

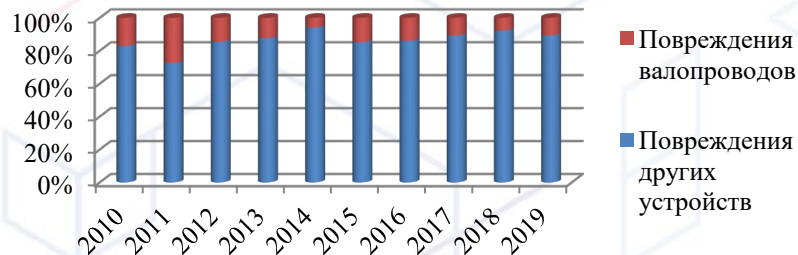
Телеметрический комплекс технического диагностирования судового валопровода: мониторинг, прогнозирование отказов и повышение безопасности мореплавания

Кушнер Гурий Алексеевич
ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет»

17 сентября 2026 г.

1. Государственная программа Российской Федерации «Развитие судостроения и техники для освоения шельфовых месторождений на 2013 - 2030 годы» посвящена созданию опережающего научно - технического задела и технологий, необходимых для создания перспективной морской и речной техники
2. Практика эксплуатации судов показывает, что случаи поломок элементов валопровода составляют немалую часть от общего числа аварий судов, приводящих к существенным экономическим, а иногда и человеческим потерям. Причиной поломок часто становится снижение циклической прочности, вызванной различными видами колебаний валопровода

Статистика отказов



Ремонты судов в эксплуатации



Дефекты, выявленные при ремонтах



На основе данных РКО, РМРС и анализа судоремонтных ведомостей с 2010 г.

Примеры отказов и повреждений валопроводов



Трещина вала и дейдвудной трубы,
отрыв кронштейна гребного вала
пр. 191 т/х Арбат



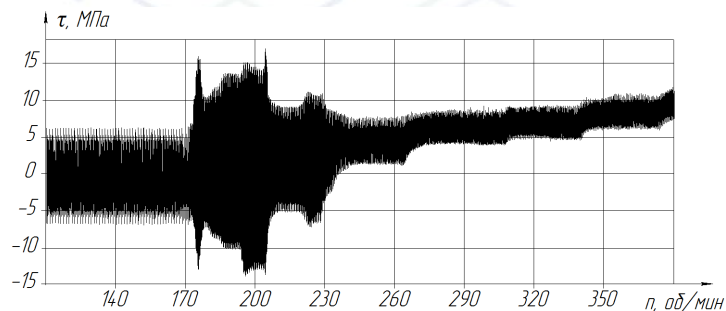
пр. 92-040, тип Амур



пр. 1810двт, тип Морской



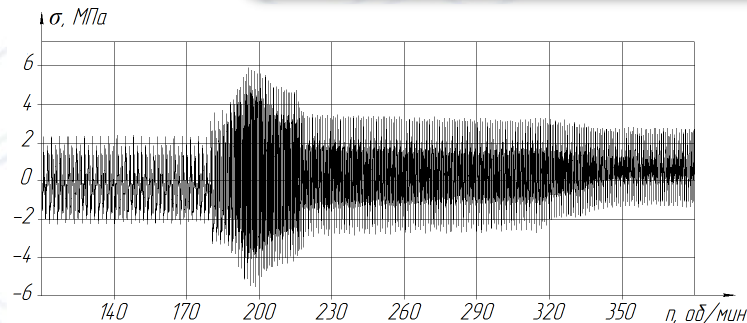
пр. 17437, тип Омский



Тензограмма крутильных колебаний
буксира «Гризли»



Измерения колебаний аккредитованным РМРС
комплексом Astech Electronics
ИЦ «MTS» ФГБОУ ВО «АГТУ»



Тензограмма поперечных колебаний
буксира «Гризли»

Результаты экспериментального исследования показывают, что поперечные колебания составляют существенную долю (порядка 30%) в совместном влиянии колебаний на циклическую прочность судовых валов. Установлено наличие области динамической неустойчивости как крутильных, так и поперечных колебаний при одной рабочей частоте вращения вала, что говорит о необходимости дальнейшего изучения совместного влияния колебаний на работоспособность судового валопровода.

