

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ЦЕНТРА ТЯЖЕСТИ ПЛАВАТЕЛЬНОГО СРЕДСТВА

**Артемьев А.В.¹, Горшков А.А.¹, Громашева О.С.²,
Оськин Д.А.¹**

¹Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского, г. Владивосток

²Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева, г. Владивосток
gromasheva@poi.dvo.ru

В связи с меняющейся обстановкой в мире, развитием новых подходов в научных исследованиях взаимодействия океана и атмосферы, в отечественном судостроении все больше становятся востребованными перспективные разработки, связанные с модернизацией и улучшением базовых процессов, обеспечивающих надежность и безопасность используемых объектов. Для расчетов остойчивости и непотопляемости судна используют данные кренования – опытного определения координат центра тяжести плавательного средства с учётом изменения весовой нагрузки. Этот процесс позволяет проверить положение центра тяжести судна, которое может отличаться от проектного из-за перераспределения масс.

Разработка программно-аппаратного комплекса для модернизации экспериментальной методике кренования судов проводилась в несколько этапов:

- сбор элементов системы из отдельных модулей, их экспериментальная проверка;
- построение алгоритма расчета основных данных, получаемых с датчиков;
- отладка начальной версии программного обеспечения системы с тремя, параллельно работающими источниками данных;
- стендовые испытания.

При проведении экспериментальных исследований в морской среде возникает необходимость расположения приборов на плаву-

чей платформе. Важной характеристикой объекта является центр тяжести – это точка приложения результирующей силы его тяжести. Другим значимым параметром является метацентрическая высота – основной критерий оценки остойчивости объекта на малых углах наклонения. Для оценки устойчивости такой платформы была разработана система, позволяющая провести измерения по определению метацентрической высоты судна [1–4].

Важным этапом разработки программно-аппаратного комплекса стало формирование и отработка взаимодействия модулей и моделей частей будущей системы. В результате была построена модель программы версии 1,0, налаженный процесс связи, получения данных с датчиков, а также и корректный расчет искомых величин.

В результате исследований было выяснено, что основное назначение регистрирующего, цифрового элемента системы заключается не в создании кривой (по типу инклинографа или другого набора промежуточных данных для дальнейшей обработки), а прямое получение угла наклона поверхности в опыте, а также основной, вертикальной оси у судна в случае опыта кренования.

Проведенные экспериментальные исследования показали, что для поставленной задачи будет достаточно использовать только один принцип регистрации угла наклона и соответствующий ему сенсор. Во время стендовых испытания хорошо себя зарекомендовал модуль инклинометра HWT31 производства фирмы WIT-motion, имеющий точность на уровне $0,05^\circ$ в динамике, все дальнейшие работы было принято решение проводить с ним.

Анализ полученных данных показал, что для решения таких задач лучшим вариантом является среда пакета LabVIEW и платформа графического программирования на языке «G», позволяющая формировать из представленных начальных блоков сложные и функциональные ячейки, а также создавать логические операторы, способные описать решение практически любой задачи.

Главным измерительным элементом системы является плата HWT31, которая представляет из себя небольшую, печатную плату с чипом акселерометра и снабжена модулем передачи цифрового сигнала виде двоичного по интерфейсу UART. Этот модуль снабжен специальными выводами на плате, с которых возможно получать последовательный сигнал набора данных о пространственном

положении датчика относительно земли. Для передачи информации от модуля-инклинометра использовался модуль беспроводной передачи на основе Bluetooth.

Перед натурными испытаниями был проведен еще один тест на динамическом стенде. Его целью была проверка всех блоков, их связи друг с другом, корректность отсылаемых и получаемых данных, проверка работы маркеров времени в узле перекодировки и сохранение в ячейках программы.

Целью финальных испытаний, осуществленных на реальном судне, стало выделение ранее не отслеживаемых логических ошибок, проверка исправности и чувствительности датчиков при другом типе качки измеряемого объекта. В качестве судна была использована действующая, гоночная яхта «ВИКИНГ».

Это судно идеально подходило для проведения тестового опыта. В реальных опытах кренования судна применяются многотонные, габаритные грузы, перемещаемые только с помощью берегового крана. Эти манипуляции, с точки зрения опыта, дорогие, трудо и время затратны, при условии, что могло потребоваться повторять перенос вновь и вновь при обнаружении неполадки или несовершенства системы. Учитывая, что Правилами Регистра допускается накренение маломерных судов группой людей, этот способ и был воплощен. Опыт проводился на тихой воде, сила ветра не превышала 3 метров в секунду, волн, практически не было. Водоизмещение судна определялось опытным путем, с помощью встроенных весов на кране, который перемещал судно со стоянки на воду. Оно составило 12,5 тонн. В качестве перемещаемого груза выступали 4 человека, общей массой в 0,262 тонны, плечо переноса составило 4 метра.

Главная задача, стоящая перед системой – подтвердить уже известные характеристики судна, что упрощало задачу и помогало найти неверно работающее звено, в случае обнаружения некорректности данных на входе.

В опыте участвовало 3 датчика, расположенных по диаметральной плоскости судна, на линии, проходящей посередине судна рассекая его на правый и левый борт. Первый датчик располагался в носовой части яхты, второй возле основания мачты, что есть почти середина длины судна, а третий находился ближе всех к ЦТ судна над вод штурвалом, это позволяло проверить, практически, выве-

денный тезис о полезности расположения датчиков ближе к нему. Как и в опыте на судне изначально груз, здесь в виде людей, был распределен поровну по бортам, начальный крен составлял $0,14^\circ$ (на ПБ) и не превышал допускаемой величины в 1 градус. В момент минимальной качки был произведен нулевой замер, который стал нулевым для отсчета дальнейших построений инклинограмм [5–7].

