

УДК 629.124

Д.А. Бусоргин¹, Е.М. Грамузов², В.А. Зуев²**ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ
ОПЫТОВ КРЕНОВАНИЯ СУДОВ**Тольяттинский судостроительный и судоремонтный завод¹,
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева²

Предложен программно-аппаратный комплекс для проведения опытов кренования судов. Комплекс позволяет автоматизировать трудоемкие операции проведения опытов, обработки результатов и составление отчетной документации, а также повысить точность экспериментов.

Ключевые слова: программно-аппаратный комплекс, опыт кренования, точность экспериментов, автоматизация, судно.

Одним из важнейших технологических этапов создания нового судна или его модернизации является проведение опытов кренования (ОК).

Опыт кренования проводится грузами или людьми, соответствующие методики описаны в "Правилах..." [1, 2]. Основную трудность составляет измерение крена судна, так как эта величина мала (1° – 4°). Помимо этого необходимо постоянно измерять угол крена во времени, из-за качки. Эти обстоятельства приводят к жестким требованиям к точности измерения угла крена (погрешность должна быть меньше $\pm 0,01^\circ$). Поскольку обработка результатов опыта занимает значительное время, то нет возможности оперативно проконтролировать результаты и при необходимости повторить опыт. Этот момент отрицательно сказывается на методике и производительности труда. Современный комплекс должен позволять в режиме реального времени отслеживать результаты опыта. Итогом проведения опыта кренования является документ – отчет об опыте кренования. Система должна позволять создавать этот документ автоматически.

Можно выделить следующие требования, которым должен удовлетворять современный комплекс по проведению опыта кренования:

- 1) электронный способ определения углов наклона;
- 2) малая погрешность измерений;
- 3) совместимость с любым компьютером;
- 4) мониторинг результатов в реальном времени;
- 5) автоматическая обработка результатов опыта;
- 6) автоматический выпуск документации по результатам опыта.

Рассмотрим программно-аппаратный комплекс для проведения опытов кренования судов [3].

Обобщенные требования Российского речного регистра (РРР) по проведению опыта кренования представлены в табл. 1.

В результате данного анализа можно сделать следующие выводы:

1. Пределы измерения прибора должны лежать в пределах 1 – 4° .
2. Использовать вески и ватерпасы не представляется возможным.
3. Точность измерения прибора должна составлять не менее $0,01^\circ$.

Эти требования выражают техническую составляющую характеристик прибора.

В соответствии с п. 1.5.13 Морского регистра судоходства (МРС) опыт кренования производится по "Инструктивным указаниям по кренованию судов" (п. 2.17 ч. V "Техническое наблюдение за постройкой судов" и изготовлением материалов и изделий для судов). Обобщенные требования МРС по проведению опыта кренования представлены в табл. 2.

Таблица 1

Требования РРР

№	Пункт "Правил..."	Понятие	Требуемое значение
1	2.1	Максимальное значение скорости ветра при проведении ОК	3 м/с
2	2.2	Запас воды под днищем	1 м
3	3.1.3	Максимальное значение угла начального крена судна	0,5°
4	3.1.4	Максимальная масса недостающих грузов	2 % от водоизмещения порожнем
5	3.1.4	Максимальная масса излишних грузов, включая крен-балласт	5 % от водоизмещения порожнем
6	3.1.9	Минимальное значение метацентрической высоты	0,2 м
7	3.2.2	Необходимый крен при расположении всего твердого крен-балласта на одном борту	2-4°
8	3.2.2	Необходимый крен при расположении всего крен-балласта на одном борту при креновании переходами людей.	1,5-2°
9	3.3.1.1	Методы, используемые при креновании твердым крен-балластом	-вески; -ватерпасы; -приборы.
10	3.3.1.2	Методы, используемые при креновании "переходами людей"	-приборы.
11	3.3.2.1	Минимальное количество весков	3
12	3.3.2.2	Минимальное количество приборов	2
13	3.3.2.3	Минимальное количество приборов и весков	2
14	3.3.4	Минимальное отклонение веска по рейке	150 мм
15	3.3.4	Минимальная длина нити веска	3 м
16	4.1.3.1	Точность измерения длины весков	5 мм
17	4.1.3.2	Точность измерения осадки	10 мм
18	4.1.3.3	Точность измерения плечей перемещения крен-балласта	10 мм
19	4.1.3.4	Точность измерения отклонения веска	1 мм
20	4.1.3.5	Точность измерения отклонения инклинограмм	0,2 мм
21	4.1.3.6	Точность измерения массы крен-балласта	1%
22	4.1.3.7	Точность измерения времени	0,1 с
23	4.3.4	Минимальное необходимое количество перемещений людей	8
24	4.4.2.3	Минимальный масштаб записи прибора	15 мм/град