Цель исследования - разработка основ повышения надежности судовых МДК на основе измерений параметров парциальных и связанных колебаний валопроводов в условиях импортозамещения

Задачи исследования:

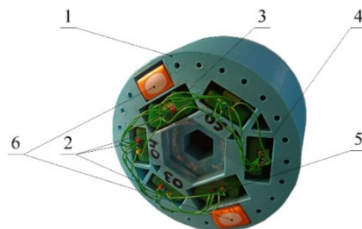
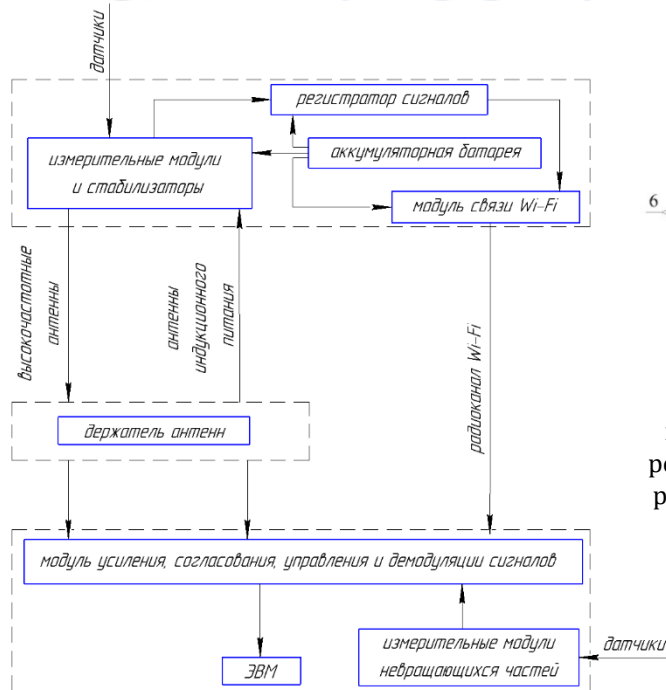
1. Спроектировать и изготовить экспериментальную установку и провести экспериментальные и теоретические исследования.
2. Разработать методику регистрации параметров связанных колебаний судовых валопроводов.
3. Создать прототип устройства для регистрации параметров колебаний в режиме реального времени.
4. Провести опытные испытания по изучению уровня влияния факторов на возникновение резонансов различных видов колебаний.

Основание для разработки:

1. Грант по конкурсу «Разработка системы диагностики фактического состояния и прогнозирования отказов валопровода судна» №15273ГУ/2020 Фонда содействия инновациям, 2020 г.
2. Государственные задания на выполнение НИОКР по заказу Федерального агентства по рыболовству, 2022, 2023, 2024, 2025 гг.
3. Договор на выполнение научно-исследовательской работы «Разработка программно-аппаратного комплекса для регистрации параметров колебаний гребного вала многоцелевого судна проекта FPW1», 2025 г.

► Конструкция прототипа устройства

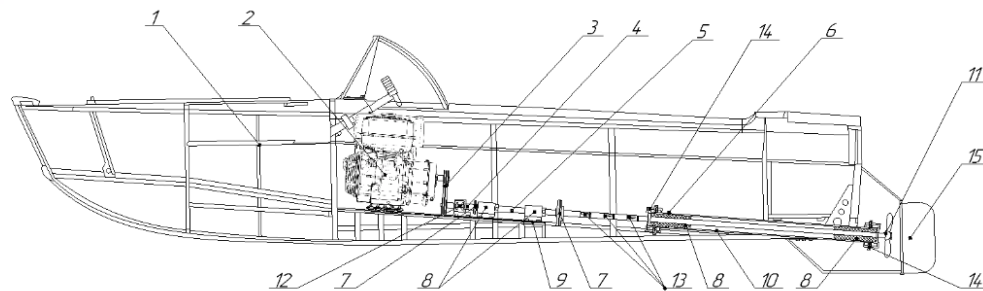
Система диагностики фактического состояния и прогнозирования отказов валопровода судна представляет собой программно-аппаратный комплекс, который укрупненно состоит из вращающейся вместе с валом (первичные преобразователи, измерительный и статорный блоки) и стационарной (блок приема и регистрации, питание) частей. Информация о колебаниях и деформациях вала передается при помощи радиосвязи антенными системами и проходит обработку, на основе которой делается заключение о работоспособности.



