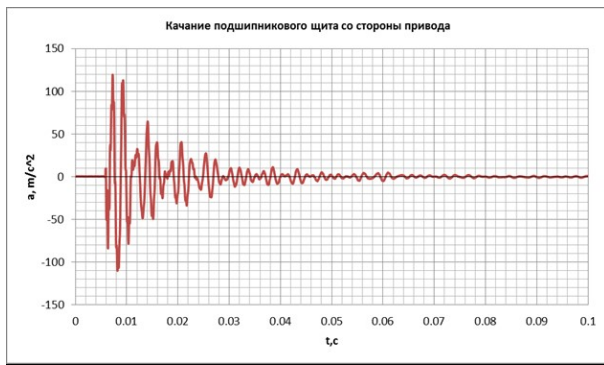


Рис. 4 Колебания ПЩ со стороны привода

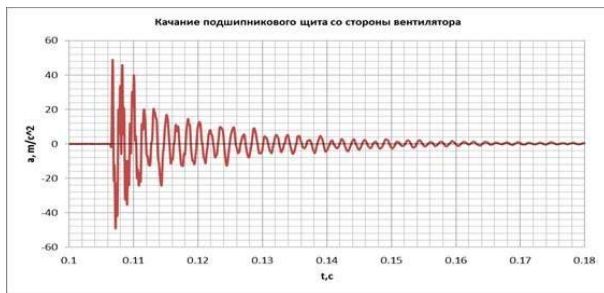


Рис. 5 Колебания ПЩ со стороны вентилятора

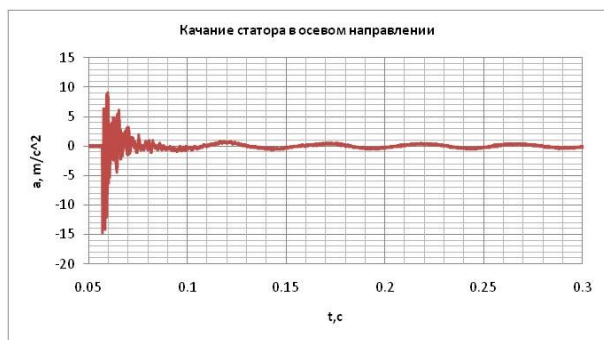


Рис. 6 Колебания статора вдоль оси двигателя

ВАО2-315М4 установлено (табл. 1), что потенциальные резонансные частоты изделия выше значения 30 Гц. Учитывая это, испытания на обнаружение резонансных частот проводились в поддиапазонах 31,5 – 63 Гц и 63 – 80 Гц [3].

Поиск резонансных частот проводился плавным изменением частоты в пределах каждого поддиапазона при постоянной амплитуде перемещений. Продолжительность плавного изменения частоты в пределах поддиапазона не менее 2 мин [1].

В качестве иллюстрации на рис. 7 показан график виброускорений на столе в поддиапазоне частот 31,5 – 63 Гц. На графике видно характерное увеличение амплитуды ускорений при увеличении частоты вибрации и снижение при уменьшении частоты.

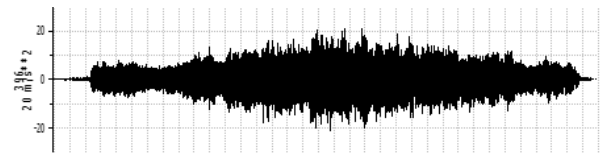


Рис. 7 Вибровоздействие на столе в поддиапазоне частот 31,5 – 63 Гц

На рис. 8 представлен 3D спектр вибрационного воздействия (изменение спектра во времени) на столе для поддиапазона частот 31,5 – 63 Гц.

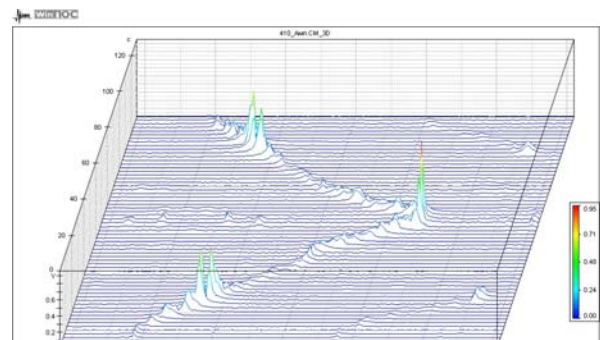


Рис. 8 3D спектр внешнего воздействия в диапазоне частот 31,5 – 63 Гц

В табл. 2 показано сравнение максимальных ускорений на столе вибростенда и элементах (A_{max}) двигателя при вибровоздействии в поддиапазонах частот 31,5 – 63 Гц и 63 – 80 Гц.

