

INSTITUTE OF PROBLEMS OF MECHANICAL ENGINEERING  
OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES  
ST. PETERSBURG

# Лаборатория "Методы и средства измерений"

Заведующий лабораторией,  
д-р техн. наук, профессор  
**Ефремов Леонид Владимирович**  
Сл. ☎(812) - 3214779 ☒ [lvlefr@gmail.com](mailto:lvlefr@gmail.com)

---



## 1. Основные направления работы лаборатории

Лаборатория «Методы и средства измерений» - подразделение Института проблем машиноведения РАН, было создано в 1987 году для решения актуальной проблемы повышения качества машин путем совершенствования инструментальных способов контроля технического состояния машин и технологических процессов на всех стадиях их жизненного цикла.

В последнее десятилетие сотрудники лаборатории выполняли исследования по таким направлениям:

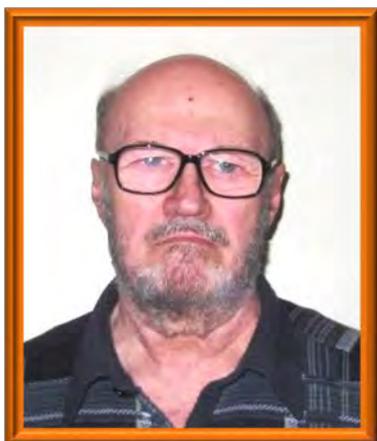
1. Моделирование и прогнозирование процессов деградации технического состояния машин и их элементов,
2. Совершенствование инструментальных методов и средств измерений состояния объектов машиностроения.
3. Развитие вероятностных методов контроля и прогнозирования точности и надежности машин и приборов.

С 2011 года госбюджетная НИР по указанным направлениям проводится под названием "Методы и средства прогнозирования и контроля процессов деградации состояний машин и приборов" с регистрационным номером 01201154288.

Кроме того, лаборатория выполняла работы по хозяйственным и в порядке творческого сотрудничества на основе результатов теоретических госбюджетных исследований. Результаты всех работ опубликованы в трудах (статьях, докладах, книгах) сотрудников лаборатории.

Кроме основных научных исследований сотрудники лаборатории обеспечивают работу (с периодичностью два года) сессий международной школы памяти В.П. Булатова, издают труды по указанным направлениям исследований, а так же ведут подготовку специалистов высшей квалификации в Вузах.

## 2. Сотрудники лаборатории



**Ефремов Леонид Владимирович.** Заведующий лабораторией (с сентября 2000 года), доктор технических наук, профессор. Автор более 230 печатных трудов, включая монографии, статьи, изобретения. Является организатором работы подразделения и основным исполнителем работ по тематике всех направлений деятельности лаборатории. Известный специалист в области вероятностной оценки, прогнозирования и обеспечения надежности машин, динамической прочности и долговечности деталей, крутильных колебаний валов и др. Имеет большой опыт компьютерного программирования. Член двух диссертационных советов, ведет преподавательскую работу в Вузах, включая подготов-

ку аспирантов и участие в работе государственных аттестационных комиссий ряда Вузов. Имеет сайт в интернете по адресу <http://www.levlefre.narod.ru/>



**Мусалимов Виктор Михайлович.** Главный научный сотрудник, доктор технических наук, профессор. Автор более 230 печатных трудов, включая монографии, статьи, изобретения. Ведет работы по первому направлению в части экспериментально-аналитических исследований деградации состояния узлов трения машин и приборов. Специалист в области исследований теории катастроф, трибология и теория упругости. Является профессором кафедры «Мехатроника» и членом диссертационного совета СПб ГУИТМО и ИПМаш РАН. Ведет подготовку аспирантов.



**Овчаренко Игорь Евгеньевич.** Старший научный сотрудник, кандидат физико-математических наук. Автор более 70 печатных трудов. Ответственный исполнитель по третьему направлению работ в части математических исследований вероятностных закономерностей в теории точности. Основные научные интересы – исследования законов распределений показателей точности в моделях технологических процессов с использованием моментных методов исследований. Выполняет задания по организации информационных форумов (школы точности) и изданию трудов лаборатории.



**Коверкин Юрий Борисович.** Старший научный сотрудник, кандидат технических наук. Автор более 60 трудов, включая статьи, изобретения. Ответственный исполнитель работ по второму направлению работ. Является сотрудником лаборатории, который проработал в лаборатории более 25 лет и сохраняет традиции ее работы в области метрологии и совершенствования средств измерений. Выполняет расчетно-экспериментальные исследования по созданию бесконтактного метода измерений кручения и разрушения валов. Обеспечивает сотрудничество лаборатории с промышленными предприятиями.

**До 2005 года в лаборатории так же работали:** главный научный сотрудник, доктор физико-математических наук, профессор Политехнического университета **Шевляков Григорий Леонидович**, старший научный сотрудник, кандидат физико-математических наук **Проурзин Владимир Аркадьевич**, старший научный сотрудник, кандидат технических наук **Губанов Николай Николаевич**, старший научный сотрудник, кандидат технических наук **Новиков Петр Иванович**, научный советник, доктор технических наук **Мацевич Эдуарт Владимирович** (1939 - 2002), научный советник **Фридлиндер Израиль Григорьевич**, который внес особый вклад в создание основ теории точности (1910-2000).