Таблица 2

Требования МРС по проведению опыта кренования

№	Пункт "Правил..."	Понятие	Требуемое значение
1	2	3	4
1	2.1	Максимальное значение скорости ветра при проведении ОК	3,5 м/с
2	1.3	Максимальное значение угла начального крена судна	0,5°
3	1.5	Минимальное значение метацентрической высоты	0,2 м
4	1.10	Необходимый крен при расположении всего твердого крен-балласта на одном борту	2-4°

Окончание табл. 2

1	2	3	4
5	1.10	Необходимый крен при расположении всего крен-балласта на одном борту при креновании переходами людей.	1,5-2°
6	1.14.1	Методы, используемые при креновании твердым крен-балластом	-вески; -ватерпасы; -приборы.
7	1.14.2	Методы, используемые при креновании "переходами людей"	-приборы.
8	1.17	Минимальное количество весков	2
9	1.17	Минимальное количество приборов	2
10	1.17	Минимальное количество приборов и весков	2
11	1.15	Минимальное отклонение веска по рейке	150 мм
12	1.15	Минимальная длина нити веска	3 м
13	2.2	Точность измерения длины весков	5 мм
14	2.2	Точность измерения садки	10 мм
15	2.2	Точность измерения плечей перемещения крен-балласта	10 мм
16	2.2	Точность измерения отклонения веска	1 мм
17	2.2	Точность измерения отклонения инклинограмм	0,2 мм
18	2.2	Точность измерения массы крен-балласта	1%
19	2.2	Точность измерения времени	0,1 с
20	2.12.2	Минимальный масштаб записи прибора	15 мм/град

Если сопоставить табл. 1 и 2 то можно увидеть, что они имеют практически одинаковые данные и полностью идентичные данные по параметрам, необходимым при проектировании прибора.

В соответствии с РРР водоизмещение судна D и координаты ЦТ x_g и z_g необходимо вычислять по следующим формулам:

- при дифференте менее 0,005L:

$$D = \rho g V; \quad z_g = r + z_c - h_k; \quad x_g = x_c - R \operatorname{tg} \psi;$$

- при дифференте более 0,005L:

$$D = \rho g V; \quad z_g = z_c + (r - h_k) \cos \psi; \quad x_g = x_c - (r - h_k) \sin \psi,$$

где ρ – плотность забортной воды; g – ускорение свободного падения; V – объемное водоизмещение; r и R – поперечный и продольный метацентрические радиусы; x_c и z_c – абсцисса и аппликата центра величины; $h_k = \sum h_i / n$ – среднее значение поперечной метацентрической высоты; h_i – метацентрическая высота i -того измерения; n – число измерений; ψ – угол дифферента.

Теоретические элементы определяют любым достаточно точным способом или снимают с кривых элементов теоретического чертежа.

Качество опыта кренования следует устанавливать следующим образом:

- среднее квадратичное отклонение значений метацентрической высоты от среднего арифметического, м:

$$\sigma_h = \sqrt{\frac{\sum (h_i - h_k)^2}{n(n-1)}};$$

- доверительная точность опыта: $\varepsilon = t_{0,98} \sigma_h$.