Как видно из табл. 2 для большинства точек резонанс не наблюдается. Исключением является только датчик, расположенный на крышке подшип-

Таблица 2

Оценка наличия условий резонанса

| Направление | Поддиапазон, Гц | Элемент | A_{max} , g | A_{maxN}/A_{max}^* |
|-----------------------|-----------------|-------------------------|---------------|----------------------|
| Вдоль оси двигателя | 31,5 – 63 | Стол* | 4,88 | 1,0 |
| | | ПЩ _{привод} | 11,93 | 2,4 |
| | | ПЩ _{вент} | 9,99 | 2,0 |
| | | Крышка ПЩ | 6 | 1,2 |
| | | Вал | 0,79 | 0,2 |
| | 63 – 80 | Стол* | 3,0 | 1,0 |
| | | ПЩ _{привод} | 3,33 | 1,1 |
| | | ПЩ _{вент} | 4,02 | 1,3 |
| | | Крышка ПЩ | 2,12 | 0,7 |
| | | Вал | 0,56 | 0,2 |
| Поперек оси двигателя | 31,5 – 63 | Стол* | 4,75 | 1,0 |
| | | Станина _{верт} | 7,49 | 1,6 |
| | | Станина _{гор} | 4,86 | 1,0 |
| | | Вал _{гор} | 6,88 | 1,4 |
| | | Вал _{верт} | 2,59 | 0,5 |
| | 63 – 80 | Стол* | 8,0 | 1,0 |
| | | Станина _{верт} | 12,9 | 1,6 |
| | | Станина _{гор} | 9,71 | 1,2 |
| | | Вал _{гор} | 8,75 | 1,1 |
| | | Вал _{верт} | 3,26 | 0,4 |

ника со стороны привода в случае воздействия в диапазоне 31,5 – 63 Гц, в продольном направлении, для которого отношение максимальных ускорений равно 2,4.

Поскольку внешнее воздействие, помимо изменяющейся частоты, указанной в табл. 2, содержало высшие гармоники и шум, не позволяющие корректно определить резонансные частоты по уровню ускорения, для дополнительной оценки наличия резонанса были построены передаточные функции. Передаточная функция для ответных колебаний ПЩ в продольном направлении представлена на рис. 9. Как видно из графика, резонанс отсутствует в диапазоне частот от 2 Гц до 80 Гц.



Рис. 9 Колебания ПЩ со стороны привода. Передаточная функция

Испытания на вибропрочность

Как отмечено выше, в диапазоне частот до 80 Гц нет резонанса элементов электродвигателя ВАО2-315М4. Поэтому испытания на вибропрочность проводились на частоте 30 Гц [1]. Параметры режима испытаний на вибропрочность приведены в табл. 3.

Таблица 3

Режим испытаний на вибропрочность

| Частота вибровоздействия, Гц | Кратковременные испытания | | |
|------------------------------|---------------------------|-----------------|------------|
| | Ускорения, g | Перемещения, мм | Время, час |
| 30* | 2,5 | 0,7 | 2,2 |

График ускорения на столе вибростенда при испытаниях на вибропрочность приведен на рис. 10.

В процессе испытаний на вибропрочность не зафиксировано каких-либо поломок частей изделия и не обнаружено других видимых повреждений (п. 10.5.3.3.7 Правил).

Испытания на ударопрочность

Целью испытаний на ударопрочность является оценка напряженного состояния изделия, его узлов и деталей при ударном механическом воздействии. При испытаниях должны быть обеспечены указанные выше характеристики ударных воздействий при

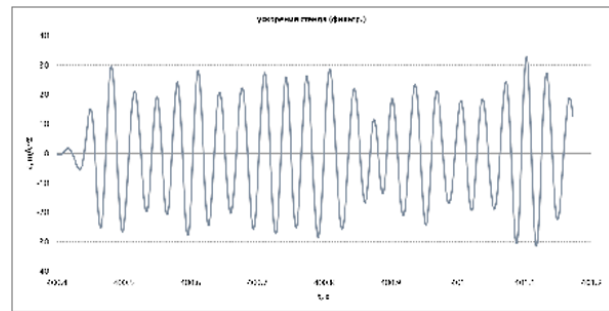


Рис. 10 Ускорения в основании двигателя при испытаниях на вибропрочность. Поперечное воздействие (фрагмент)

длительности импульса 6 мсек [1]. Необходимо отметить, что технические параметры стенда не позволили обеспечить требуемую интенсивность ударного воздействия. При ударном воздействии удалось обеспечить интенсивность 2,5 – 3 g.