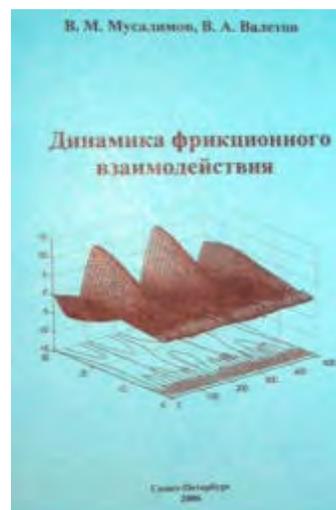
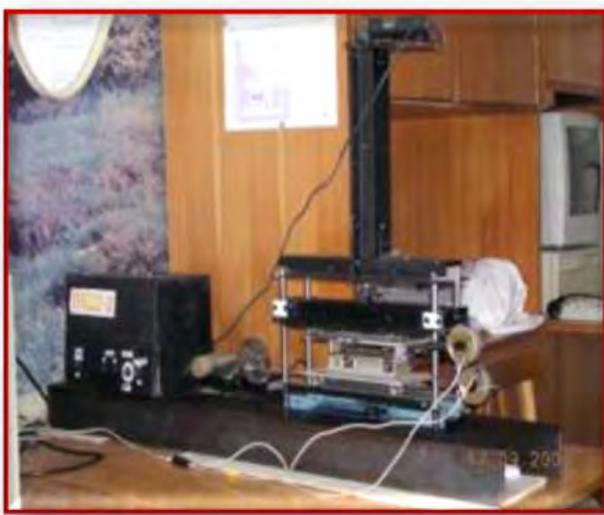
Педагогическая работа по подготовке кадров высшей квалификации проводится профессорами лаборатории на основе сотрудничества с родственными Вузами (ПИ-МАШ, Мурманский ГТУ, СПбГУИТМО, СПб ГПУ и др.).

### 3. Основные результаты госбюджетных научно-исследовательских работ

#### 3.1. Моделирование и прогнозирование процессов деградации технического состояния машин и их элементов

Исследования по этому направлению выполнялись с целью обеспечения требуемой долговечности (сроков службы и ресурса) элементов машин в условиях действия динамических и других нагрузок. Тематика имеет прямое отношение к методам измерений, поскольку связана с оценкой сроков проведения и выбора средств измерений. К таким исследованиям относятся следующие разработки лаборатории:

##### 3.1.1. Исследование бифуркационных эффектов в динамических задачах для длинномерных трибологических пар (Исп. Мусалимов В.М.).



На основе разработанных программ установлены зависимости плотности распределения характеристик функционирования трибологических пар от траектории движения кинематических элементов. Создан рабочий макет установки для трибологических испытаний длинномерных элементов конструкций. Получен патент на изобретение этого стенда "Трибал". Были использованы технологии мехатроники для регистрации, обработки и анализа трибологических процессов. Это позволило установить динамические характеристики и усовершенствовать методы контроля качества притирки поверхностей деталей. Доказана возможность раздельного изучения процессов изнашивания и трения. Работа выполнялась в сотрудничестве с кафедрой мехатроники СПб ГУИТМО. Результаты исследований обобщены в монографии В.М. Мусалимов, В.А. Валетов "Динамика фрикционного взаимодействия" (СПб НИУ ИТМО).

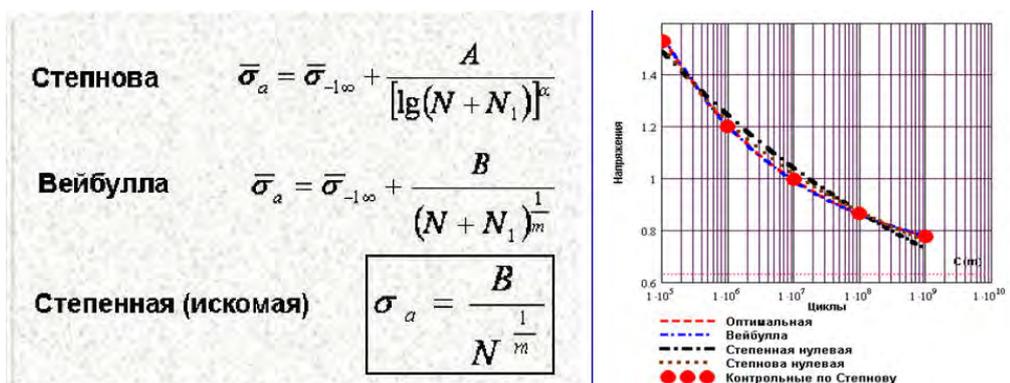
### 3.1.2. Разработка методов и программ прогнозирования и оценки долговечности машин на основе вероятностного моделирования процессов деградации их элементов (Исп. Ефремов Л.В.).

Решались следующие задачи.



Обоснована методика оценки ресурсов машин путем расчета и анализа гамма – процентных ресурсов для основных деградационных процессов деталей и узлов. Установлены допустимые вероятности «гамма» с учетом последствий потенциальных отказов для этих процессов. Предложены и апробированы новые алгоритмы и компьютерные программы для эмпирических распределений по цензурированным и нецензурированным выборкам с последующим расчетом параметров теоретических распределений. Особо изучены распределения Вейбулла и логнормальное. Предложено новое оригинальное логарифмически равномерное распределение. Разработан ряд вероятностных моделей развития процессов деградации (типа «Вер», «Тренд», «Усталость» и др.). Составлены алгоритмы прогнозирования остаточных ресурсов при диагностировании машин. Основные результаты исследований в этой области опубликованы десятках статей и обобщены в монографии Л.В. Ефремова "Практика вероятностного анализа надежности ....", которая издана в издательстве "Наука" в 2008 году.

В частности выполнено исследование свойств логнормальной модели долговечности. Доказана правомерность широкого применения логнормальной модели усталостной долговечности для кривой усталости без надлома с нулевой асимптотой.



Обоснование этой модели дано в ряде публикаций, включая статью: Ефремов Л.В. Проблемы прогнозирования долговечности деталей машин в вероятностном аспекте в журнале РАН "Проблемы машиностроения и надежности машин, № 5, 2004".

### 3.1.3. Обоснование алгоритмов и программ для оценки допускаемых напряжений от крутильных колебаний коленчатых валов дизелей (Исп. Ефремов Л.В.).