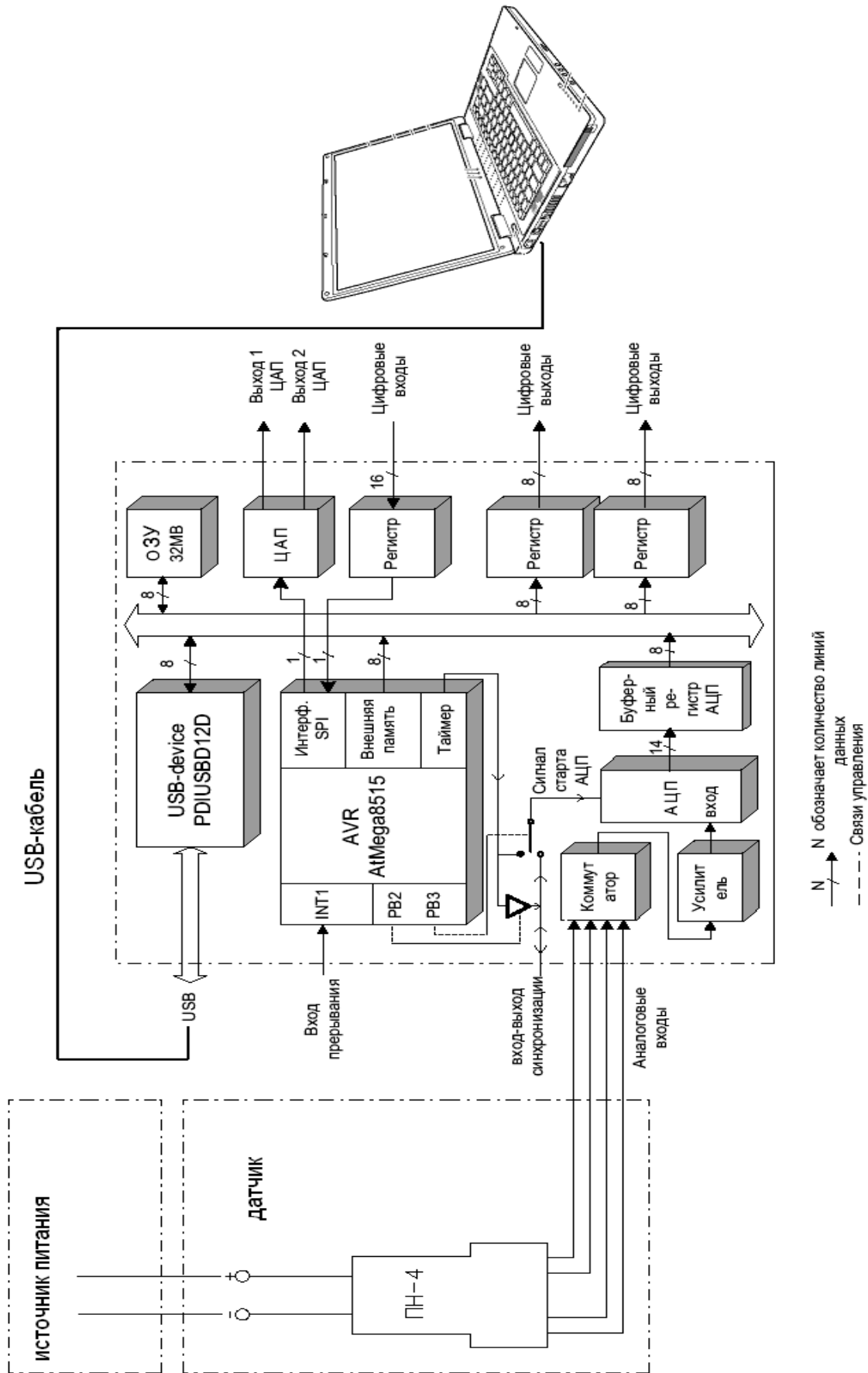


Рис. 1. Узловая схема прибора для проведения ОК

Инерционный коэффициент судна при креновании следует вычислять по формуле:

$$C = \frac{\tau \sqrt{h_k}}{B},$$

где τ – период бортовой качки судна, шириной B .

После рассмотрения перечисленных методов становится очевидно, что использование механических методов для автоматизированного проведения опыта кренования невозможно в силу отсутствия способа передачи измеренных параметров на средство обработки (ПК). Поэтому остается единственный вариант – электронные средства измерений.

Выбор датчика осуществляется по критериям, которые определяются несколькими положениями:

- определенная погрешность измерения датчика;
- определенный рабочий диапазон измерений датчика;
- возможность использования на судне;
- определенный максимальный собственный дрейф.

Из перечисленных критериев наиболее важными являются первые два, поскольку они определяют работоспособность прибора в принципе.

При изучении "Правил..." были получены данные по погрешности измерения датчика. Поскольку напрямую погрешность в градусах не указана, то определим ее по требованию к инклинограмме исходя из следующих соображений:

- 1) точность отклонения инклинограммы должна быть не более 0,2 мм;
- 2) масштаб записи инклинограммы должен быть не менее 15 мм/град.

Аналізу подвергались датчики, приведенные в табл. 3.