График ускорения на столе вибростенда при ударном воздействии (вдоль вала) приведен на рис. 11. На графике видно наложение высокочастотных колебаний, которые вызваны вибрацией конструкций стола виброплатформы.

В процессе испытаний на ударопрочность не произошло поломок частей изделия и не появились другие видимые дефекты (п. 10.5.3.5.3 Правил).

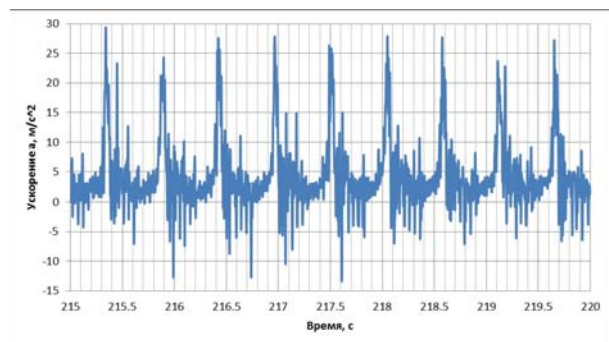


Рис. 11 Ускорения в основании двигателя при испытаниях на ударопрочность

5. РАЗРАБОТКА И ВЕРИФИКАЦИЯ РАСЧЕТНОЙ МОДЕЛИ ДВИГАТЕЛЯ ВАО2-315

Для моделирования конструкции двигателя ВАО2-315 и проведения расчетов используется универсальный программный комплекс ANSYS [8].

При разработке компьютерной модели двигателя ВАО2-315М4 использовались положения и принципы, изложенные в статье [9].

На рис. 12 приведена расчетная модель двигателя ВАО2-315.

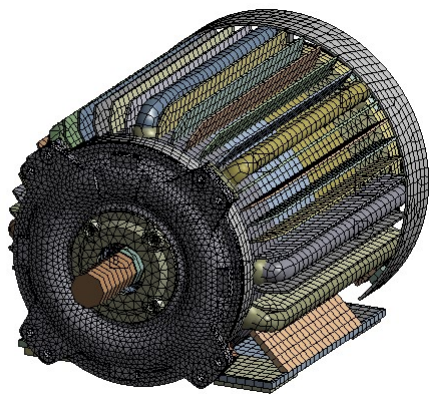


Рис. 12 КЭ модель двигателя VAO2-315

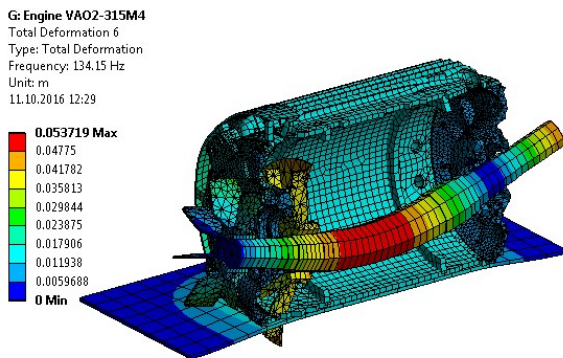


Рис. 13 Первая форма изгибных колебаний ротора (вертикаль) $f=134,2$ Гц

Для подтверждения жесткостных характеристик конструкции использовались результаты динамических испытаний, в которых определялись формы и частоты колебаний. Сопоставление полученных результатов с расчетными дает возможность судить о точности задания жесткостных и массовых харак-

Таблица 4

Сравнение частот, полученных при испытаниях и КЭ расчетом

| Элемент двигателя | Номер рисунка | Частота, Гц | | Ошибка, % |
|----------------------------|---------------|-------------|-----------|-----------|
| | | Испытания | КЭ расчет | |
| ПЩ со стороны привода | 15 | 386 | 395 | 2,3 |
| | 17 | 444 | 440 | 0,9 |
| ПЩ со стороны, вентилятора | 14 | 303 | 293 | 3,3 |
| | 16 | 386 | 405 | 4,9 |
| | 18 | 586 | 577 | 1,5 |
| Ротор (вдоль оси) | 20 | 45.2 | 49.2 | 8,8 |
| Ротор (поперек оси) | 13 | 142 | 134 | 5,6 |
| | 19 | 635 | 636 | 0,2 |

теристик. В инженерных расчетах, как правило, отклонение расчетных величин от экспериментальных не должно превышать 10 – 20 %.

6. СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА И ИСПЫТАНИЙ

Верификация компьютерной модели двигателя VAO2-315 проводилась путем сравнения частот и форм, полученных в расчете и при испытаниях.

Результаты сравнения приведены в табл. 4. Формы колебаний показаны на рис. 13 – 20.

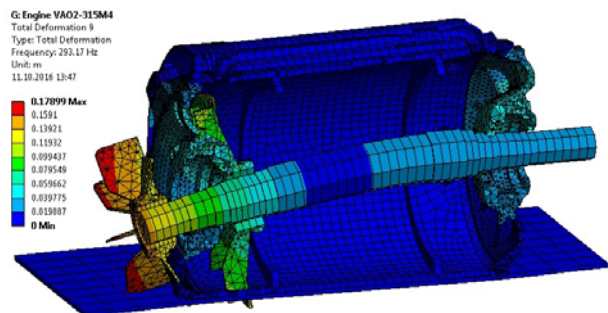


Рис. 14 Форма колебаний ПЩ и вала $f=29,2$ Гц

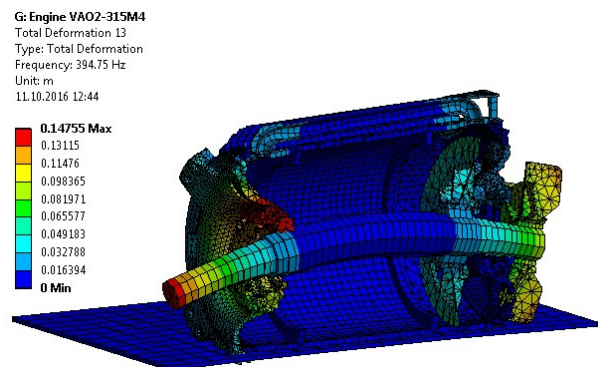


Рис. 15 Форма колебаний вала и ПЩ со стороны привода $f=394,8$ Гц

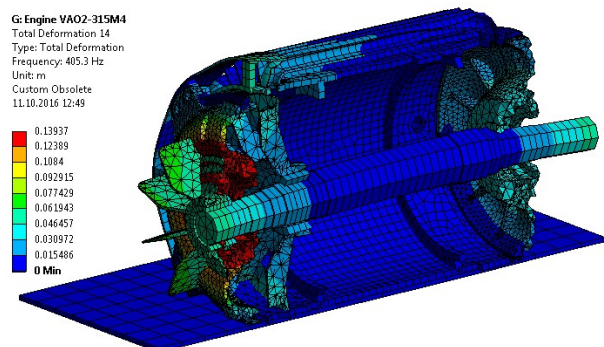


Рис. 16 Форма колебаний ПЩ со стороны вентилятора $f=405,3$ Гц

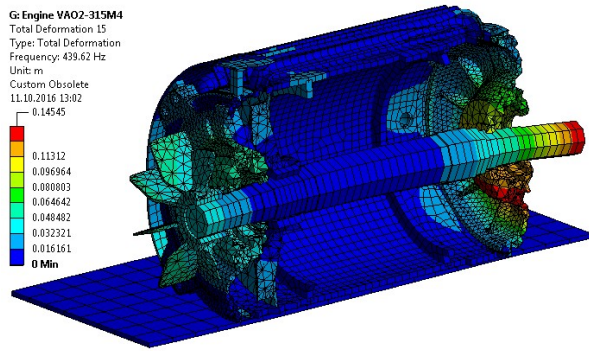


Рис. 17 Форма колебаний вала и ПЩ со стороны привода $f=439,6$ Гц

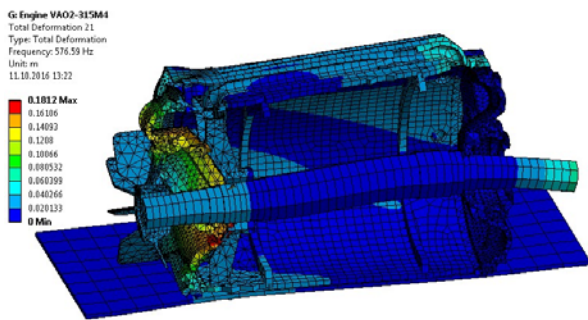


Рис. 18 Форма колебаний ПЩ со стороны вентилятора $f=576,6$ Гц

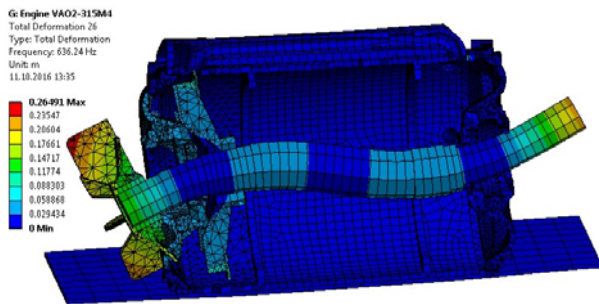


Рис. 19 Вторая изгибная форма колебания вала (вертикальная) $f=636,2$ Гц

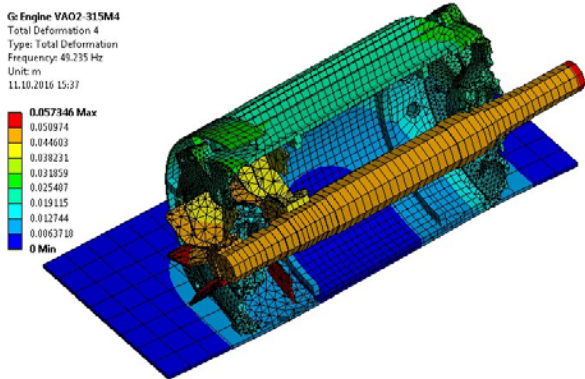


Рис. 20 Продольная форма колебаний вала $f=49,2$ Гц

В табл. 5 и 6 дано сравнение максимальных амплитуд ускорений при испытаниях на вибропрочность (поперечное воздействие) и ударопрочность (продольное воздействие), соответственно.

Таблица 5
Сравнение результатов испытаний и КЭ расчетов на вибропрочность

| Элемент двигателя | Ускорение, m/s^2 | |