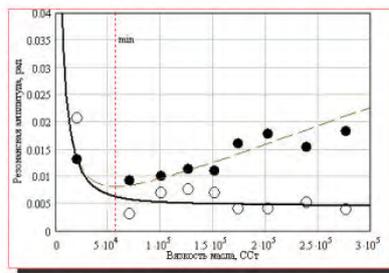
Разработаны алгоритмы и программы для оценки и анализа влияния конструктивно-технологических факторов (радиус галтели, перекрытие шеек коленчатого вала, свойств материала, применение упрочняющих технологий и пр.) на допускае-

мые напряжения от крутильных колебаний коленчатого вала судового двигателя. При программировании использовались методы аппроксимации аналитических и табулированных функций, применяемых в методиках Кер-Вильсона, ЦНИИ им. Академика А.Н. Крылова и ГОСТ 25.504-82. В рамках этого исследования были созданы новые алгоритмы и программы в редакторе MATHCAD для расчета набегających моментов и напряжений кручения в коленчатых валах дизелей с использованием прямого и обратного преобразования Фурье. Особенностью предложенного метода является введение и обоснование коэффициента запаса долговечности детали, учитывающую ее рабочую наработку  $10^9$  и более циклов по кривой усталости без надлома при нулевой асимптоте. Эти исследования позволили обосновать новые формулы для Правил Регистра судоходства, которые приняты к внедрению.

$$\tau_1 = \frac{R_m + 100}{10,858 C_{квс} \sqrt[5]{\frac{n}{n_p}}}$$

$$C_{квс} = \left[ \frac{2 + \frac{0,305}{\sqrt{\rho(1+3,6\rho)}}}{1 + \left(\frac{\rho^{-1} + 1,74}{0,031 d^2}\right)^{(0,3 - 0,00015 R_m)}} + \lg\left(\frac{R_m}{200}\right) \frac{\lg(R_z)}{8} \right] \frac{1}{K_{мпр} K_d}$$

### 3.1.4. Исследование диагностической модели фрикционного поглотителя колебаний на примере силиконового демпфера крутильных колебаний (Исп. Ефремов Л.В., аспирант Сергеев К.О.).



Зависимость коэффициента затухания поглотителя от присоединенной доли его массы  $\rho$

$$CC(\rho) = \frac{m K \left[ 2\mu(2\rho - 1) - \mu^2 + \sqrt{4\mu \left[ \mu - \mu^2 [2\rho(2\rho - 1) - 1] + \mu^4 \right]} \right]}{4(1 - \rho) \left[ 1 + \mu(\rho + 1) + \mu^2 \rho \right]} \quad (6)$$

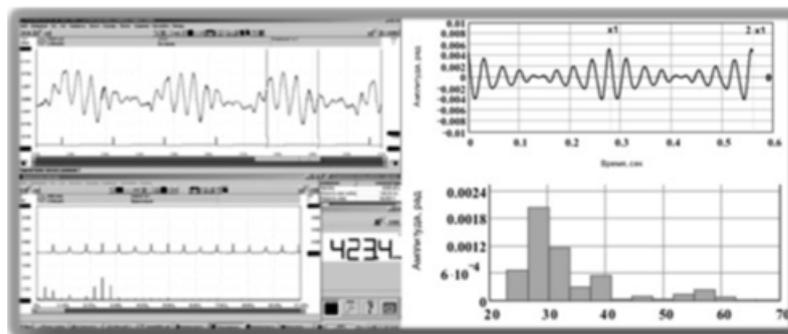
Эти исследования позволили впервые обосновать зависимость коэффициента затухания в зазоре между корпусом и массой поглотителя от доли присоединенной массы поглотителя с учетом вязкости силиконовой жидкости. Для обоснования модели проведены уникальные испытания специально созданного стенда и аналитические исследования в математической среде MATHCAD. Обоснованные закономерности позволяют объяснить зависимость надежности демпфера от режима его использования, уточнить методику проведения работ по диагностированию и предложить методику расчета стенда для испытаний демпферов. Работа выполнялась при участии аспиранта из Мурманского ГТУ Сергеева К.О., который успешно защитил диссертацию по этой теме в 2005 году

### **3.1.5. Обоснование новых методов и программ расчета крутильных колебаний судовых силовых установок (Исп. Ефремов Л.В.).**

Актуальность этих исследований обусловлена необходимостью создания для Морского регистра судоходства программного обеспечения в современных математических средах для экспертизы зарубежных отчетов с результатами исследований крутильных колебаний методами, которые отличаются от методов, принятых в отечественном судостроении. Были разработаны и сопоставлены между собой универсальные программы как для отечественного метода «цепных дробей» В.П. Терских, так и для классического метода Хольцера. Особое внимание было уделено учету демпфирования в элементах системы при оценке амплитуд колебаний. Поверочные расчеты валопроводов судов различного назначения подтвердили достоверность разработанных алгоритмов и программ при расчетах крутильных колебаний не только для традиционных установок с дизельным приводом, но и для новых установок с электрическим приводом. Это позволило выявить особенности развития крутильных колебаний таких современных устройств как, например, винто – рулевые колонки

В частности целью повышения достоверности измерений крутильных колебаний за счет отсеивания полезного сигнала от помех были созданы методика и программа построения эталонных теоретических торсиограмм и спектрограмм для всего рабочего диапазона оборотов.

Торсиограмма и спектрограмма



Опытная

Теоретическая



Основные результаты исследований в области крутильных колебаний обобщены в монографии Ефремов Л.В. Теория и практика исследования крутильных колебаний силовых установок с применением компьютерных установок, которая издана в издательстве "Наука" в 2007 году.

## **3.2. Совершенствование инструментальных методов и средств измерений состояния машин и механизмов**

Выполняемые работы по совершенствованию методов и средств измерений посвящены бесконтактным способам измерений напряжений в валах с целью повышения достоверности их результатов. Далее будут показаны две работы по этой проблеме.

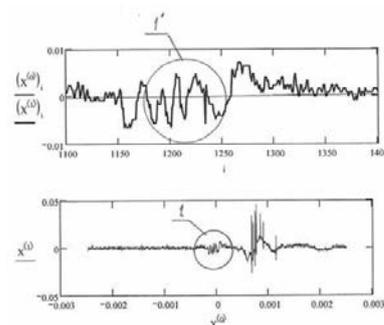
### **3.2.1. Разработка бесконтактного способа измерений деформаций при кручении валов (Исполнитель Коверкин Ю.Б.)**

Данная работа была направлена на создание нового метода измерения деформаций кручения валов на основе эффекта Видемана. В отчетный период был изготовлен стенд для проверки этого эффекта. Исследования подтвердили гипотезу о возникновении тока в соленоиде при деформации стального стержня под воздействием статического крутящего момента, пропорционального перемещению конца рычага). Обработка экспериментальных данных позволила выявить характер изменения регистрируемого напряжения в зависимости от несущей частоты и силы тока и сделать вывод о возможности его использования для измерений не только статических, переменных напряжений скручивания валов.



