УДК 629.5.081.4

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТА КРЕНОВАНИЯ СУДНА

Веревкин Михаил Валентинович

Научный руководитель: **Русановский Сергей Александрович**

ст. преподаватель

САФУ, Институт судостроения и морской арктической техники

г. Северодвинск

Аннотация: В статье рассмотрены технические характеристики, устройство и принцип действия классических и современных средств для измерения угла крена судна при проведении опыта кренования. Подведены итоги по эффективности используемого оборудования и направлениям его развития.

Ключевые слова: опыт кренования, остойчивость, весок, ватерпас, инклинограф, уровнемер, измерительное оборудование.

DEVELOPMENT TRENDS OF MEASURING EQUIPMENT FOR CONDUCTING THE SHIP'S INCLINING EXPERIENCE

Verevkin Mikhail Valentinovich

Scientific adviser: **Rusanovsky Sergey Alexandrovich**

Abstract: The article discusses the technical characteristics, device and principle of operation of classical and modern means for measuring the roll angle of a ship during the inclining experiment. The results on the efficiency of the equipment used and the directions of its development are summed up.

Key words: inclining experiment, stability, temple, the spirit level, level sensor, level transmitter, instrumentation.

Для всех вновь построенных и капитально отремонтированных судов проводится опыт кренования, целью которого является определение фактических координат центра тяжести судна. Практическая часть опыта состоит в серии переносов грузов в поперечном направлении с последующим замером углов крена и расчетом параметров остойчивости.

Согласно Российскому морскому и речному регистру, (РМРС) и (РРР) соответственно, обязательным условием для проведения опыта является использование специального измерительного оборудования, к нему относят: вески, ватерпасы, механические инклинографы, также в отдельных случаях используется набор оптических угломеров. Для лучшего понимания работы перечисленных устройств подробнее рассмотрим их конструкцию и технические особенности.

Вески

Самое простое из предложенных устройств для оценки углов крена и дифферента судна. Для опыта используется в количестве 2-3 штук. Устройство веска отображено на (рис. 1).

Рис. 1. Устройство веска

Весок представляет собой отвес 4 с длиной нити от 1,5 до 6 метров в зависимости от размера судна. Груз веска 2, с укрепленной на нем крылаткой, из двух взаимно перпендикулярных пластинок, опускают в бак с маслом или водой 3, чтобы колебания веска быстрее прекращались. Вблизи нижнего конца веска, укрепляют горизонтальную деревянную рейку 1 с нанесенной шкалой для отсчета углов крена. [1]

Из очевидных преимуществ данного устройства можно выделить простоту и дешевизну конструкции, однако вески также имеют ряд недостатков:

- Длина нити веска достаточно велика, поэтому для проведения опыта требуется много свободного пространства;
- Требуется время на затухание колебаний веска;
- Требуется длительные подготовительные работы на монтаж весков и настройку дополнительного оборудования;
- Влияние человеческого фактора при снятии показаний отклонения веска.

Ватерпас

Ватерпас (гидроуровень) представляет собой устройство для определения разницы высот для двух измеряемых точек. Работа гидроуровня основана на принципе действия сообщающихся сосудов, (рис. 2).

Рис. 2. Ватерпас (гидроуровень)

До начала кренования сообщающиеся резиновым шлангом сосуды (длиной 1-1.2 м и диаметром 10-20 мм) устанавливаются по бортам в плоскости одного шпангоута, далее в систему заливается подкрашенная вода и фиксируются уровни жидкости в каждой емкости. После переноса груза уровни жидкости фиксируются повторно и по разнице показаний вычисляется угол крена. Процесс повторяется для всей серии переносов груза.

Данное устройство по своим преимуществам и недостаткам похоже на вески и также используется в количестве двух штук.

К достоинствам относятся простота и дешевизна конструкции.

Из недостатков можно выделить:

- Влияние человеческого фактора при снятии показаний уровня жидкости с измерительной линейки;
- Необходимость проведения подготовительных работ для установки измерительных емкостей;
- Отсутствие возможности автоматизации процесса.

Инклинограф системы Амаева (модернизированный)

Данный прибор предназначен для записи углов крена, а также для определения периода бортовой качки. Общий вид инклинографа представлен на (рис. 3).