Таблица 3

Датчики измерения углов

Наименование	Предел измерений	Точность
ИН-ДЗ	$\pm 300''$ (расширенный $\pm 450''$)	не более $1''$
ПН-2	± 20 град	не более $3'$
ПН-4	$\pm 300''$ (расширение $\pm 450''$)	не более $1''$
ПН-5	$\pm 2^\circ$	не более $25''$
GNAMG	15° или 30° (на выбор)	$0,1^\circ$ (в пределе 15°) или $0,2^\circ$ (в пределе 30°)
RS-232	$\pm 0,1^\circ, \pm 0,5^\circ, \pm 2^\circ, \pm 10^\circ, \pm 20^\circ, \pm 60^\circ$	$\pm 0,1'', \pm 0,5'', \pm 2'', \pm 10'', \pm 20'', \pm 60''$
MS-TL	$0,5^\circ$	$60''$
ИЛИМ-01	$\pm 0,1^0$	$2''$

Из этих двух требований получаем, что погрешность измерения угла должна быть не более 0,013 град или 48". Находим, что наиболее подходящий датчик – ПН-5.

В общем случае прибор состоит из трех основных узлов: датчик, АЦП и ПК. Выбранные нами типы узлов представлены в табл. 4.

Таблица 4

Типы основных узлов проектируемого прибора

Узел	Тип	Примечание
1	2	3
Датчик наклона	ПН-5	См. пп. 3.4 и 3.10
Аналого-Цифровой преобразователь (АЦП)	Е-140	См. п. 6.5

Окончание табл. 4

1	2	3
Компьютер персональный	IBM PC – совместимый ПК	Предпочтение отдается ноутбуку для обеспечения мобильности прибора.
Источники питания	Штатные портативные источники питания	Датчики питаются от стандартных аккумуляторных батарей.
Кабели и интерфейсы	Штатные кабели и интерфейсы	Все узлы имеют современные USB-интерфейсы.
Программное обеспечение	Базовое и прикладное ПО	Базовое ПО – ПО, поставляемое с приборами, ОС на компьютере и проч. Прикладное ПО – ПО, разработанное специально для автоматизации опыта кренования.

Следует отметить, что в табл. 4 представлен полный комплекс узлов установки, в объеме, необходимом для проведения опыта кренования. Но, естественно, в сам прибор компьютер и базовое ПО входить не будут. Поэтому необходимо учитывать этот момент при проектировании схемы подключения прибора к ПК и при разработке прикладного программного обеспечения. Узловая схема прибора представлена на рис. 1.

Датчик должен быть установлен на судне в ДП на горизонтальной поверхности. Будем ориентироваться на три датчика, установленных на разных шпангоутах. Необходимым условием правильной ориентации прибора является совпадение рисок датчика с диаметральной плоскостью и плоскостью мидель-шпангоута, в противном случае показания прибора будут некорректными.

Установка датчика в одной точке представлена на рис. 2.

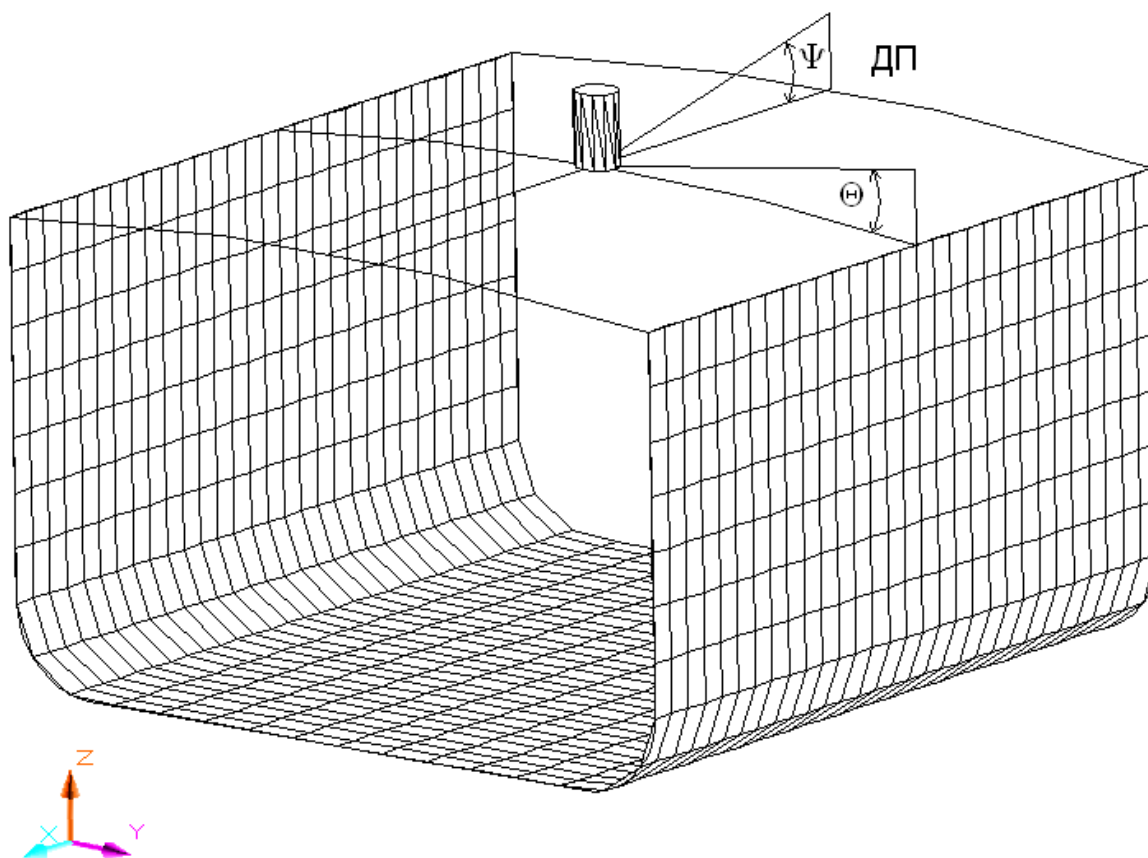


Рис. 2. Установка прибора в одной точке

Требования к программе для обработки данных опыта кренования:

1. Обработка производится в соответствии с правилами РРР.
2. Должна быть обеспечена возможность пошагового отслеживания результатов расчета.
3. Программа должна иметь по возможности простой и интуитивный интерфейс.
4. Должна быть предусмотрена возможность сохранения результатов в форматах

файлов программы.

5. Необходима возможность производить расчеты по формированию групп крен-балласта.

6. Программа должна генерировать отчет об ОК в форме, принятой РРР.

Реализация данных требований влечет за собой следующие особенности.

Поскольку для обеспечения общей функциональности требуется выполнять несколько отдельных задач, то программа использует модульный принцип. Т.е. код разбит на отдельные модули в которых решаются автономные задачи. Все модули будут в один проект, с возможностью обмениваться данными между собой.

Стиль программирования – объектно-ориентированный, в отдельных случаях процедурно-алгоритмический. Для расчетов используются численные методы. Для реализации объектно-ориентированного метода были созданы классы TShip и TInk, т.е. судно и инклинोगраммы. В эти классы инкапсулированы данные и методы, применяемые для обработки данных.

Интерфейс программы основан на основной форме и формах расчета, которые реализуют пошаговую концепцию проведения обработки опыта кренования.

Для обмена, сохранения и загрузки данных были разработаны следующие типы файлов со специальными расширениями:

.idf – файл данных инклинोगраммы;

.dpf – файл данных проекта;

.gpf – файл данных по группам крен-балласта;

.spf – файл данных по набору крен-балласта.

Библиографический список

1. Правила классификации и постройки судов внутреннего плавания (ПСВП) // Российский Речной Регистр. – М.: «По Волге», 2008. Т. 2. – 395 с.
2. Правила классификации и постройки морских судов // Российский морской регистр судоходства. – СПб: «Российский морской регистр судоходства», 2008. Т. 1. – 500 с.
3. Зуев В.А., Грамузов Е.М., Бусоргин Д.А. Комплекс для проведения опытов кренования. Свидетельство на полезную модель № 76629. Опубликовано: 27.09.2008.

*Дата поступления
в редакцию 18.10.2011*

D.A. Busorgin, V.A. Zuev, E.M. Gramuzov

HARDWARE AND SOFTWARE COMPLEX FOR CARRING OUT INCLINING EXPERIMENTS OF VESSELS

Hardware and software complex for inclining experiment of vessels is proposed. Complex allows to automate time-consuming operations needed for carrying out experiments, processing of the results and report writing as well as to improve the accuracy of the results.

Key words: hardware and software complex, inclining experiment, accuracy of experiments, automatization, vessel.