**Стенды для испытаний бесконтактного способа измерений скручивания вала**

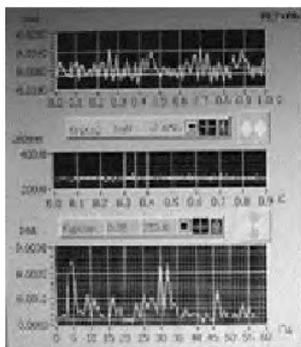
В результате дальнейших экспериментальных исследований была разработана его математическая модель. Результатом стендовых испытаний макета нового устройства явился патент № 2269104 от 26 января 2006 г «Устройство определения напряжения, пропорционального крутящему моменту вала» (Авторы Ефремов Л.В., Коверкин Ю.Б., Губанов Н.Н., Юдин Ю.В и Чиков К.Н.) Накопленный опыт позволил перейти к решению другой задачи об оценке скорости развития трещины при разрушении детали. Для этого был разработан способ записи этого процесса на основе приема мерцания отраженного луча от вращающейся ленты с нанесенными на нее черно-белыми полосками. Результаты записи этого процесса приведен на рисунке.



### **3.2.2. Исследование источников помех при использовании торсиографа с оптическим датчиком "СКАН" (Исп. Ефремов Л.В., аспирант Кудрявцев М.В.)**

При измерении крутильных колебаний валопроводов во всем мире широко применяются специализированные конвертеры (демодуляторы "частота-напряжение") с оптическими или электромагнитными датчиками. Запись данных на компьютер через АЦП и их анализ позволяют выполнять фильтрацию колебаний от некоторых искажений, производить спектральный (порядковый) анализ и многое другое. Однако опыт использования таких средств выявил различные помехи, снижающие

достоверность измерений. Для определения источников и разработки способов устранения этих помех выполнялся анализ результатов торсиографирования ряда судов с использованием аппаратуры "СКАН" (поставщик ЦНИИМФ). Затем были проведены сравнительные стендовые испытания этого оптического прибора и торсиографа ЦНИИ Крылова. Испытания проведены сотрудниками лаборатории и аспирантами проф. Ефремова Л.В. (Кудрявцев М.В. и Сергеев К.О) на кафедре ДВС в Мурманском ГТУ



Торсиограмма и спектрограмма записи колебаний с помехами



Стенд для сравнительных испытаний торсиографов СКАН и ЦНИИ Крылова



Компьютерный комплекс регистрации и обработки записи крутильных колебаний

В результате исследований были разработаны конструктивные, технологические и эксплуатационные меры по повышению качества записи крутильных колебаний прибором СКАН. По данной теме был опубликован ряд статей в журналах и докладов на конференциях.

### 3.3. Развитие вероятностных методов контроля и прогнозирования точности и надежности средств измерений

#### 3.3.1. Математические аспекты теории точности (Исп. Овчаренко И.Е.)



Выполнен анализ современного состояния и основных положений статистических методов обработки информации с целью решения перспективных задач теории точности. В процессе выполнения работ был исследован генез и эволюция законов распределений показателей точности в моделях технологических процессов. Построены алгоритмы энтропийных характеристик распределения выходного показателя точности. В случае важных для практики моделей финитных распределений оценка квантильной функции, основанные на обобщенных многочленах Бернштейна, Разработана стохастическая модель, позволяющая получить количественные значения вероятностных параметров результатов измерений. В качестве применений рассматривается проблема измерения интенсивности стохастической электромагнитной волны по статистике дискретных значений фототока. Исследовано соотношения неопределённостей для обобщённого преобразования Фурье. Рассматривались вопросы моделирования неопределённостей при измерениях с применением обобщённых соотношений Шрёдингера-Робертсона при их эволюции во времени. Эта проблема особо актуальна при исследовании квантово

оптических эффектов и измерении непрерывных величин посредством регистрации дискретных сигналов.

### **3.3.2. Разработка алгоритмов и программ вероятностной оценки метрологической надежности средств измерений (Исп. Ефремов Л.В.)**

В результате анализа существующих методов поверки разных приборов, была сформулирована и решена проблема контроля метрологической надежности средств измерений на основе нового критерия, названного запасом метрологической надежности (ЗМН). Этот критерий определяется по квантилю двухпараметрического распределения Гаусса для вероятности не достижения предела погрешности измерений. Обоснованы нормы этого показателя для приборов разного назначения. Создано полное программное обеспечение методики оценки и нормирования сроков первичных и периодических поверок приборов, гарантирующее их безотказную работу при эксплуатации. Приоритет введения и обоснование указанного понятия защищен опубликованием трех статей в журнале "Приборостроение" в 2010 году. По результатам этого трудоемкого исследования была написана и издана в издательстве "Нестор-История" монография: Ефремов Л.В. Вероятностная оценка метрологической надежности средств измерений: алгоритмы и программы.



Для более глубокого обоснования концепции применения ЗМН было выполнено оригинальное исследование проблемы учёта случайных и систематических погрешностей в прямых многократных измерениях (журнал "Мир измерений", № 10 в 2012 году).

В развитие основных положений предложенной концепции последующее внимание уделяется разработке алгоритмов ускоренных ресурсных испытаний средств измерений. Создаются специальные стенды для проведения таких исследований

## **4. Некоторые результаты исследований по хоздоговорам и договорам о творческом сотрудничестве**

### **4.1. Хоздоговорные научно-исследовательские работы**

В период с 2000 по 2011 год лабораторией было оказано возмездных услуг (далее - хоздоговорные НИР) по шести темам на общую сумму 486200 рублей. Заказчиками этих работ являлись Российский Морской Регистр Судоходства (далее Регистр) и его филиалы. Все работы были направлены на совершенствование правил Регистра в части расчетно-экспериментальных исследований крутильных колебаний судовых валопроводов. Поручение Регистра на выполнение указанных работ именно нашему институту была связана с признанным авторитетом и

большим опытом сотрудников лаборатории в этой области науки о динамике машин.

Все указанные работы выполнялись в порядке внедрения теоретических исследований по п. 3.3 - 3.5 вне основного рабочего времени на персональных компьютерах исполнителей. Перечень тем хоздоговорных НИР приведен в таблице.