Была проведена имитация 8 полных переносов с целью выяснения качества опыта, однако оценивая схожесть получаемых данных и графиков, у дублирующих переносов, было принято решение сократить их число до 6.

Все полученные данные были успешно записаны и сохранены в программе. Программа рассчитала метацентрическую высоту по формуле (1):

$$h = \frac{57.3 \cdot M_B}{D \cdot \sin \theta}, \quad (1)$$

где M_B – кренящий момент, тм., D – водоизмещение судна, т; θ – угол крена, град. Тогда опытное судно имеет собственную метацентрическую высоту равную 1,47 м.

По итогам серии переносов, осреднений данных и расчетов была получена величина метацентрической высоты судна, что составила 1,46 м. Эта величина отличается от действительной на 0,01м., что составляет погрешность в 0,68%.

Результатом разработки программной части системы стала программа, интерфейс которой показан на рисунках ниже.

Результатом проведенным комплексным исследованиям, подтвержденным экспериментами и натурными испытаниями, стало создание системы на основе цифровых датчиков. По эффективности в плане точности и временных затрат для расчета характеристик судов, плавучей платформы или других объектов, учитывая характер их движения на воде, данная система превосходит существующие и применяемые на данный момент приборы, техники и методы.

В дальнейшем данная система после доработки и дополнительных испытаний на новых стендах и судах позволит полностью заместить существующую модель проведения опыта кренования, что существенно облегчит процесс определения основных характеристик судна.

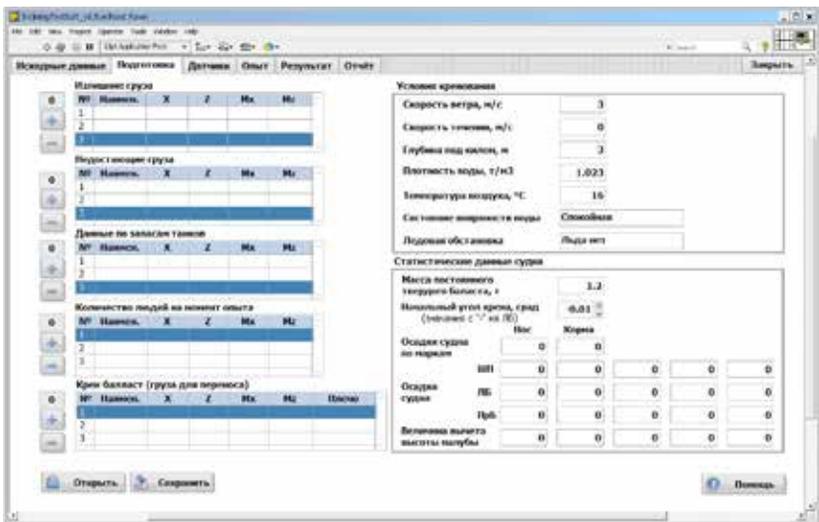


Рис. 1. Технические данные влияющие на осадку судна

Литература

1. Analyzing Efficiency of Using a Set of Metering Equipment to Solve Heading Problems / D. A. Oskin, A. A. Gorkhov, O. S. Gromasheva // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Virtual, Online, 10–12 января 2022 года. Virtual, Online, 2022. P. 032012. DOI 10.1088/1755-1315/988/3/032012. – EDN GDB-THM.
2. Experimental Research of an Array of Gyroscopic Sensors in Static Mode / D. A. Oskin, A. A. Gorkhov, V. V. Bocharova, O. S. Gromasheva // 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, Far-EastCon 2019, Vladivostok, 01–04 октября 2019 года. Vladivostok: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2019. P. 8933930. DOI 10.1109/FarEastCon.2019.8933930. – EDN XSKWYV.
3. Assessment of Drift of Gyroscopic Systems Built on the Basis of Microelectromechanical Sensors / A.V. Artemiev, A.A. Gorkhov, D.A. Oskin, O.S. Gromasheva // 2018 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2018, Vladivostok, 03–04 октября 2018 года. – Vladivostok: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2018. P. 8602489. – DOI 10.1109/FarEastCon.2018.8602489. – EDN WTXEMR.
4. Оценка дрейфа гироскопических систем, построенных на базе микроэлектромеханических сенсоров / А.В. Артемьев, О.С. Громашева, Д.А. Осъкин // Технические проблемы освоения Мирового океана. 2017. Т. 7. С. 310-314. EDN YMALLU.
6. Испытания датчиков в динамике для определения устойчивости плавучей платформы / А.В. Артемьев, А.А. Горшков, О.С. Громашева [и др.] // Физика

- геосфер: Материалы докладов, Владивосток, 11–15 сентября 2023 года. Владивосток: Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, 2023. С. 17-21. DOI 10.34906/9785604968383.017. – EDN BQQIWR.
7. Испытания инерционных датчиков для кренования в статике / А.В. Артемьев, А.А. Горшков, Д.А. Оськин [и др.] // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2024. № 9. С. 1-9. DOI 10.25791/pribor.9.2024.1521. EDN NWQVJZ.
 8. Испытания датчиков в динамике (на маятнике) / А.В. Артемьев, А.А. Горшков, Д.А. Оськин [и др.] // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2025. № 2. С. 17-25. DOI 10.25791/pribor.2.2025.1556. EDN DSYYZD.