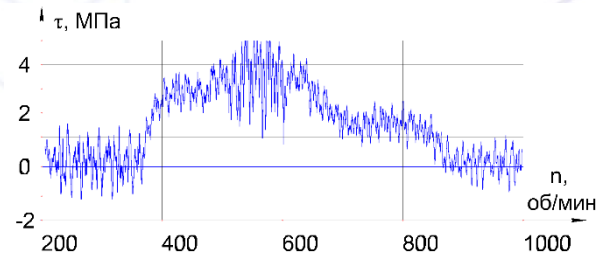
Коммутация основных блоков:
1 – корпус; 2 – измерительные модули для тензодатчиков; 3 – регистратор сигналов; 4 – модуль радиосвязи; 5 – преобразователь интерфейса; 6 – батареи

Параметр	Значение
Цифровой тензодатчик мостовой схемы	
Измеряемая физическая величина	Деформация, напряжение, крутящий момент
Диапазон измерений сигналов от тензорезисторов, мВ/В	от -7 до 7
Порог чувствительности, мВ/В	0,0001
Абсолютная погрешность измерений, %	0,05
Относительная погрешность измерений, %	0,05
Температурная погрешность измерений, % / 10°C	0,05
Погрешность дрейфа нуля, %	0,05
Выходное питание на тензорезисторы, ед. изм	3 В; 1250 Гц; 10 мА
Частота обновления данных, Гц	до 1250

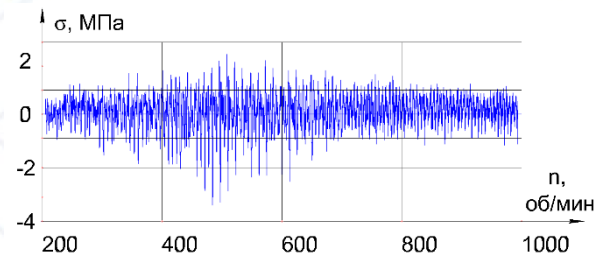
Экспериментальное маломерное судно



1 – корпус маломерного судна; 2 – поршневой ДВС; 3 клиноременная передача; 4 – упорный вал; 5 – промежуточный вал; 6 – гребной вал; 7 – фланцевые соединения; 8 – подвижные опоры; 9 – фундамент; 10 – дейдвудная труба; 11 – гребной винт; 12 – упорный подшипник; 13 – измерительная аппаратура; 14 – уплотнения гребного вала; 15 – рулевое устройство