Год	Шифр и Заказчик	Тема	тыс. руб.
2001	РС - 1/2001 Российский Морской Регистр Судоходства	<i>Разработка программного обеспечения оценки технического состояния и остаточного ресурса демпферов крутильных колебаний судовых ДВС.</i>	30
2002	№ РС 38/2002 Российский Морской Регистр Судоходства	Разработка предложений по совершенствованию требований Правил РС и унифицированных требований МАКО в части определения допускаемых напряжений от крутильных колебаний коленчатых валов ДВС	50
2003	РС - 39/2003 Государственное учреждение "Российский морской регистр судоходства"	Разработка формул для расчета допускаемых напряжений от крутильных колебаний коленчатых валов судовых дизелей с целью корректировки требований главы 8.2 части VII Правил РС	100
2005	№ РС- 27/2005 ФГУ «Российский морской регистр судоходства»	Разработка предложений по совершенствованию Правил РС и программного обеспечения для выполнения проверочных расчетов крутильных колебаний судовых валопроводов.	200
2007	№. РС -31/ 2007 Калининградский филиал ФГУ «Российский морской регистр судоходства»	Совершенствование программного комплекса для расчета крутильных колебаний с учетом расширения типовых схем установок и применения метода Хольцера	118
2009	№. РС – 25 / 2009 Дальневосточный филиал ФГУ «Российский морской регистр судоходства»	Совершенствованию правил РС в части организации измерений крутильных колебаний судовых энергетических установок»	106.2
		итого	486.2

#### **4.1.1. Результаты исследований по оценке технического состояния демпферов крутильных колебаний**

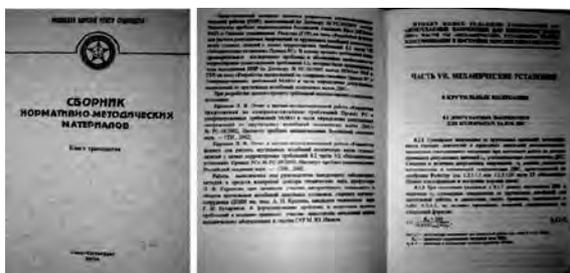
В результате исследований по теме РС - 41/2001 было разработано программное обеспечение для оценки технического состояния и остаточного ресурса демпферов крутильных колебаний судовых ДВС. Этот программный продукт был принят в качестве нормативного документа и распространен в его филиалах для объективной оценки работоспособности и остаточного ресурса демпферов по ре-

зультатам измерений крутильных колебаний. Он широко используется измерительными лабораториями нашей страны, поскольку повышает достоверность оценки технического состояния демпферов и принятия решения о допуске этого устройства к дальнейшей эксплуатации на срок, зависящий от отношения фактических и допустимых амплитуд. Версия программы распространяется в виде продукта в электронных таблицах EXCEL.

Оценка остаточного ресурса и технического состояния демпфера	
<b>Постоянные исходные данные</b>	
Заданный ресурс (если не известен, то 0)	час
Назначенный ресурс "Вакаинг"	30000 час
Допустимые напряжения	217 кг/см <sup>2</sup>
Эталонная нагрузка	150 кг/см <sup>2</sup>
Эталонная моторная частота	3103 кол/мин
Уровень надежности демпфера	1
Наработка за год	5200 час
Наработка за рейс	2900 час
Допустимое отклонение амплитуды	0,1
Допустимое отклонение частоты	0,05
<b>Результаты диагностирования</b>	
Фактическое напряжение	180 кг/см <sup>2</sup>
Фактическая частота	3100 кол/мин
<b>Определение коэффициентов</b>	
Отклонение частоты от нормы	0,999
Коэффициент учета надежности	2
Коэффициент учета амплитуды	0,4
Коэффициент учета частоты	1
<b>Оценка технического состояния</b>	
Остаточный ресурс	5937 часов
Число лет	1,1 лет
Число рейсов	2,1 рейсов
<b>Заключение</b>	
При нормальном уровне надежности	
Демпфер имеет удовлетворительное техническое состояние	
Момент инерции демпфера	не изменился при плохом его состоянии - проверить масло

На основе выполненного исследования была разработана Методика, оформленная как приложение 45 в нормативный документ Российского морского регистра судоходства (НД 2-030101-009 «ПРИЛОЖЕНИЯ К РУКОВОДСТВУ ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ НАДЗОРУ ЗА СУДАМИ В ЭКСПЛУАТАЦИИ изд. 2004 г.). Она содержит рекомендации по осуществлению надзора, определяет порядок проведения работ по контролю технического состояния (диагностированию)

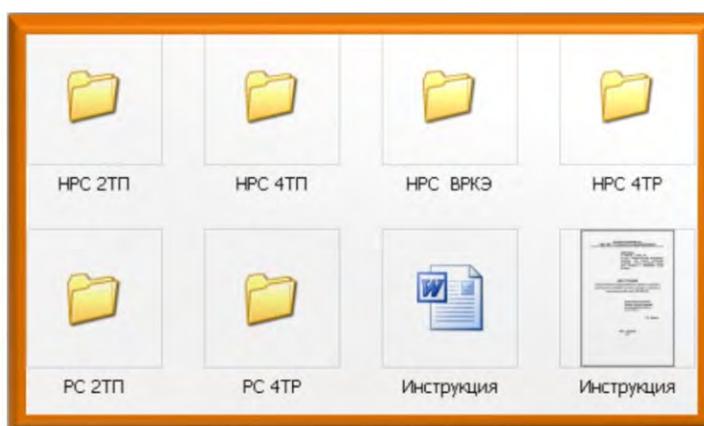
#### 4.1.2. Результаты обоснования методов расчета допускаемых напряжений коленчатых валов ДВС



В результате исследований по темам № РС - 38/2002 и РС - 39/2003 был разработан Проект новой редакции требований по пункту 8.2 правил о Допускаемых напряжениях при крутильных колебаниях коленчатых валов. Предлагаемая редакция раздела правил приведена в сборнике НМТ Российского морского регистра судоходства. (Книга тринадцатая, СПб. 2004). Методика расчета по формулам, приведенным в разделе 3.1.3, тщательно проверена на достоверность путем расчетов прочности коленчатых валов ряда судовых дизелей и позволяет более корректно оценивать опасность суммарных напряжения от крутильных колебаний.

