

УДК 629.5:[531.714+006.015.7](98)

ЗАПАС МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ МОРСКОЙ ТЕХНИКИ, ИСПОЛЪЗУЕМЫХ В УСЛОВИЯХ АРКТИЧЕСКОГО РЕГИОНА

Пышко Е.Ю., Храмогин И.Е., Кумова Ж.В., Баева Л.С.

ФГБОУ ВО «Мурманский государственный технический университет», Мурманск,
e-mail: kumovazhv@mstu.edu.ru

Объектом исследования наряду с современными высокотехнологичными средствами измерения послужил традиционный точный мерительный инструмент, являющийся универсальным базовым средством измерения, к которому относят такие простые средства измерения линейных размеров, как штангенциркуль, микрометр, нутромер. Для изучения методов и способов повышения надежности сборки судовых технических средств проводились экспериментальные исследования с использованием метода, который характеризует критерий «запас метрологической надежности». Разработанное программное обеспечение для оценки запаса метрологической надежности средства измерения позволяет проконтролировать его точность с целью обеспечения единства измерений, произвести анализ и дать оценку качества технического состояния. В результате есть возможность конкретно прогнозировать сроки для проведения поверок средств измерений с целью выявления оценки их технического состояния на данный момент времени.

Ключевые слова: погрешность, метрологическая надежность, поверка, средство измерения

SUPPLY OF METROLOGICAL RELIABILITY OF MEASURING INSTRUMENTS FOR MARINE EQUIPMENT USED IN ARCTIC REGION

Pyshko E.Y., Chromogen I.E., Kumova Z.V., Baeva L.S.

Murmansk state technical University, Murmansk, e-mail: kumovazhv@mstu.edu.ru

The object of the study along with modern high-tech instrumentation was traditional precise measuring tool that is universal in the basic measure, which includes such simple means of measuring linear dimensions, like Vernier caliper, micrometer, bore gauge. To explore methods and ways to improve the reliability of the Assembly of ship technical means conducting a pilot study using a method that characterizes the criterion of «margin of metrological reliability». The software developed for the stock assessment of metrological reliability of measuring instruments allows to control its accuracy with the aim of ensuring the uniformity of measurements, to analyze and to assess the quality of technical condition. The result is the ability to specifically predict the timing for verification of measuring instruments to identify the evaluation of their technical condition at this time.

Keywords: uncertainty, metrological reliability, testing, measuring means

В процессе работы проводились экспериментальные исследования при изучении методов и способов повышения надежности сборки судовых технических средств на кафедре технологии металлов и судоремонта Мурманского государственного технического университета с помощью метода, который характеризует критерий «запас метрологической надёжности».

Объектом исследования наряду с современными высокотехнологичными средствами измерения (СИ) как, например, координатно-измерительные машины и комплексы, послужил традиционный точный мерительный инструмент, являющийся универсальным базовым СИ, к которому относят такие средства измерения линейных размеров, как штангенциркуль, микрометр, нутромер.

В ходе исследований между значениями погрешности в «начале» и «конце» диапазона измерений линейных размеров существует возможность выбора критерия запаса метрологической надежности (ЗМН) в каче-

стве контролируемого параметра в учебном процессе и в научных исследованиях.

Цель работы заключалась в определении и оценке допустимости основных метрологических характеристик, к которым относят систематическую и случайную погрешность средств измерений для актуального исследования причин аварийных происшествий на судах флота рыбной промышленности в условиях Арктического региона, а также усовершенствования технического обслуживания и ремонта судов флота рыбной промышленности.

Понятие надежности относится к технико-экономическим показателям качества продукции. Надежность СИ определяет его поведение с течением времени и является комплексным понятием, характеризующим стабильность, безотказность, долговечность, ремонтпригодность (для восстанавливаемых СИ) и сохраняемость.

Качественной характеристикой СИ, отражающей неизменность во времени его метрологических характеристик (МХ) яв-

ляется стабильность. Она описывается временными зависимостями параметров закона распределения погрешности. Надежность и стабильность по метрологическим понятиям различные свойства одного и того процесса старения СИ. Стабильность относится к «внутренним» свойствам СИ, то есть содержит своего рода больше сведений о постоянстве метрологических свойств СИ. Надежность относится к «внешним» свойствам, так как зависит от стабильности, от точности измерений и значений используемых допусков.

Ключевой проблемой оценки исправности средств измерений (СИ) является планирование измерений погрешности, а также выбор и расчет их с помощью критериев оценки исправности СИ [1, 2].

1. Метрологические отказы при эксплуатации СИ и влияющие на них факторы

Метрологические отказы являются случайными событиями, все характеристики надежности имеют вероятностный смысл, численные значения которых вычисляются с помощью статистических и вероятностных методов.

Оборудование может отказать в связи с изменением внешней среды и по причине физического износа деталей, находящихся как снаружи, так и внутри оборудования. Отказы являются следствием износа или разрегулировки узлов.

Факторы ошибок можно рассматривать как совокупности факторов, влияющих на процесс из-за неправильно принятых решений.

Постепенные метрологические отказы характерны при эксплуатации СИ и обусловлены дрейфом, который в конечном итоге приводит к их выходу за допуски. В этом случае необходимо производить метрологические поверки.

2. Теоретические аспекты точности СИ

К числу самых распространенных измерительных инструментов – средств измерений линейных размеров относятся: штангенциркуль, штангенглубиномер, микрометр и нутрометр, позволяющие получить довольно точные результаты, однако даже при использовании метрологически аттестованных измерительных инструментов существует погрешность измерения.

Точность измерений может быть большей или меньшей, в зависимости от:

- средств измерений,
- проведения измерений,
- внешних условий и др. факторов, влияющих на ход проведения измерений.

Вследствие несовершенства применяемых методов и СИ, нестабильности условий измерений и других причин результат каждого измерения отягощен погрешностью.

Точность средства измерений – характеристика качества СИ, отражающая близость его погрешности к нулю. Считается, что чем

Таблица 1

Факторы оценки экономической эффективности метрологических работ

Групповые факторы	Единичные факторы
Метрологические характеристики	Погрешность измерений Быстродействие измерений
Оборудование	Измерительная техника Внедрение новых средств измерений Модернизация старых средств измерений Испытания и сертификация оборудования
Персонал	Квалификация работников Аттестация персонала Подготовка, переподготовка персонала
Нормативно-техническая база	Качество нормативно-технической документации Методики выполнения измерений
Факторы ошибок	Признание негодным годного изделия Разбраковка ошибочно забракованного изделия Повторный контроль и испытания Признание годным негодного изделия Пропуск бракованной продукции в эксплуатацию

меньше погрешность, тем точнее средство измерений.

Применять учебные СИ в рамках научной работы или оказания услуг предприятиям промышленности и транспорта недопустимо без их метрологической аттестации. Проведение пробных поверок необходимо для оценки технического состояния и степени износа различных СИ с целью решения вопроса об их замене. Актуальной проблемой можно считать проведение пробных поверок учебных СИ своими силами для оценки целесообразности подачи заявки в официальную метрологическую службу [3].

Кроме того, при использовании точно настроенного измерительного инструмента, нельзя исключить возможность ошибки. Основными причинами, приводящими к неточностям измерений, являются неумение пользоваться инструментом (неквалифицированная работа оператора), использование поврежденного инструмента (к примеру, со

сбитой нулевой отметкой на шкале), загрязнение рабочих поверхностей инструмента и самого измеряемого предмета, измерение нагретой или охлажденной детали. Работая, например, с таким СИ, как штангенциркуль важно держать инструмент перпендикулярно детали, чтобы губки плотно прилегали к измеряемой поверхности.

На достоверность измерений такими инструментами, как штангенциркули, микрометры, нутромеры и другие с регистрацией результатов линейных измерений по нониусу, электронному дисплею или по индикаторной круговой шкале оказывает существенное влияние человеческий фактор.

На кафедре технологии металлов и судоремонта Мурманского государственного технического университета проводились метрологические исследования деталей судовых технических средств, которые позволили зафиксировать результаты на примере исследования этих простых СИ (см. рис. 1).



Рис. 1. Регистрация результатов линейных измерений по нониусу и электронному дисплею

3. Запас метрологической надежности

В качестве основной метрологической характеристики принят простой и эффективный критерий – запас метрологической надежности (ЗМН). Основное его назначение в предотвращении метрологических отказов СИ при их эксплуатации, между текущей и последующей поверкой с заданной вероятностью β .

В реальной жизни по мере изнашивания механизма приборов могут накапливаться систематические погрешности, для выявления которых и предназначены периодические поверки. Для решения этой метрологической проблемы был введен критерий, названный запасом метрологической надежности.

ЗМН служит основной метрологической характеристикой и является квантилем двухпараметрического нормального распределения Z вероятности β недостижения предела погрешности h_a . Происходит учет изменения как систематической h_{cn} , так и случайной $\sigma_{сл}$ погрешности прибора в соответствии с формулой (1):

$$Z = (h_a - h_{cn})/\sigma_{сл} \Rightarrow \beta = cnorm(Z). \quad (1)$$

Это значит, что с его помощью можно объективно оценивать надежность СИ путем сравнения фактической вероятности с нормативным значением $P_{доп}$ или, что равноценно, путем сравнения фактического запаса надежности Z с допустимым запасом $Z_{доп}$.

Чаще всего в статистике применяется запас надежности $Z_\beta = 3$ при $\beta z \gg 0,999$ (правило «трех сигм»). Однако для конкретных типов СИ эта величина может принимать другие значения, что зависит от их назначения и конструкции.

Для учебных СИ может использоваться запас метрологической надежности $Z = 1$ (что соответствует $\beta z = 0,84$), в то время как то же СИ при использовании в промышленности должно иметь $Z = 2$, а в науке его величина может достигать значения трех и более.

В соответствии с Основными положениями Руководства по выражению не-

определенности измерения есть понятие коэффициента охвата, который является квантилем нормального распределения, равный 2 при односторонней вероятности 0,9775 (что соответствует двухсторонней вероятности 0,95).

Ориентируясь на эти данные, и условную классификацию СИ по признаку последствий отказов принимаем нормы требований по надежности по табл. 2.

Следовательно, для большинства СИ приемлема норма $Z_H = 2$, а для учебных может использоваться $Z_H = 1$. Обоснование допустимых норм ЗМН должны выполнять соответствующие метрологические подразделения поставщиков СИ данного типа. Таким образом, решение этой проблемы зависит от соотношения фактического, верхнего и нижнего уровней ЗМН и других факторов.

Опыт применения этого критерия выявил его важное свойство – возможность оценивать степень влияния систематических и случайных погрешностей на запас надежности.

Стремление при выполнении первичных поверок создавать условия, при которых случайная погрешность равна нулю, можно сравнить с точной стрельбы, производимой хорошим стрелком из хорошего ружья, где наблюдается совсем небольшой разброс, а отклонений от десятки почти нет. В этом случае можно применять правило «трех сигм». Появление в формуле (1) систематической ошибки в виде составляющей Δh_{cn} соответствует случаю, когда стрельба производится пусть даже хорошим стрелком, но из плохого ружья со сбитой мушкой. Систематическая погрешность Δh_{cn} может возникнуть по разным причинам, в том числе в результате износа механизма прибора.

Выявление составляющей Δh_{cn} имеет важное практическое значение и при калибровке СИ после поверки. В общем же случае может быть обнаружена большая погрешность прибора под влиянием как случайных, так и систематических факторов.

Таблица 2

Нормы требований по надежности

Категория	Z_H	β	Требования по надежности	Пример назначения СИ
Первая	3	0,9987	Высокие	Контроль жизнедеятельности
Вторая	2	0,9772	Умеренные	Бытовые приборы
Третья	1	0,8414	Невысокие, но допустимые	Учебные СИ

4. Программное обеспечение вероятностной оценки запаса метрологической надежности средств измерений

Разработанная программная система «Вероятностная оценка запаса метрологической надежности средств измерений линейных размеров» по дисциплине «Метрология, стандартизация и сертификация» и дает возможность определить оценку исправности средства измерения с помощью критерия запас метрологической надежности (ЗМН).

Именно такими вопросами исправности СИ для оценки их запаса метрологической надежности в течение ряда научных исследований занимались в Мурманском государственном техническом университете на кафедре технологии металлов и судоремонта под руководством доктора технических наук, профессора Леонида Владимировича Ефремова.

В задачи программной системы входит обеспечение выполнения ряда конкретных функций:

– достаточно быстро и столь же эффективно предотвратить метрологические отказы СИ при его эксплуатации между текущей

и последующей поверкой с заданной вероятностью β ;

– расчеты, произведенные по формулам в среде EXCEL, служат базой для организации дальнейшей поверки учебных СИ для измерения линейных размеров при помощи СИ разного принципа действия и назначения (например, нониус, электронный дисплей, либо индикаторная круговая шкала);

– варианты расчета и данные в числовой форме визуализированы. Визуализация метода оценки качества СИ и позволяет говорить о допустимости полученных метрологических характеристик.

Программная система входит в блок программ, зарегистрированных в реестре программ для ЭВМ Российской Федерации. Тип ЭВМ: IBM PC. Язык программирования: Pascal. Процедура дает возможность установки операционной системы ОС с графическим интерфейсом: Windows XP, 7. Объем программы: 1,23 Мб [4].

В столбец «ДП, мм» (Диагностический Параметр) заносятся данные результатов прямых измерений, полученные контактным методом заносятся в таблицу. Далее выполняется расчет при выборе соответствующей позиции в нижней строке окна «Произвести расчет».

Номер	Дата	Включен	Выключен	Время, мс	ДП, мм	Пгр	Отн. ДП
1	08.11.17	13.34	13.35	1	29,90		
2	08.11.17	13.36	13.37	1	29,95		
3	08.11.17	13.38	13.39	1	30,00		
4	08.11.17	13.40	13.41	1	30,00		
5	08.11.17	13.42	13.43	1	30,01		
6	08.11.17	13.44	13.45	1	30,00		
7	08.11.17	13.46	13.47	1	30,00		
8	08.11.17	13.48	13.49	1	30,04		
9	08.11.17	13.50	13.51	1	30,06		
10	08.11.17	13.52	13.53	1	30,00		

Рис. 2. Программная система «Вероятностная оценка запаса метрологической надежности средств измерений линейных размеров»

В правой части окна на рис. 2 видны полученные значения оценки качества СИ.

Затем выполняется команда при выборе соответствующей позиции в нижней строке окна «Сохранить отчет», формирование которого производится по заданным формулам (рис. 3) в электронных таблицах EXCEL [4].

Предотвращение аварий является для отрасли актуальной задачей.

Многократные исследования дают возможность конкретно прогнозировать сроки для проведения проверок СИ с целью выявления оценки их технического состояния на данный момент времени.

Вероятностная оценка запаса метрологической надежности средств измерений линейных размеров												
Средство измерения (тип, марка)		ШЦ-1-250-0,02 ГОС			Число эталонов	1		Число циклов	10			
Диагностический параметр, размерность		30 мм			Эталон	30 мм		Доп. погрешность	0,02 мм			
Периодичность циклов испытаний		15			Год ввода	2017		Оценка СИ	4			
Результаты измерений												
№	Дата	Включено	Выключено	Время, мин	Измерения			ДП, мм	Пгр	Отн. ДП	Значение	Комментарий
					ДП, мм	Пгр	Отн. ДП					
1	08.11.2017	13.34	13.35	1	29,9	-0,1	0,996867	-0,004	0,451754		Запас метрологической надежности	
2	08.11.2017	13.36	13.37	1	29,95	-0,05	0,998333	0,044272	0,674277		Вероятность β не достижения предела погрешности	
3	08.11.2017	13.38	13.39	1	30	0	1	0,361403				
4	08.11.2017	13.40	13.41	1	30	0	1	0,641101				
5	08.11.2017	13.42	13.43	1	30,01	0,01	1,000333					
6	08.11.2017	13.44	13.45	1	30	0	1					
7	08.11.2017	13.46	13.47	1	30	0	1					
8	08.11.2017	13.48	13.49	1	30,04	0,04	1,001333				Данные, которые вводятся	
9	08.11.2017	13.50	13.51	1	30,06	0,06	1,002				Фиксированные данные	
10	08.11.2017	13.52	13.53	1	30	0	1				Формула	
											Результат	

Рис. 3. Формирование отчета в электронных таблицах EXCEL

Программное обеспечение для оценки запаса метрологической надежности СИ линейных размеров позволяет проконтролировать точность СИ с целью обеспечения единства измерений, произвести анализ и дать оценку качества их технического состояния с помощью критерия запаса метрологической надежности [5].

В ходе проведенных работ, результаты полученных измерений линейных размеров представили принципиальную возможность выбора критерия запаса метрологической надежности в качестве контролируемого параметра для оценки метрологической исправности СИ как в учебном процессе, так и в научных исследованиях, не имея при этом возможности произвести его метрологическую поверку с помощью специальных служб.

Результаты исследований могут быть использованы при выборе методов и способов технической диагностики, дефектации, использующих характеристики СТС и корпусных конструкций судна, что позволяет обеспечить высокую надежность СТС и корпусных конструкций и судна в целом.

Проведенные исследования актуальны при выявлении причин аварийных происшествий объектов морской техники в условиях Арктического региона.

Список литературы

1. Ефремов Л.В. Вероятностная оценка метрологической надежности средств измерений: алгоритмы и программы / Л.В. Ефремов. – СПб.: Нестор-История, 2011. – 200 с.
2. Фридман А.Э. Основы метрологии. Современный курс / А.Э. Фридман. – СПб.: НПО «Профессионал», 2008. – 284 с.
3. Ефремов Л.В. Вероятностная оценка метрологических характеристик учебных средств измерений / Л.В. Ефремов, Ж.В. Кумова, М.А. Чистякова // Наука и образование – 2010 [Электронный ресурс]: материалы междунауч. конф., Мурманск, 5 – 9 апреля 2010 г. / МГТУ. – Электрон. Текст дан. (139 М). – Мурманск: МГТУ, 2010. – С. 1395 – 1398.
4. Ефремов Л.В. Метрологическая оценка надежности мерительного инструмента учебного и научного назначения / Л.В. Ефремов, Ж.В. Кумова // Приборостроение. – 2012.
5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Вероятностная оценка запаса метрологической надежности средств измерений линейных размеров / Кумова Ж.В., Петрова Н.Е., Ефремов Л.В., Баева Л.С.; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВПО «Мурм. гос. техн. ун-т» – № 2015616989; заявл. 01.12.2014; опубл. 26.06.2015, Заяв. № 2014662303.