|---------------------------|--------------------|-----------|
| | Испытания | КЭ расчет |
| Вал (на конце привода) | 18,3 | 20,3 |
| ПЩ со стороны привода | 11,5 | 21,6 |
| ПЩ со стороны вентилятора | 18,3 | 22,3 |

Таблица 6
Результаты расчета напряжений при испытаниях на вибропрочность

| Элемент двигателя | Ускорение, m/s^2 | |
|-------------------------------------|--------------------|-----------|
| | Испытания | КЭ расчет |
| Вал | 26,9 | 23,6 |
| ПЩ со стороны привода (горизонталь) | 24,1 | 27,2 |
| ПЩ со стороны привода (вертикаль) | 35,5 | 29,2 |

Из представленных результатов видно, что КЭ расчет дает приемлемые (консервативные) результаты при расчете ускорений в различных точках конструкции по амплитуде ответных ускорений.

7. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА НА ПРОЧНОСТЬ ДВИГАТЕЛЯ ВАО2-315

Результаты расчета напряжений в элементах двигателя при испытаниях на вибропрочность (поперечное направление, частота 30 Гц, амплитуда 2.5g) представлены в табл. 7 и на рис. 21 – 23.

Таблица 7
Результаты расчета напряжений при испытаниях на вибропрочность

| Элемент двигателя | σ_a , МПа | $[\sigma_a]$, МПа | № рисунка |
|---------------------------|------------------|--------------------|-----------|
| Опора двигателя | 112 | 127 | 21 |
| ПЩ со стороны вентилятора | 28 | 127 | 22 |
| Вал | 15 | 230 | 23 |