#### 4.1.3 Создание программного комплекса расчета крутильных колебаний судовых энергетических установок при выполнении НИР по темам № РС-27/2005 и № РС- 31/2007

Программный комплекс создан в виде электронного издания на компакт-диске CD-R, который содержит шесть папок с файлами типовых программ для расчетов крутильных колебаний силовых установок разной степени сложности и подробную инструкцию по выполнению таких расчетов. Комплекс предназначен для проверки расчетов крутильных колебаний при экспертизе документации, разработанной иностранными фирмами с использованием собственных методик. Все программы написаны в математическом редакторе MATHCAD, файлы которого имеют расширение \*\*. mcd. Эти файлы размещены в шести папках, каждая из которых отражает особенности рассматриваемых в них типов систем силовых установок:



#### 4.2. Работы, выполненные в порядке творческого содружества со сторонними организациями и специалистами

##### 4.2.1. Введение

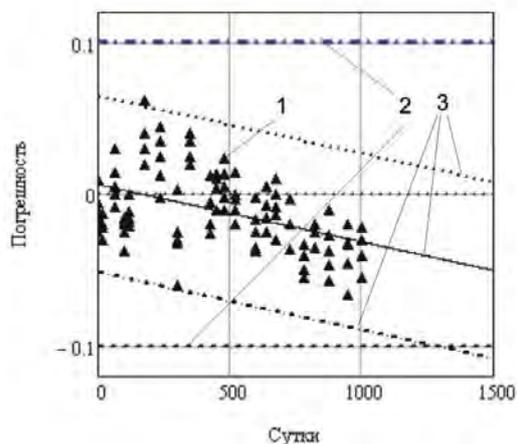
В период с 2000 по 2012 год сотрудники лаборатории оказывали квалифицированную помощь отдельным организациям и лицам на основании их обращений с просьбой дать квалифицированные консультации по тематике работы лаборатории. Одни вопросы поступали через сайт проф. Ефремова Л.В. [http://www.levlefre.narod.ru./](http://www.levlefre.narod.ru/), а другие - по рекомендациям знакомых специалистов. Далее приводятся сведения о некоторых из выполненных таким образом работ.

##### 4.2.2. Разработка программ для контроля времени аварийного сброса штанги в атомных реакторах с целью оценки срока службы пары трения.

Работа выполнялась по договору о творческом содружестве с ВНИИМ им. Д.И. Менделеева в 2004 году. Были разработаны и апробированы программы для расчета гамма - процентных ресурсов узлов трения при аварийном сбросе штанги. В основу методики положены теоретические разработки по п. 3.1.2. Результаты работы приведены в докладе

#### 4.2.3 Разработка методики обоснования межповерочных интервалов алкометров.

Работа выполнялась по договору о творческом содружестве с ВНИИМ им. Д.И. Менделеева в 2009 году. Даны консультации по разработке методики испытаний образцов приборов с целью обоснования межповерочных интервалов, которые бы гарантировали их безотказную работу после проведения очередных поверок. Для этого в научно-исследовательском отделе государственных эталонов в области физико-химических измерений были организованы испытания 6 образцов однотипных приборов при большом объеме выборок многократных измерений погрешности.



В результате уникальных испытаний и теоретических исследований был составлен проект методики и программ для решения поставленной задачи на основе методологии по п. 3.1.2. Результаты исследований докладывались на сессиях международной школы памяти В.П. Булатова и были опубликованы в ряде статей. Эта работа явилась импульсом для развития новой методологии на основе понятия о запасе метрологической надежности средств измерений по п. 3.3.2.

#### 4.2.4 Разработка рекомендаций по предотвращению поломок ступенчатых валов полиграфических машин в типографии ОАО «Текст»

Работа выполнялась по договору о творческом содружестве с типографией ОАО «Текст» с целью определения причин поломок валиков полиграфических машин. Использовалась методика вероятностного моделирования усталостных разрушений при изгибных колебаниях по п. 3.1.2. Эксплуатация модернизированного валика в течении полугодовой эксплуатации подтвердили расчеты гамма процентного ресурса по предложенной методике. Результаты исследований докладывались на сессиях международной школы памяти В.П. Булатова.

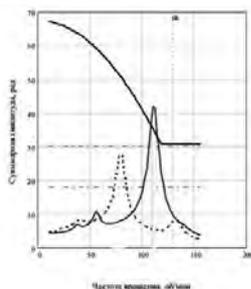
##### Случай поломки реставрированного валика полиграфической машины

Дата установки 20 февраля 2003 года. Дата поломки – 5 сентября 2003 года.  
Наработка – 6 мес. 10 дней более  $10^8$  циклов изгибной нагрузки в наиболее тяжелых условиях. Поломка – с внутренней стороны валика от фланца. Валик реставрирован без рекомендованного упрочнения методом накатки.



#### 4.2.4 Определение причин поломки демпферов крутильных колебаний главного двигателя транспортного рефрижератора "Памяти Кирова".

Расчетный анализ развития крутильных колебаний выполнен по просьбе предприятия ООО «МУРМАНТРАНСФЛОТ» с целью выяснения наиболее вероятных причин выхода из строя пружинных демпферов главного двигателя K5SZ70/125 V/BL TP «Памяти Кирова» типа «Кристалл – 2». Было доказано, что демпфер установлен с целью гашения недопустимых даже для быстрого прохода резонансных крутильных колебаний 5-го порядка одноузловой формы в районе  $92 \text{ мин}^{-1}$ , что однако привело к возникновению достаточно сильного резонанса 5-порядка двухузловой формы при  $111 \text{ мин}^{-1}$ , который представляет опасность именно для пружин демпфера из-за недопустимой их деформации. Расположение этого резонанса вблизи номинальных оборотов по вине проектантов судна в сочетании с рядом эксплуатационных факторов явилось причиной аварии.



#### 4.2.5 Консультации по проведению расчетно-экспериментальных исследований крутильных колебаний специалистами АНО "Стандарт-морепродукт" (Архангельск) и других организаций.

В период 2004-2012 г. давались консультации по составлению программ торсиографирования и расчету крутильных колебаний силовых установок ряда судов разных типов по мере поступления вопросов по электронной почте. Рекомендации давались на основании большого опыта исполнителей, обобщенного в книге по п. 3.1.5. По той же схеме выполнялись просьбы отправки книги по крутильным колебаниям (см. п. 3.1.5.) и по расчету надежности (см. п. 3.1.2.) в организации Владивостока, Николаева, Городца и др. городов.

#### 4.2.6. Расчетный анализ возможности замены упругих муфт немецкой конструкции на муфты, поставляемые ЗАО "Литмашдеталь" (г. Костерево Владимирской области) для силовых установок тракторов, бульдозеров, грейдеров и др. тяжелой техники.



На основании расчета крутильных колебаний по ограниченному данным силовых установок были даны рекомендации по корректировке динамических характеристик муфт LMD-Y-236-90 и обоснована возможность их безопасного применения при создании тяжелой

техники с двигателями ЯМЗ-536-10 При этом учитывались варианты аварийной работы двигателя с отключенным цилиндром.

Эта работа, во-первых, внесла определенный вклад в создание и внедрение современной отечественной тяжелой техники и, во-вторых, подтвердила универсаль-

ный характер методики расчета крутильных колебаний по книге в п. 3.1.5., которая изначально создавалась для судовых силовых установок.

## 5. Работа лаборатории по программе интеграции науки и высшей школы



Лаборатория большое внимание уделяет интеграции науки и высшей школы путем участия научных сотрудников лаборатории профессоров Ефремова Л.В. и Мусалимова В.М. в учебном процессе ряда Вузов страны (Мурманский ГТУ, Петербургский институт машиностроения (ПИ-МАШ), СПб НИУ ИТМО, СПб ГПУ и др.).

Следует отметить следующие направления педагогической работы

а. Использование в качестве учебных пособий своих трудов, например, монографии Ефремова Л.В. для обучения по дисциплинам «Основы научных исследований», «Основы теории надежности и диагностики», «Эксплуатация судовых ДВС», «Управление технической эксплуатацией флота», «Ремонт судовых машин и механизмов», «Техническая эксплуатация и надежность промышленного оборудования» и др.

Книги Мусалимова В.М. "Динамика фрикционного взаимодействия", "Механика деформируемого кабеля" и "Основы трибоники" применяются в учебном процессе СПб НИУ ИТМО и ПИМАШ.

б. Проведение лекционных и практических занятий, руководство курсовым и дипломным проектированием.

в. Участие в работе ГАК (члены)

г. Участие в работе диссертационных советов СПб НИУ ИТМО и ИПМаш РАН в качестве членов

д. Руководство работой аспирантов по тематике научных исследований лаборатории с последующей защитой диссертаций

В диссертационном совете ИПМаш РАН были успешно защищены кандидатские диссертации ряда аспирантов Мурманского ГТУ. Например по специальности 01.02.06 - "Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры" в 2002 году состоялась защита диссертации гражданином Ганы Осей Баа, а в 2006 году аспирантом Сергеевым К.О. Подготовительная работа к защите других аспирантов продолжается

е. Выступление в качестве оппонентов по кандидатским и докторским диссертациям, составление отзывов и рецензий на авторефераты диссертаций, книги и другие научные работы.



Фотографии учебной работы профессоров  
Мусалимова В.М. и Ефремова Л.В.

## 6. Научно - информационная деятельность лаборатории

### 6.1. Организация и проведение сессий международной научной школы памяти Владимира Павловича Булатова



**Булатов В.П**

Начиная с 1993 года институтом проводились сессии международной научной школы о точности и надежности машин под патронажем директора нашего института Булатова Владимира Павловича, который уделял значительное внимание работам главного советника ИПМАШ РАН Фридлиндера Израиля Григорьевича (1910 – 2000 г.) по созданию и совершенствованию теории точности.

**В** 2000 году очередная четвертая сессия проходила уже без участия Фридлиндера И. Г. Для увековечения вклада этого ученого в науку о точности было принято решение о присвоении этому форуму титула «Фридлиндеровские чтения». Пятая сессия школы

(2002 год), была последней и для бессменного директора ИПМАШ РАН Владимира

Павловича Булатова в связи с его кончиной. Поэтому на следующий 2003 год была организована внеочередная шестая сессия школы, посвященная его светлой памяти, а в обозначение программ работы школы был введен символ VPB. После этого были проведены заседания седьмой (2005 год), восьмой (2007 год), девятой (2009 год) и десятой (2011 год) сессии школы.

#### Перечень сессий школы

Символ	Название	Даты	Организаторы	докладов
Четвертая	Современные фундаментальные проблемы и прикладные задачи теории точности и качества машин, приборов и систем	С 1 июня по 7 июня 2000 года	Председатель академик Фролов К.В. Сопредседатели Проф. Булатов В.П. Научный Советник Фридлендер И.Г.	33
Пятая	Фундаментальные и прикладные проблемы теории точности процессов, машин, приборов и систем	С 25 июня по 7 июля 2002 года	Председатель академик Колесников К.В. Сопредседатели Проф. Булатов В.П. Проф. Васильев В.Н. Проф. Ефремов Л.В	65
Шестая VPB-03		С 30 сентября по 3 октября 2003 года	Председатель академик Фролов К.В. Сопредседатели Проф. Индейцев Д.А. Проф. Васильев В.Н. Проф. Ефремов Л.В. Проф. Мусалимов В.М.	66
Седьмая VPB-05	"Фундаментальные и прикладные проблемы надежности и диагностики машин и механизмов»	С 24 октября по 28 октября 2005 года	Председатель академик Фролов К.В. Сопредседатели Проф. Индейцев Д.А. Проф. Васильев В.Н. Проф. Ефремов Л.В. Проф. Мусалимов В.М.	89
Восьмая VPB-07		С 22 октября по 27 октября 2007 года	Председатель чл.-корр. РАН, Н.А. Махутов Сопредседатели Проф. Индейцев Д.А., Проф. Васильев В.Н. Проф. Ефремов Л.В., Проф. Мусалимов В.М	130
Девятая VPB-09		С 26 октября по 30 октября 2009 года	Председатель чл.-корр. РАН, Н.А. Махутов Сопредседатели Проф. Индейцев Д.А., Проф. Васильев В.Н. Проф. Ефремов Л.В., Проф. Мусалимов В.М	135
Десятая VPB-11		С 24 октября по 28 октября 2011 года	Председатель чл.-корр. РАН, Н.А. Махутов Сопредседатели Проф. Индейцев Д.А., Проф. Васильев В.Н. Проф. Ефремов Л.В., Проф. Мусалимов В.М	86





### 6.3. Издание трудов и монографий по тематике работы лаборатории

В указанный выше период сотрудниками лаборатории были изданы труды указанных выше форумов и подготовлены к печати и изданы пять монографий. Первая из монографий «Фундаментальные проблемы теории точности» объемом 500 стр. издана по традиционной тематике работы школы о точности измерений, а вторая, объемом 740 стр. - по более широкой тематике, которая отражена в названии монографии «Проблемы машиноведения – точность, трение и износ, надежность, перспективные технологии». Расширение научных направлений исследований получило развитие в названии и программе седьмой и последующих сессий школы



Третья, четвертая и пятая монографии также связаны с основными направлениями работы школы и посвящены, во первых, крутильным колебаниям силовых установок (п.3.1.5), во-вторых – исследованиям надежности техники с применением компьютерных технологий (п.3.2.1), в третьих – алгоритмам оценки метрологической надежности приборов (п.3.3.2) Эти труды представляют собой пример успешного внедрения в практику теоретических разработок ИПМаш РАН.

#### 6.4. Публикация трудов сотрудников лаборатории

Основным отчетным материалом научных работников вообще и сотрудников лаборатории, в частности, принято считать публикации результатов их исследований в виде монографий, статей, докладов, патентов и пр.



Списки публикаций профессоров Мусалимова В.М и Ефремова Л.В. содержат более 230 наименований печатных трудов. Старшие научные сотрудники Овчаренко И.Е. и Коверкин Ю. Б. имеют от 55 до 70 публикаций.

Ниже приведен перечень журналов, в которых обычно печатаются сотрудники лаборатории.

- 1 Мир измерений
- 2 Приборостроение
- 3 Инструмент и технология
- 4 Металлообработка
- 5 Научно-технический ВЕСТНИК СПб ГИТМО (ТУ)
- 6 Российский морской Регистр судоходства, Научно-технический сборник.
- 7 Измерительная техника
- 8 Тяжелое машиностроение
- 9 Вісник Харківського національного університету. Серія: математика, прикладна математика та механіка.
- 10 Вестник МГТУ. Труды Мурманского государственного университета
- 11 Труды ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова
- 12 Проблемы машиностроения и надежности машин (РАН)
- 13 Морской вестник
- 14 Измерительная техника и др.

Для примера ниже приведено распределение публикаций лаборатории в период с 2005 по 2010 г.

Сотрудники лаборатории периодически выступают с докладами на региональных, федеральных и международных конференциях по тематике своих научных интересов.

Распределение публикаций лаборатории в период с 2005 по 2010 г.

Сотрудник	Мононографии	Статьи		Доклады	Патенты и пр.	Итого
		ВАК	Прочие			
Ефремов Л.В.	3	5	5	11	2	26
Мусалимов В.М.	2	4	4	10	4	23
Овчаренко И.О.		1	2	2	0	5
Каверкин Ю.Б.		2	1	3	(1)	7
Итого	5	12	12	26	5	60



Труды некоторых форумов, на которых выступали сотрудники лаборатории

В лаборатории имеется традиция проведения семинаров по тематике работ сотрудников лаборатории и аспирантов. При этом приглашаются специалисты других организаций.

1



2



3



1 - Семинар о проблемах измерений на производстве. Докладчик Снарский А.В. – зам. начальника ЦЛИТ ОАО «Ижорские заводы»  
 2 - Семинар аспиранта Мурманского ГТУ Сергеева К.О. о диагностической модели демпфера. 3 - Семинар Ефремова Л.В. о результатах исследований крутильных колебаний

## 7. Сотрудничество

Сотрудники лаборатории многие исследования выполняют на основе творческого сотрудничества со следующими организациями.

### Высшие учебные заведения.

*Санкт-Петербургский институт машиностроения (АМЗ-ВЛПУЗ)*

*Санкт-Петербургский государственный политехнический университет (СПбГПУ)*

*Балтийский государственный технический университет "Военмех" им. Д. Ф. Устинова (БГТУ "ВОЕНМЕХ")*

*Национальный минерально-сырьевой университет «Горный» (ГУ)*

*Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики (ИИУ ИТМО)*

*Санкт-Петербургский государственный университет водных коммуникаций (СПбГУВК)*

*Государственная морская академия имени адмирала С.О. Макарова (ГМА им. Макарова)*

*Санкт-Петербургский государственный морской технический университет (СПбГМТУ)*

*Мурманский государственный технический университет,*

*Астраханский государственный технический университет,*

*Санкт-Петербургский государственный университет технологий и дизайна,*

*Донецкий университет (Украина),*

*Харьковский университет (Украина),*

*МГТУ им. Баумана и др.*

### Научные организации:

*ВНИИМ им. Д.И. Менделеева,*

*Российский морской Регистр судоходства,*

*ЦНИИ им. Академика Крылова, ЦНИИИ,*

*ЦНИИМФ,*

*ТИПФОРЫБФЛОП и др.,*

### Предприятия:

*АО "Стандарт-морепродукт",*

*Ижорский механический завод,*

*Мурманская судостроительная,*

*типография АО «Пекст»,*

*Компания "ИРИСОФЛ" и др.*

*Имеются договора о творческом сотрудничестве.*

## 8 Перспективные направления научной работы лаборатории после 2012 года

- ❖ Продолжение исследований по совершенствованию бесконтактных методов измерений статических и динамических деформаций валов
- ❖ Совершенствование вероятностных моделей деградации состояний различных объектов
- ❖ Разработка алгоритмов прогнозирования межповерочных и межкалибровочных интервалов на основе ции запаса метрологической надежности. Ускоренные ресурсные испытания
- ❖ Провести очередную одиннадцатую сессию «Фундаментальные и прикладные проблемы надежности и диагностики машин» (ВПБ-13) в октябре 2013 года.