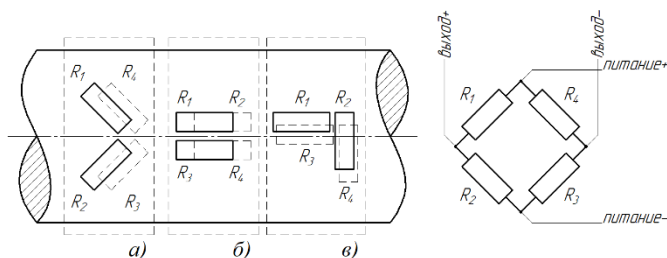


Тензограмма крутильных колебаний

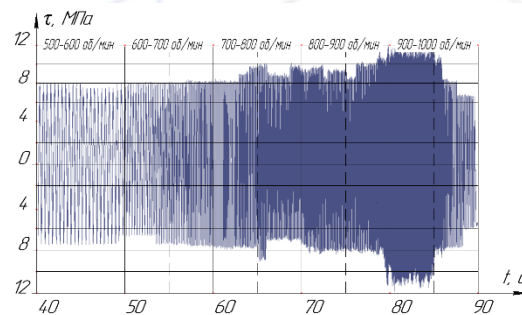


Тензограмма поперечных колебаний

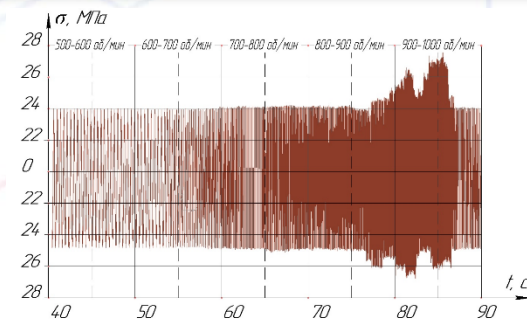
Методика и результаты измерений



Мостовая схема
коммутации
резисторов



Тензограмма крутильных колебаний

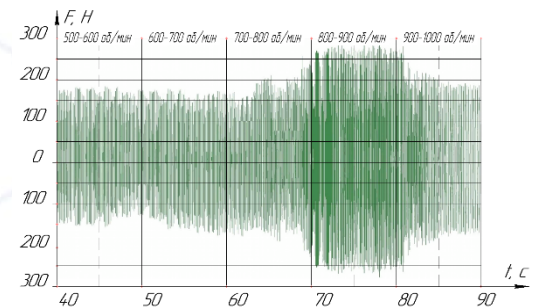


Тензограмма поперечных колебаний

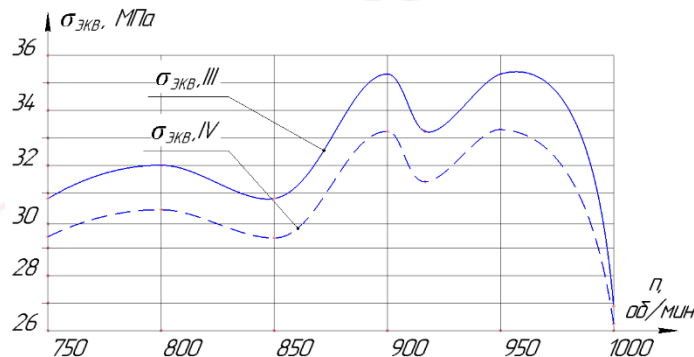
При частоте вращения около 950 об/мин значения касательных и нормальных напряжений достигали своих максимальных значений. Результаты проведенного эксперимента также показали, что напряжения, обусловленные изгибом вала при поперечных колебаниях, достигали 27 МПа. Касательные напряжения при крутильных колебаниях не превышали 12 МПа. Таким образом, на одном участке нормальные напряжения составили порядка 74% в совместном влиянии колебаний на циклическую прочность гребного вала.



Монтаж резисторов
на вал



Тензограмма осевых колебаний



Развитие эквивалентных напряжений:

$\sigma_{\text{экв,III}}$ - в соответствии с третьей теорией прочности;

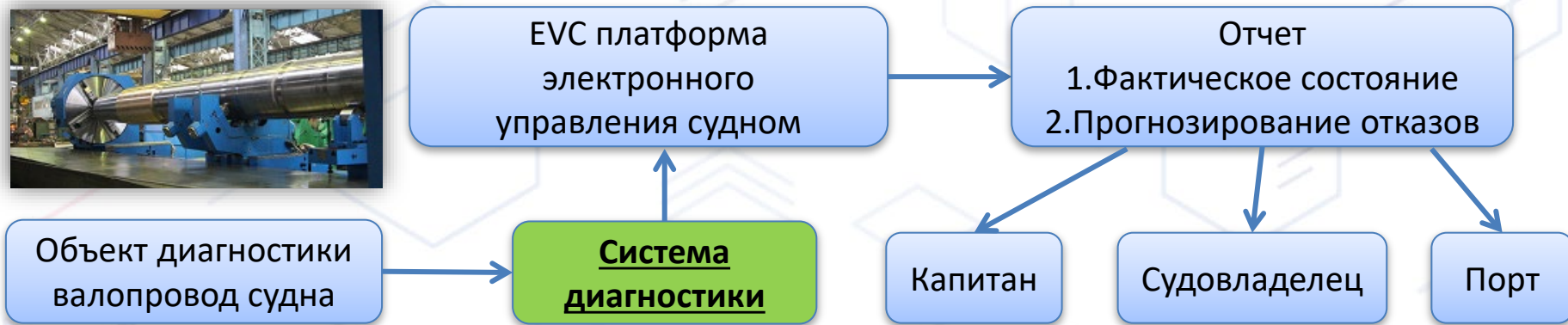
$\sigma_{\text{экв,IV}}$ - в соответствии с четвертой теорией прочности

Проведенные работы позволили:

1. Провести компоновку электронных компонентов и усовершенствовать специализированный программно-аппаратный комплекс. Полученный измерительный комплекс отвечает требованиям для регистрации крутильных колебаний, а также адаптирован к регистрации параметров поперечных и осевых колебаний в режиме реального времени.
2. Спроектировать и построить экспериментальное маломерное судно, конструкция которого обеспечивает возможность проведения исследований влияния различных факторов на параметры крутильных, осевых и поперечных колебаний валопровода.
3. Экспериментально подтвердить возможность возникновения связанных колебаний на определенных частотах вращения валопровода.