Рис. 3. Инклинограф без пишущей части

Принцип работы прибора довольно простой. Бумажный носитель, на котором фиксируются результаты измерений, закрепляется на внешней поверхности барабана, вращающегося с постоянной линейной скоростью, обеспечиваемой приводом. Держатель с закрепленным на нем маркером способен отклоняться на угол, эквивалентный текущему крену, что и записывается на инклинограмме. По полученным данным графически определяются углы наклонения судна и рассчитываются координаты центра тяжести. Технические характеристики инклинографа в (табл. 1). [2, с. 4]

Таблица 1

Технические характеристики инклинографа

Наименование характеристики	Значение
Чувствительность прибора	18 мм/град
Скорость движения инклинограммы	50-60 мм/мин
Неравномерность вращения барабана не более	5%
Допустимый предел отклонения маятника	3°
Минимально допустимое число колебаний маятника	30
Максимальная погрешность записи	3%
Габариты прибора в упаковке	280x235x450 мм
Масса прибора в упаковке не более	12 кг
Масса прибора	8 кг
Тарировка прибора	Перед каждым опытом кренования
Необходимое количество приборов	2

К преимуществам данного устройства можно отнести сокращенные подготовительные работы, а также объективность полученных данных, т.к. Показания на инклинограмме отображаются автоматически.

Из технических характеристик прибора видны его недостатки:

- Барабан может двигаться неравномерно, что отрицательно влияет на качество выдаваемых данных;
- Влияние человеческого фактора при снятии показаний с инклинограммы;
- Необходима подготовка для интерпретации получаемых значений.

Использование инклинографа упрощает опыт кренования тем, что можно не проводить долгие мероприятия по поиску мест установки подвеса, но при этом не решается проблема автоматизации процесса.

Угломер – уровень УО-2

Оптический угломер – уровень УО-2 предназначен для выверки устанавливаемых базовых плоскостей, а также для контроля их взаимного положения на качающихся стендах. Общий вид прибора отображен на (рис.4)

Рис. 4. Общий вид «УО-2»

- Устройство прибора включает: 1 – неподвижная часть,
2 – качающаяся часть прибора, 3 – симметричный окуляр,
4 – винт температурной компенсации, 5 – микрометрический винт,
6 – ось, 7 – патрон подсветки, 8 – подсветка прибора,
9 – опорные пяты, 10 – розетка, 11 – крышка.

Технические характеристики прибора представлены на (табл. 2).

Таблица 2

Характеристики «УО-2»

Наименование характеристики	Значение
Увеличение отчетного микроскопа	72х
Диапазон работы микрометрического винта	$\pm 3^\circ$
Допустимые пределы качки при динамическом режиме работы I способ/ II способ	$\pm 3^\circ / \pm 0,5^\circ$
Предельная ошибка измерения при динамическом режиме работы I способ/ II способ	44"/60"
Прибор работает в диапазоне температур	-50 ... +50°C
Разномасштабность	Не более 22' на 60°
Точность установки нуля	$\pm 22''$
Наибольший угол рассогласования	2°30'
Габариты прибора	214x80x135 мм
Масса	3.3 кг

Данный прибор эффективен, не требует времени на установку и подготовительные работы, однако в отличие от предыдущих требует наличия блока питания. При снятии показаний с прибора также присутствует влияние человеческого фактора.

Данный прибор практически не используется, т.к. снят с производства.

Комбинации измерительных устройств

Существует вариант использования классического измерительного оборудования в совокупности с электронными датчиками. К таким устройствам можно отнести:

- Весок с точным датчиком угла поворота отвеса, (рис. 5 а);
- Весок с применением дальномера вместо отвеса, (рис. 5 б);
- Весок с применением дальномера взамен нижней рейки, (рис. 5 в);
- Ватерпас с применением дальномера.

Рис. 5. Комбинации измерительных устройств

Такое техническое решение позволяет снизить влияние человеческого фактора, однако не решает проблемы низкой автоматизации и длительной настройки оборудования, более того, монтаж дополнительных датчиков усложняет процесс проведения опыты и повышает вероятность ошибки.

Кратко рассмотрев принцип работы одобренных для кренования устройств, можно выделить общие недостатки:

- Влияние человеческого фактора
- Низкая автоматизация процесса, или полное ее отсутствие;
- Морально-устаревшее оборудование;
- Отсутствие возможности оценить правильность проведения эксперимента в режиме реального времени.

Ввиду существенных недостатков действующих устройств необходимо использовать новую технологию регистрации и обработки данных, полученных при проведении опыта.

Рассмотрим рынок современных измерительных средств.

Прибор электронный угломерный «ЭУ-1»

Хорошим примером для иллюстрации отечественного рынка измерительного оборудования для изделий судостроительной отрасли является электронный угломер «ЭУ-1», (рис. 6).

Рис. 6. Электронный угломер «ЭУ-1»

Данный прибор предназначен для измерения углов в целом. Принцип действия ЭУ-1 основан на преобразовании изменения проекции силы тяжести

на чувствительные оси датчика измерения угла в электрический сигнал постоянного тока.

Прибор выполнен в виде единого блока, включающего датчик измерения угла наклона с аналоговым выходом, аналого-цифровой преобразователь, вычислительный блок со встроенным модулем обработки данных, устройство хранения данных, жидкокристаллический дисплей и блок электропитания. В качестве чувствительного элемента датчика измерения угла используется микромеханический двухосевой акселерометр.

Встроенное ПО выполняет функции измерения и отображения углов крена. Также для ПО предусмотрена возможность хранения и передачи результатов измерений на съемный носитель в виде электронного архива. Технические характеристики ЭУ-1 приведены в (табл. 3). [3]

Таблица 3

Характеристики «ЭУ-1»

Наименование характеристики	Значение
Диапазон измерений угла	$\pm 3^\circ$
Диапазон показаний	$\pm 4^\circ$
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений угла - для измерений угла в диапазоне от -2° до $+2^\circ$ - для измерений угла в диапазоне от -3° до -2° и от $+2^\circ$ до $+3^\circ$	$\pm 0.015^\circ$ $\pm 0.02^\circ$
Параметры электрического питания - напряжение переменного тока - частота переменного тока	220 ± 22 В 50 ± 5 Гц
Потребляемая мощность не более	30 В
Время автономной работы не менее	6 ч
Частота регистрации данных	1 Гц
Степень защиты корпуса ЭУ	IP20
Габаритные размеры	190x195x155мм
Масса	5 кг
Условия эксплуатации: - температура окружающей среды, - изменение температуры воздуха в течение одного часа, - относительная влажность, - атмосферное давление,	$+5 \dots +35^\circ\text{C}$ 5°C 45 ... 80 % 84 ... 107 кПа
Средний срок службы Средняя наработка на отказ	10 лет 3000 ч

Необходимо упомянуть, что данный прибор еще не поступил на серийное производство и поставляется в единичных экземплярах.

Также в отечественной судостроительной отрасли существуют патенты на специализированное измерительное оборудование, такие как RU 76629 U1 «Комплекс для проведения опытов кренования судна».

В данном патенте предлагается простое по конструкции и в использовании устройство для проведения опытов кренования, содержащее измеритель угла наклона – прецизионный двухкоординатный датчик с автономным источником питания, подключенный к аналого-цифровому преобразователю вычислительного блока с персональным компьютером, содержащим программный пакет обработки данных опыта кренования. Устройство контролирует крен и дифферент судна в процессе опыта – исходные данные для определения других необходимых параметров, вычисляемых в процессе обработки данных. [4, с. 1]

Система оценки остойчивости судна «INCLINOSENSOR»

На западе применяются электронные приборы для определения параметров остойчивости, например система «INCLINOSENSOR», (рис. 7)

**Рис. 7. Система оценки остойчивости
судна «INCLINOSENSOR»**

Краткие технические характеристики представлены в (табл. 4). [5]

Таблица 4

Характеристики «INCLINOSENSOR»

Наименование характеристики	Значение
Диапазон измерений угла	$\pm 5^\circ$
Точность производимых измерений	0.001°
Класс защиты устройства	IP 67

В число ее преимуществ входит:

- Быстрая установка и настройка измерительного оборудования, причем не требуется подготовка специальных площадок,
- Возможность размещения системы в любом месте на судне, что делает ее менее чувствительной к помехам.
- Автоматическое составление отчета о проведении опыта с графическим представлением результатов и сохранением данных
- Работа в режиме реального времени в осях x и y

Однако, данное устройство не может быть применено на отечественном рынке ввиду того, что не одобрено Российским Регистром, имеет высокую стоимость, и попадает под санкционный запрет.

Были рассмотрены большинство из доступных средств измерений угла крена при проведении опыта кренования. Можно заметить, что на Российском рынке наблюдается дефицит современного измерительного оборудования и используются в основном самые простые средства, такие как вески. Этому есть следующее объяснение: опыт кренования для каждого судна проводится лишь несколько раз за весь период его жизненного цикла и затраты на его проведение не сравнятся с другими статьями расходов. Поэтому гораздо выгоднее пользоваться проверенными средствами, чем закупать современное дорогостоящее оборудование, которое может потребоваться лишь несколько раз в год (если пользователем измерительного прибора, например, является завод-изготовитель). Однако для развития судостроительной отрасли необходимо развивать все ее стороны, чтобы качественно усовершенствовать изготавливаемую продукцию. Поэтому разрабатываемая система должна использовать именно электронные средства измерений, быть удобной и доступной для работников судостроительного производства.

Требования к новой установке должны быть определены из требований Регистра по проведению опыта кренования. Диапазон измерений углов

численно равен необходимому углу крена при расположении всего твердого крен-балласта на одном борту, т.е. от 0° до $2-4^\circ$. Скорость выдачи данных должна быть меньше, чем 0.1 секунды. Достаточной можно считать точность в $0,01^\circ$ вычисленную аналитически, исходя из погрешности измерения отклонений веска, формула 1

$$\arctg\left(\frac{\text{Отклонение по нижней рейке}}{\text{Длина веска}}\right) = \arctg\left(\frac{1}{3000}\right) = 0,0172^\circ \approx 1' \quad 1.$$

Рассмотрим пример принципиальной схемы такого устройства.

Основой ее может служить электронный инклинометр. В таком случае датчики рекомендуется устанавливать на диаметральной плоскости, для правильной ориентации прибора относительно базовых плоскостей судна. Информация с датчиков в режиме реального должна поступать на приемный модуль (устройство для приема, обработки, конвертации сигнала) далее обработанные данные принимаются на ПК со встроенной программой для проведения вычислений и генерации отчета об опыте кренования в форме, принятой РМРС и РРР.

Однако, вне зависимости от конструкции и схемы работы измерительного устройства необходимо провести исследовательскую работу для практического подтверждения правильности обработки сигнала в различных условиях, т.к. это напрямую влияет на оценку доверительной точности проведения опыта кренования. При проведении испытаний также должны быть уточнены условия корректной работы датчиков и установки в целом. [6]

Классическое оборудование для проведения опыта кренования, одобренное Регистром, надежно. Однако, с учетом всех его недостатков должно быть разработано и внедрено в повсеместное использование современное цифровое измерительное оборудование, обеспечивающее необходимую точность, технологичность и достоверность измерений.

Список литературы

1. Определение поперечной метацентрической высоты судна путем выполнения опыта кренования, [Электронный ресурс]: [официальный сайт]/ Seaman.org [2020], Режим доступа: <https://sea-man.org/metatsentricheskaya-vysota-sudna.html>, свободный – загл. с экрана.

2. Руководство по эксплуатации. Инклинограф системы Амаева модернизированный. Паспорт. Инклинограф Амаева модернизированный ТУ 387-388-07. – 4 с.

3. Приборы электронные угломерные ЭУ-1 [Электронный ресурс]: [офиц. сайт]/ ALL-Pribors.ru [2011-2021], Режим доступа: <https://www.all-pribors.ru/opisanie/72143-18-eu-1#ot>, свободный – загл. с экрана.

4. Пат. RU 76629 U1, МПК В63В 39/14 (2006.01) Комплекс для проведения опытов кренования судна / Зуев В.А., Грамузов Е.М., Бусоргин Д.А., патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева (ГОУ ВПО НГТУ) (RU) – № 2008118171/22, заявл. 06.05.2008; опубл. 27.09.2008, Бюл. № 54 (I ч.). – 1 с

5. Inclinosensor Digital measurements for an inclining experiment [Электронный ресурс]: [офиц. сайт]/ www.sarc.nl [2021], Режим доступа: <https://www.sarc.nl/wp-content/uploads/2019/03/Brochure-Inclinosensor.pdf>, свободный – загл. с экрана.

6. РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОННОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ОЦЕНКИ ОСТОЙЧИВОСТИ СУДНА. [Электронный ресурс]: [офиц. сайт]/ <http://umnik.fasie.ru/> [2021], Режим доступа: <https://umnik.fasie.ru/arkhangelsk/cabinet/entry/65259/info/>, свободный – загл. с экрана.

© М.В. Веревкин, С.А. Русановский, 2021