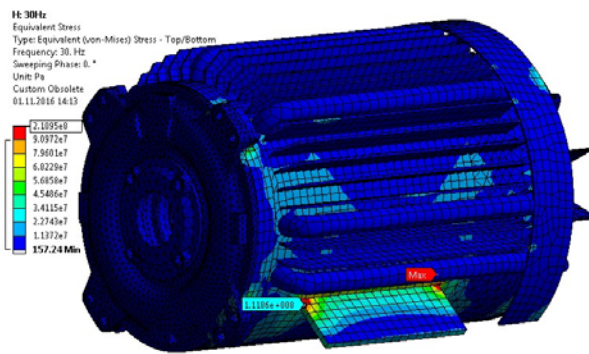


Рис. 21 Напряжения в опоре при расчетах на вибропрочность

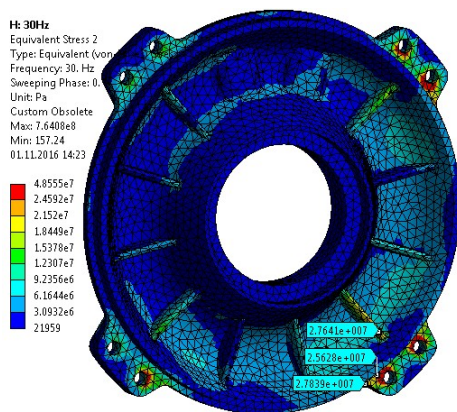


Рис. 22 Напряжения в ПЩ при расчетах на вибропрочность

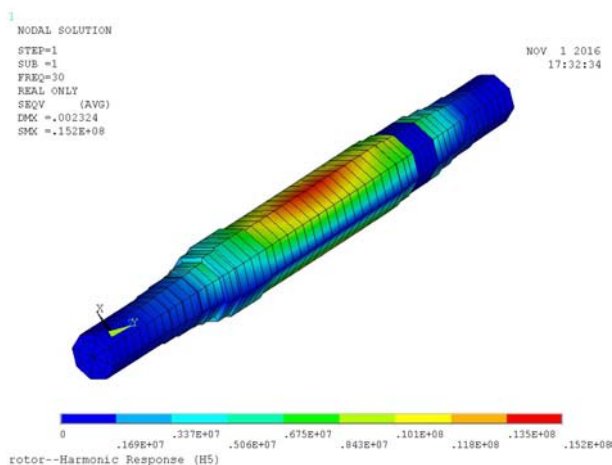


Рис. 23 Напряжения в роторе при расчетах на вибропрочность

ВЫВОДЫ

Сравнение результатов натурных испытаний асинхронного двигателя ВАО2-315 с результатами динамических расчетов показали, что современные программные средства позволяют достаточно корректно решить задачу компьютерного моделирования механических испытаний ВЭМ в соответствии с требованиями Правил Российского морского регистра судоходства [1].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила технического наблюдения за постройкой судов и изготовлением материалов и изделий для судов, 2017.
2. Бояршинов М.Г., Трушков В.А. Вычислительное моделирование динамических и прочностных характеристик механического оборудования. Актуальные проблемы современного машиностроения: сб. трудов Международной научно-практической конференции – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014–с. 119-122.
3. Пирогова Н.С., Тараненко П.А. Расчетно-экспериментальный анализ собственных и критических частот и форм высокооборотного ротора микрогазотурбинной установки, Вестник ЮУрГУ. Т.15, № 3, Серия «Машиностроение», 2015 – с. 37-47.
4. Безмозгий И.М., Софинский А.Н., Чернягин А.Г. Моделирование в задачах вибропрочности конструкций ракетно-космической техники, Космическая техника и технологии, № 3 (6), 2014– с.71-80.
5. Воронов В.А., Киселев И.А., Николаев С.М. Расчетно-экспериментальная методика идентификации параметров модели механической системы с помощью модального анализа, Проблемы механики современных машин, Т.2, 2012 – с. 71-80.
6. ГОСТ 17516.1-90 «Изделия электротехнические. Общие требования в части стойкости к механическим внешним воздействующим факторам».
7. ГОСТ 30630.1.1-99. Методы испытаний на стойкость к механическим воздействующим факторам машин, приборов и других технических изделий. Определение динамических характеристик конструкции.
8. ANSYS Release 17.0, Documentation for ANSYS
9. Забирохин П.Б., Шукин А.Ю. Некоторые аспекты компьютерного моделирования механических испытаний вращающихся электрических машин. Научно-технический сборник Российского Морского Регистра Судоходства, № 42/43, 2016, с. 114-121.

REFERENCES

1. Rules for technical supervision during construction of ships and manufacture of materials and products for ships, 2017. (In Russian)

2. Bojarshinov M.G., Trushkov V.A. Computational modeling of mechanical equipment dynamic and strength characteristics. Aktual'nye problemy sovremennogo mashinostroenija: sb. trudov Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii [Actual problems of modern mechanical engineering: proc. of International theoretical and practical conference]. Tomsk, Publ. of Tomsk polytechnic university, 2014, pp. 119-122. (In Russian)
3. Pirogova N.S., Taranenko P.A. Experiment-calculated analysis of natural and critical frequencies and forms of micro gas-turbine installation's high side rotor. Vestnik JuUrGU [Bulletin of the South Ural State University]. 2015, vol.15, № 3, Series "Mechanical Engineering Industry", pp. 37-47. (In Russian)
4. Bezmozgij I.M., Sofinskij A.N., Chernjagin A.G. Modelirovanie v zadachah vibroprochnosti konstrukcij raketno-kosmicheskoy tehniki [Vibration strength of space-rocket hardware constructions modeling in tasks]. Kosmicheskaja tehnika i tehnologii [Space engineering and technology]. 2014, № 3(6), pp.71-80. (In Russian)
5. Voronov V.A., Kiselev I.A., Nikolaev S.M. Experiment-calculated methodology for parameters identification of mechanical system model with help of modal analysis. Problemy mehaniki sovremennyh mashin [Issues in modern machines mechanics]. 2012, vol. 2, pp. 71-80. (In Russian)
6. GOST 17516.1-90. Izdelija jelectrotehnicheskie. Obshhie trebovanija v chasti stojkosti k mehanicheskim vneshnim vozdeystvujushim faktoram [State Standard 17516.1-90. Electricals. Common requirements for mechanical external effecting factors resistance]. (In Russian)
7. GOST 30630.1.1-99. Metody ispytanij na stojkost' k mehanicheskim vozdeystvujushim faktoram mashin, priborov i drugih tehniceskikh izdelij. Opredelenie dinamiceskikh harakteristik konstrukcii [State standard 30630.1.1-99. Methods of resistance testing to mechanical effecting stresses of machinery, equipment and other technical devises. Determination of dynamic construction characteristics]. (In Russian)
8. ANSYS Release 17.0, Documentation for ANSYS.
9. Zabirohina P.B., Shukin A.Ju. Nekotorye aspekty komp'yuternogo modelirovanija mehanicheskikh ispytanij vrashajushhihsja jelektricheskikh mashin [Some aspects of mechanical tests computer modeling for rotatory electric machine]. Nauchno-tehnicheskij sbornik Rossijskogo Morskogo Registra Sudohodstva [Research Bulletin by Russian Maritime Register of Shipping]. 2016, № 42/43, pp. 114-121. (In Russian)

В оформлении издания использовались графические материалы
из открытых источников сети интернет:

<http://gibka-rezka-svarka.ru/>
<http://ns.abunda.ru/84637-ogromnye-vinty-bolshix-korablej-27-foto.html>
<http://www.cloveritservices.com/Home.aspx>
www.fonstola.ru/
www.wallpapers.ru/
<http://www.ye42oester.nl/>
<http://miraziz.uz/>
<http://www.radioscanner.ru/>
<http://xn--24-dlcyxgbyj.xn--80asehdb/?p=4257>
<http://www.russiapost.su/archives/12268>
<http://utimenews.org/ru/>
<http://kmtп.ru/>
<http://www.efg-berlin.de/>
<http://maritimeforum.net/>
<http://korabley.net/>
<http://demoweb.hermosoft.com/efos/>

Фото для обложки журнала предоставлено
Липеевым Игорем Анатольевичем,
инженером-инспектором Балтийского филиала
ФАУ "Российский морской регистр судоходства"

Российский морской регистр судоходства
Журнал
«Научно-технический сборник
Российского морского регистра судоходства»
вып. 46/47

Редакционная коллегия журнала

Ответственные за выпуск: *А.В. Зухарь, М.Р. Маркушина*
Редактор *А.В. Спиленко*
Компьютерная верстка *С.С. Лазарева*
Дизайн концепции *М.В. Батракова*

Подписано в печать 05.06.17. Формат 60 × 84/8
Усл. печ. л.: 15,8. Уч.-издл.: 15,5. Тираж 200

Российский морской регистр судоходства
191186, Санкт-Петербург, Дворцовая набережная, 8
www.rs-class.org/ru/