▶ Перспективы внедрения разработки

Предлагается решение задачи повышения надежности судовых энергетических установок путём разработки и внедрения на судах системы диагностики, основанной на методе динамического тензометрирования



Компоненты системы:

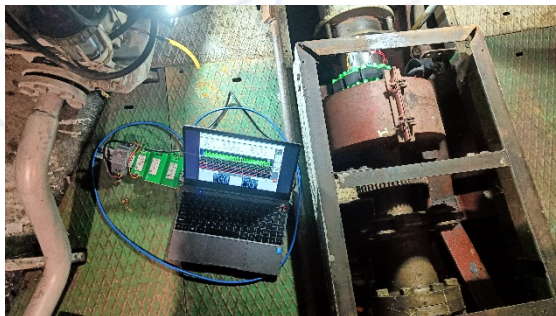
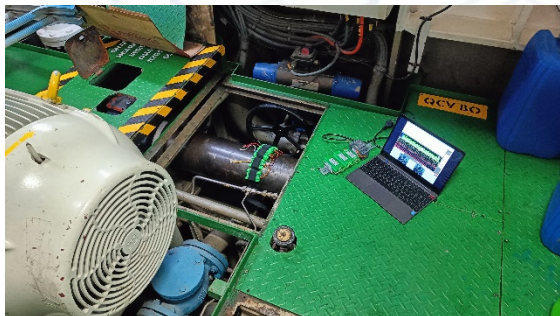
1. Устройство для регистрации колебаний (*аппаратная часть*)
2. Информационная система (*программная часть*)

Преимущества:

1. Техническое диагностирование в режиме реального времени
2. Прогнозирование разрушений от превышения циклической прочности

Основа метода - одновременная регистрация системой диагностики параметров напряженно-деформированного состояния валопровода: крутильных, поперечных, осевых колебаний и вибрации по осям

Экономический ущерб при отказе валопровода и простое судна превышает 1 млн. рублей для небольших судов и достигает 10 млн. рублей для нефтеналивных. Внедренная в энергоустановку судна, система позволит предотвратить поломку валопровода



Испытания программно-аппаратного комплекса на т/х «Урай»

Применение в процессе швартовых испытаний т/х «Рыбовод Александр Мещеряков» пр.70270

Получено принципиальное одобрение Российского Морского Регистра Судоходства – 2026 г.


МИНТРАНС РОССИИ
Федеральное
автоматическое учреждение
РОССИЙСКИЙ МОРСКОЙ РЕГИСТР
СУДОХОДСТВА
(ФАУ «РМРС»)
ул. Миллионная, д. 7, литера А,
Санкт-Петербург, 191186
тел: 8 (800) 333-99-99, факс: (812) 314-10-57
pobox@rs-class.org, www.rs-class.org
11.08.2026 № 322-06-156695
6/н от 27.07.2026
Рассмотрение эскизного проекта
"Телеметрический комплекс
технического диагностирования
судового валопровода"

Ректору университета
Федеральное государственное
бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
"Астраханский государственный
технический университет"
Неваленному А.Н.
rector@astu.org

Россия, 414056 Астраханская обл.,
Астрахань, ул. Татищева, стр.16/1

Уважаемый Александр Николаевич!

В рамках оказания услуги принципиального одобрения («Approval in principle» (AIP)) по заявке № 2631153 от 28.07.2026 Главным управлением Российского морского регистра судоходства рассмотрена следующая документация:

- Телеметрический комплекс технического диагностирования судового валопровода. Пояснительная записка.

Документация рассмотрена на соответствие следующим Правилам РС:

- Правила Классификации и постройки морских судов (далее Правила РС/К), часть VII «Механические установки», часть XI «Электрическое оборудование», часть XV «Автоматизация», часть XXI «Киберустойчивость»;
- Правила технического наблюдения за постройкой судов и изготовлением материалов и изделий для судов, часть IV «Техническое наблюдение за изготовлением изделий», 2026;
- Правила технического наблюдения за судами в эксплуатации, 2026.

Примечание: Документация не рассматривалась на соответствие требованиям иных нормативных документов, кроме перечисленных.

По результатам рассмотрения, комплект документации эскизного проекта получает принципиальное одобрение.

В документе нашли отражение передовые методы тензометрии, современные цифровые интерфейсы (CAN, радиоканал), интеллектуальные алгоритмы обработки

Благодарю за внимание!

По вопросам взаимодействия:

+79064581162

guriy.kushner@mail.ru

Кушнер Гурий Алексеевич

ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет»