

## ИСПЫТАНИЯ ДАТЧИКОВ В ДИНАМИКЕ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ПЛАВУЧЕЙ ПЛАТФОРМЫ

**Артемьев А.В.<sup>1</sup>, Горшков А.А.<sup>1</sup>, Громашева О.С.<sup>2</sup>,  
Оськин Д.А.<sup>1</sup>, Хайдаров З.Х.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*Морской государственный университет им. Адм. Г.И. Невельского, г. Владивосток*

<sup>2</sup>*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева, г. Владивосток*

<sup>3</sup>*ООО Проектная компания «Политест», г. Владивосток*

При исследованиях взаимодействия океана и атмосферы возникает необходимость расположения приборов на плавучей платформе. Для этого была разработана система, позволяющая провести исследования устойчивости такой платформы.

Центр тяжести плавучей платформы, как и любого другого объекта – это точка приложения результирующей силы его тяжести. Достаточно важным параметром является метацентрическая высота – основной критерий оценки остойчивости объекта на малых углах наклонения.

Разработан проект программно-аппаратного комплекса, предназначенного для исследования устойчивости платформы. С его помощью повышается точность измерений углов наклонения платформы, а главное, сокращается время от начала опыта до получения результата расчета. Проведена экспериментальная проверка, стендовые испытания характеристик эксплуатации и точности измерения новой системы. Как правило, в таких системах используются электронные датчики угла наклона, либо гироскопические приборы и устройства [1–4].

Для проверки соответствия заявленных характеристик датчика с его реальными возможностями были проведены стендовые испытания. В работе использовался динамический режим испытаний, целью которых являлось определение динамической точности датчика при качке и возмущении возникающих ускорений.

Для проведения лабораторных испытаний датчика на динамическую точность показаний был собран специальный стенд маятникового типа. Структурно он представляет из себя основание и свободно качающуюся штангу. Измеряемое отклонение штанги снималось и оцифровывалось аналого-цифровым преобразователем и обрабатывалось микроконтроллером, который вычислял значение угла отклонения. Выходные данные с датчика угла наклона преобразовывались преобразователем уровня TTL в RS-422 для передачи на расстояние и поступали на вход микроконтроллера.

лера, где помечались значением времени поступления и соответствующим углом отклонения стэнда для синхронизации результатов изменения во времени. Синхронизированные данные передавались на персональный компьютер, где производилась их запись.

Испытания проводились при различных статических углах отклонения штанги, различных амплитудах колебаний и расстояниях датчика от точки подвеса штанги. Каждое испытание при одинаковых параметрах повторялось не менее 3 раз. Пример временной диаграммы испытаний приведен на рис. 1.

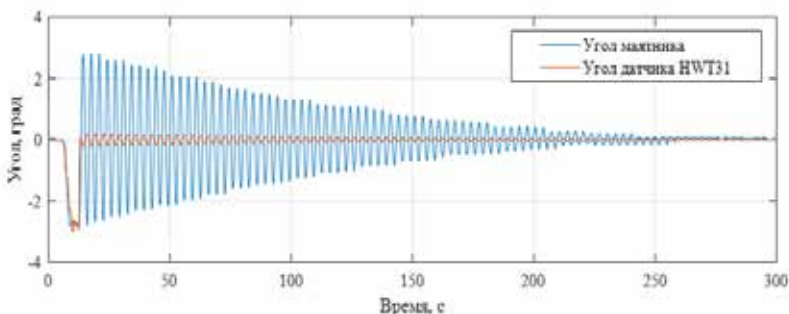


Рис. 1. Пример временной диаграммы записи углов отклонения датчика и штанги маятника во время испытаний.

Изначально испытания проводились с датчиком НWT905. При испытаниях с выполнением удержания перед запуском колебаний не были выявлены значительные отклонения измеренных датчиком амплитуд изменения угла и рассчитанных по ним среднего угла. Пример записи испытания с статическим углом отклонения равным  $\alpha_0$ , амплитудой, расстоянием датчика от подвеса штанги и периодам колебаний  $T = 3,35$  с приведен на рис. 2.

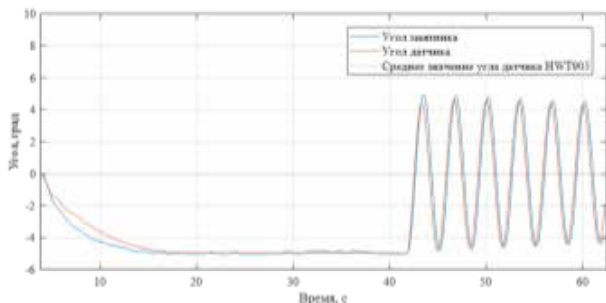
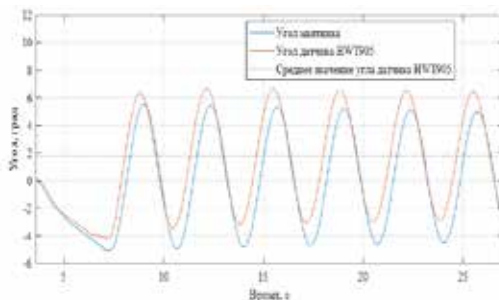


Рис. 2. Пример части записи временной диаграммы испытания датчика НWT905 при выдержке перед началом колебаний ( $\alpha_{ст} = 0^\circ$ ,  $\alpha_0 = 5^\circ$ ,  $R = 3$  м,  $T = 3,35$  с).

Ошибка измерения амплитуды отклонения датчика в максимальных значениях  $\Delta\theta = \theta - \alpha$  не превышала  $0,5^\circ$  на первом колебании и  $0,25^\circ$  на последующих, что значительно больше заявленных в характеристиках датчика для динамики. Ошибка среднего значения угла, рассчитанного по 5 периодам колебания, составляла  $\Delta\theta_{\text{ср}} = \theta_{\text{ср}} - \alpha_{\text{ст}}$ , то есть не более  $0,03^\circ$  и находится в требуемом диапазоне. При испытаниях без выполнения удержания перед запуском колебаний, были выявлены значительные отклонения измеренных датчиком амплитуд изменения угла и рассчитанного по ним среднего угла. Пример записи временной диаграммы подобного испытания приведен на рис. 3.

Рис. 3. Пример части записи временной диаграммы испытания датчика НWT905 без выдержки перед началом колебаний ( $\alpha_{\text{ст}} = 0^\circ$ ,  $\alpha_0 = 5^\circ$ ,  $R = 3$  м,  $T = 3,35$  с).



Ошибка измерения амплитуды отклонения датчика в максимальных значениях  $\Delta\theta = \theta - \alpha$  доходила до  $1,7^\circ$ . Ошибка среднего значения угла, рассчитанного по 5 периодам колебания, составляла  $\Delta\theta_{\text{ср}} = \theta_{\text{ср}} - \alpha_{\text{ст}} = 1,78^\circ$  и превышала требуемые более чем в 30 раз.

Анализ данных с датчика НWT905, полученных при испытаниях, показал, что значительные ошибки показаний датчика при опытах без предварительного удержания связана с конструкцией устройства и заложенным в него алгоритмом обработки измерений. Датчик имеет в своей конструкции акселерометр SCA3300 фирмы Murata и 9-осевой IMU-сенсор MPU9250 фирмы InvenSense с гироскопами, акселерометрами и магнитометром. В статике углы наклона измеряются по показаниям акселерометра SCA3300 с заявленной точностью, в динамике же измерения, благодаря подобранным коэффициентам фильтров в схеме комплексирования, производятся по проинтегрированным значениям угловых скоростей от гироскопов. Это дает значительную погрешность определения угла при большой разности показаний углов датчика и стенда при начале колебаний.

Несмотря на то, что при проведении опыта по определению параметров устойчивости платформы, динамические процессы происходят намного медленнее по сравнению с создаваемыми при испытаниях на стенде, и подобные ошибки, скорее всего, не встретятся на практике, было

принято решение отказаться от дальнейшего использования датчика НWT905 в пользу НWT31 той же фирмы. Этот датчик НWT31 представляет собой инклинометр, построенный на базе такого-же акселерометра, что и НWT905, но не имеет в своем составе других сенсоров.

Пример испытаний датчика НWT31 без выполнения удержания перед запуском колебаний на подобии описанного выше для НWT905 приведен на рис. 4.

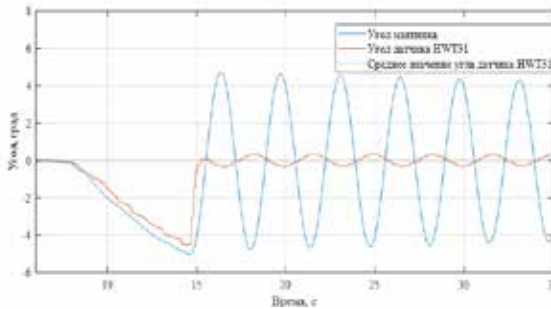


Рис. 4. Пример части записи временной диаграммы испытания датчика НWT31 без выдержки перед началом колебаний ( $\alpha_{ст} = 0^\circ$ ,  $\alpha_0 = 5^\circ$ ,  $R = 3$  м,  $T = 3,33$  с).

Ошибка измерения амплитуды отклонения датчика в максимальных значениях определяется по формуле  $\Delta\theta = \theta - \alpha = -5,09^\circ$  на первом колебании. Это связано с отсутствием гироскопов в датчике, значением коэффициента фильтра и воздействием тангенциального ускорения, расчетное значение которого составляло при первом периоде колебания:

$$a_{т.м} = R\theta \left( \frac{2\pi}{T} \right)^2 = 3 \cdot 4,73^\circ \left( \frac{2 \cdot 3,14}{3,33} \right)^2 = 0,876 \text{ м/с}^2.$$

Теоретическое расчетное значение определения угла инклинометром в таком случае

$$\theta_{рас} = \arctan \left( \frac{g \sin \theta - a_{т.м}}{g \cos \theta} \right) = \arctan \left( \frac{9,81 \sin(4,73^\circ) - 0,816}{9,81 \cos(4,73^\circ)} \right) = -0,39^\circ$$

Измеренное значение равно  $\theta = -0,35^\circ$ . Оба значения имеют противоположный знак, и различаются на  $0,05^\circ$ . Ошибка среднего значения угла, рассчитанного по 5 периодам колебаний, составляла  $\Delta\theta_{ср} = \theta_{ср} - \alpha_{ст} = 0^\circ$ .

Результатом проведенной работы стало формирование критериев точности измерительных приборов, необходимых для надежного определения углов крена плавучей платформы, учитывая характер ее движения на воде. Стендовые испытания подтвердили технические характеристики приборов, на основании которых был скорректирован алгоритм расчета центра тяжести платформы.

## Литература

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