

Н.А. Поляков¹, С.Г. Чулкин²

СТАТИЧЕСКАЯ БАЛАНСИРОВКА СБОРНОГО ГРЕБНОГО ВИНТА ЧЕРЕЗ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕНТРА МАСС ЕГО СОСТАВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ



¹Никита Александрович Поляков,
Санкт-Петербургский государственный морской технический
университет
Россия, Санкт-Петербург
Тел.: 8-950-000-64-41, E-mail: nik.polyakov2010@yandex.ru.



²Сергей Георгиевич Чулкин,
Санкт-Петербургский государственный морской технический
университет
Россия, Санкт-Петербург
Тел.: 8-911-226-17-01 E-mail: sergej.chulkin@yandex.ru

Аннотация

В работе рассмотрены вопросы балансировки гребного винта через суперпозицию отбалансированных его элементов с контролем балансировки через определение смещения центра масс его составных элементов. В результате аналитических исследований выведены критерии отбалансированного элемента гребного винта в соответствии с требованиями Российского морского регистра судоходства. Также в работе составлены выражения для определения координат центра масс изделия, установленного на платформу балансировочного стенда.

Ключевые слова: судостроение, гребной винт, статическая балансировка, центр масс.

Введение

Общая тенденция в промышленности к увеличению мощности, скорости работы различных устройств, связанных с передачей или преобразованием энергии, в частности таких как турбины и пропульсивные

комплекты, приводит к необходимости особого внимания к изготовлению их деталей. Так дисбаланс роторов турбин, гребных винтов снижает надежность и безопасность эксплуатации данных технических объектов и комплексов в целом. Так в немалом количестве работ в области судостроения проводились исследования вибрации в пропульсивном комплексе и ее влияние на понижение точности центровки валолинии, усталостное разрушение валопровода, подшипников, корпуса судна, воздействие на условия труда и отдыха персонала судна, а также повышение уровня акустического загрязнения окружающей среды [1-5]. Столь обширное воздействие вибраций на судно приводит к необходимости поиска способов ее анализа, прогноза и снижения уровня ее негативного воздействия [6-8].

Для гребных винтов эффективным способом снижения вибраций является их балансировка. Винты в зависимости от скоростей эксплуатации подвергаются статической и динамической балансировке [9].

Ранее были разработаны различные конструкции стендов и специальных приспособлений для статической балансировки цельнолитых гребных винтов [10-15], а также сборных гребных винтов регулируемого шага [16,17]. Наиболее полно обобщен и систематизирован теоретический и практический опыт балансировки гребных винтов в книге С.М. Гороховского [18]. Из работ [18,19] видно, что самым простым и распространенным способом статической балансировки гребных винтов является балансировка на ножах. Данный способ балансировки, а также альтернативные рассмотренные выше, ввиду современного уровня науки и техники являются нетехнологичными, особенно для крупногабаритных, сборных гребных винтов, винтов регулируемого шага ввиду следующих аспектов.

На крупногабаритных сборных винтах внутренняя поверхность обтекателя подвергается формообразованию путем литья и не подлежит механической обработке. В случае смещения полуформ литьевой оснастки и, как следствие, смещения главной оси инерции относительно геометрической оси вращения обтекателя, возникнет дисбаланс, которой невозможно оценить ввиду применения при балансировке гребного винта на ножах фальш вала, проходящего сквозь ступицу гребного винта и место установки обтекателя;

Балансировка тяжеловесных гребных винтов, масса которых может превышать 100 т, а диаметральный размер более 7м, становится сложной для реализации технической задачей недоступной для материального оснащения многих производств. Также большие массы изделий и оснастки снижают точность балансировки ввиду пропорционально высоких сил трения;

Для обеспечения взаимозаменяемости лопастей сборного гребного винта необходима балансировка на фальш валу относительно эталонной лопасти с наименьшей массой, выбранной из всего объема поставки. Такой подход не позволяет производить балансировку и сборку винта сразу после получения отливок. Возможна балансировка лопастей относительно эталона, однако целесообразно изготовления эталона после взвешивания всех лопастей, что также не позволяет производить балансировку и сборку винтов до окончательной механической обработки последней лопасти в партии.

Балансировка на ножах не позволяет отбалансировать винты с изменяемым шагом относительно оси вращения лопастей.

Исходя из вышеперечисленной проблематики, авторы видят решение в балансировке крупногабаритных сборных гребных винтов через определение смещения центра масс их составных элементов на измерительной платформе (балансировочном стенде) относительно допускаемой области с последующим аналитическим расчетом места и объема снимаемого дисбалансирующего материала.

Балансировочные стенды для определения положения центра масс объекта широко исследуются и применяются в ракетостроении. Ранее были опубликованы работы по разработке стендов работающих по разным принципам, через взвешивание на кране с применением специальных траверс и им подобных приспособлений [20-26], через маятниковую систему с грузами на качающейся платформе [27-29], через измерение амплитуды колебаний измерительной платформы с объектом измерения [30], через измерение тензодатчиками усилий воздействия измерительной платформы [31-34], а также улучшенный предыдущий вариант измерительной платформы позволяющая измерять также и в динамике тензор инерции [35].

Рассмотрев разработанные варианты стендов, можно сказать, что прототипов и технических решений достаточно для их переосмысления и применения в судостроении.

Целью данной работы является создание теоретической базы для определения дисбаланса сборных гребных винтов через определение центра тяжести их элементов.

Задачи работы:

- определить условие отбалансированного гребного винта через координаты центра тяжести элемента гребного винта;

- теоретически сформулировать порядок расчета координат центра тяжести элементов гребного винта исходя из выбранной конструкции балансировочного стенда.

Методы

Поставленные задачи в настоящей работе решаются аналитическим методом. Научная значимость данной работы заключается в создании формализованной связи требований Российского морского регистра судоходства (РМРС) и методикой балансировки гребных винтов через определение центра масс (ц.м.)

Результаты

По ГОСТ 8054 [36], а также по требованиям РМРС [37] гребной винт считается сбалансированным, если масса контрольного груза, приводящего винт во вращение при установке его на конец каждой горизонтально расположенной лопасти винта, меньше:

$$m \leq K \frac{m_b}{R}, \quad (1)$$

где m - масса контрольного груза, кг;

m_b - масса гребного винта, т;

R - радиус гребного винта, м;

K - коэффициент, принимаемый по таблице 1 [36, 37].

Таблица 1 Коэффициент K для гребных винтов

Номинальная частота вращения гребного винта, об/мин.	Коэффициент K для гребных винтов массой	
	До 10 т	Свыше 10 т
До 3,33 (200)	0,75	0,50
Св 3,33 до 8,33 (св.200 до 500)	0,5	
Св. 8,33 (500)	0,25	

Момент, приводящий гребной винт во вращение, должен превышать момент, вызванный его смещённым центром тяжести. Причем для выполнения условия взаимозаменяемости лопастей сборного гребного винта [40] примем, что каждая лопасть может создать статический момент не более определенной части общего допускаемого момента на гребной винт, определяемый отношением s_3/n , где n - коэффициент допуска балансировки на элемент гребного винта (в случае упрощенного расчета может быть принят равным количеству лопастей в винте). Таким образом, максимальный допустимый статический момент элемента гребного винта (э.г.в.) можно определить по формуле:

$$s_3 = K \frac{m_b g R}{R} = K \frac{m_b g}{n}, \quad (2)$$

где S_3 – максимальная допускаемая величина статического момента создаваемого элементом гребного винта, Н*м.

Статический момент в гребном винте относительно оси гребного вала будет возникать при изменении координат центра тяжести и массы э.г.в. относительно номинального/проектного исполнения.

$$\Delta r * m_3 \leq S_3 , \quad (3)$$

где m_3 - масса элемента гребного винта, кг;

Δr -расстояние от номинального до фактического центра масс, м;

S_3 -максимальный допустимый статический момент создаваемый лопастью.

Также можно представить уравнение (3) через изменение массы э.г.в. и расстояние от номинального центра масс до центра масс дисбаланса:

$$l * \Delta m_3 \leq S_3 , \quad (4)$$

где Δm_3 – отклонение э.г.в., кг;

l -расстояние от номинального центра масс винта до центра масс дисбаланса (добавленного или недостающего объема материала относительно номинальной лопасти/геометрии лопасти), м;

S_3 -максимальный допустимый статический момент создаваемый э.г.в.

Величина допуска на координаты центра тяжести может быть сформулирована в виде зависимости от величины фактической массы лопасти и выражена из уравнения (5).

$$\Delta r \leq \frac{S_3}{m_3} , \quad (5)$$

где m_3 - масса лопасти, кг;

Δr -расстояние от номинального до фактического центра масс, м;

S_3 -максимальный допустимый статический момент создаваемый лопастью.

Тогда условием отбалансированного гребного винта будет выполнение условия (5) для всех значимых с точки зрения создаваемого момента элементов гребного винта.

Определение центра тяжести лопасти

Для определения величины статического момента, создаваемого э.г.в. балансировки лопасти с целью проверки выполнения условия (5), необходимо определить расположение центра тяжести. Определение предлагается при помощи балансировочного стенда, представляющего из себя рабочий стол, опирающийся на 3 тензодатчика (рис.1). На рабочий стол устанавливаются элементы гребного винта лопасти, обтекатели, ступицы, после определения нагрузок воспринимаемых тензодатчиками определяется координаты центра тяжести измеряемого изделия.

Для определения координат центра тяжести достаточно составить уравнения моментов относительно осей плоскости рабочего стола станда согласно уравнениям (4) и (5) из которых можно выразить координаты центра масс измеряемого изделия – уравнения (6) и (7).

Для измерения центра тяжести могут быть применены разные конструкции балансировочного станда в зависимости от типа гребного винта. Для ВФШ достаточно определения двух координат центра масс в сечении оси вращения винта. Для ВРШ необходимо также определение 3й координаты центра масс лопасти. Для определения координат центра тяжести лопасти во всех сечениях может быть применена специальная оснастка с установкой лопасти на рабочий стол балансировочного станда в разных положениях, либо применение наклонной платформы станда. В таком случае (рис.2) зная угол наклона рабочего стола α и величину смещение координат центра тяжести (согласно расчетной схеме на рис.3) можно определить координату центра тяжести по высоте лопасти с помощью формулы 8.

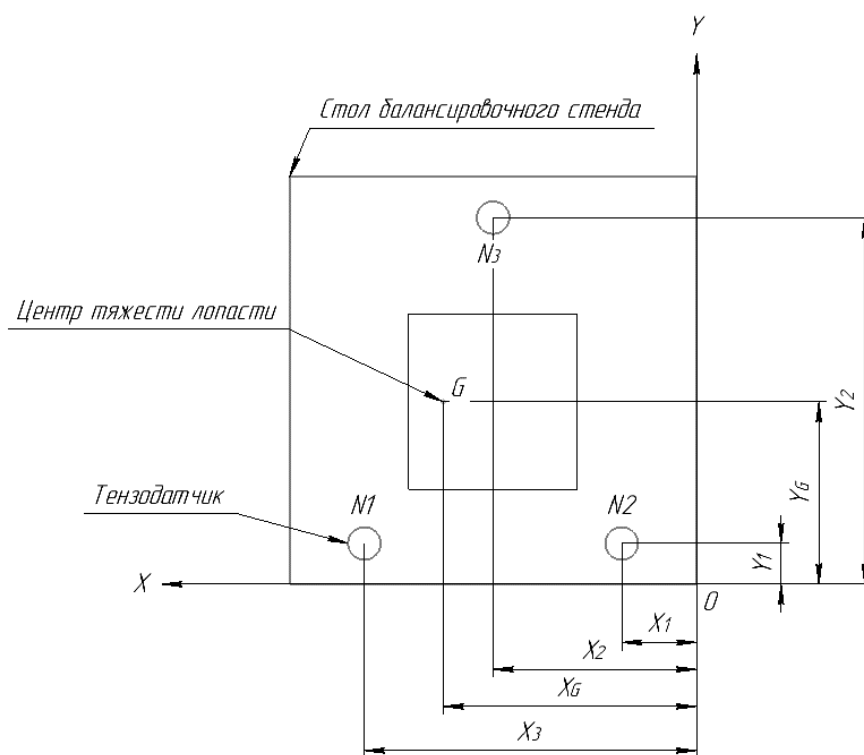


Рис. 1. Расчет центра тяжести лопасти.
N1, N2, N3 – реакции фиксируемые тензодатчиками

$$\sum M_{ox} = Y_1(N_1 + N_2) + Y_2(N_3) - GY_G = 0 \quad (6)$$

$$\sum M_{oy} = X_1(N_2) + X_2(N_3) + X_3(N_1) - GX_G = 0 \quad (7)$$

$$Y_G = \frac{Y_1(N_1 + N_2) + Y_2(N_3)}{G} \quad (8)$$

$$X_G = \frac{X_1(N_2) + X_2(N_3) + X_3(N_1)}{G} \quad (9)$$

Тогда согласно расчетной схеме 3, длину отрезка $Z_G G_X$ можно вычислить по формуле:

$$Z_G G_X = \frac{X_G - X_{GA}}{\operatorname{tga}} = \frac{GxGa}{\operatorname{tga}} \quad (10)$$

где $Z_G G_X$ - координата центра тяжести по координате Z;
 X_G -координата центра тяжести до наклона рабочего стола;
 X_{GA} -координата центра тяжести после наклона рабочего стола.

X_{GA} и X_G -определяются по формуле (9).

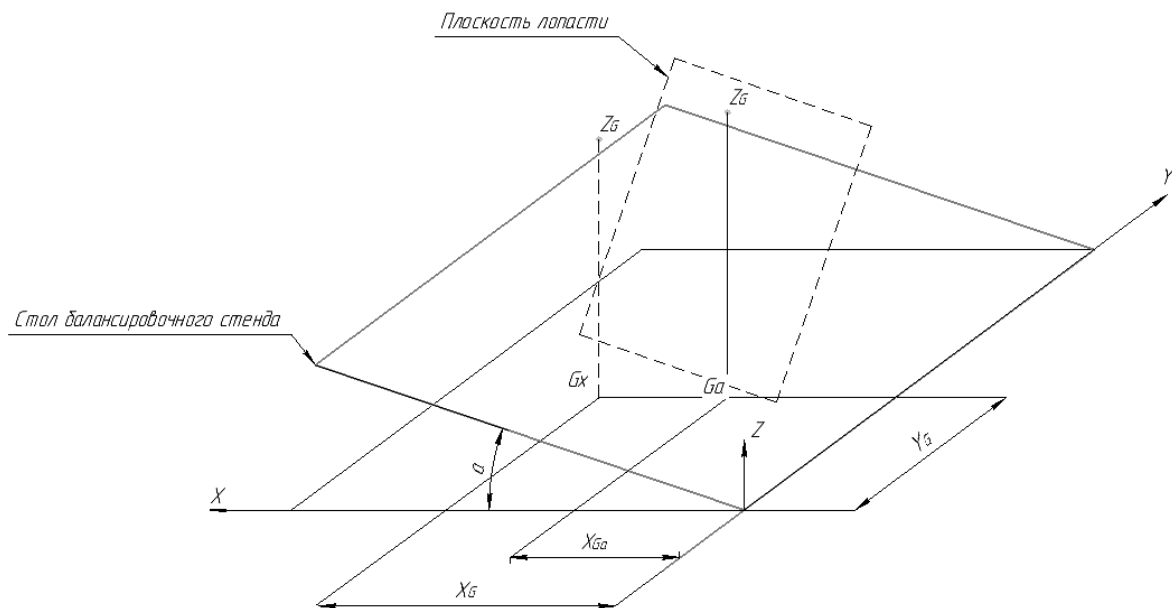


Рис. 2. Схематичное изображение наклона стола на угол α

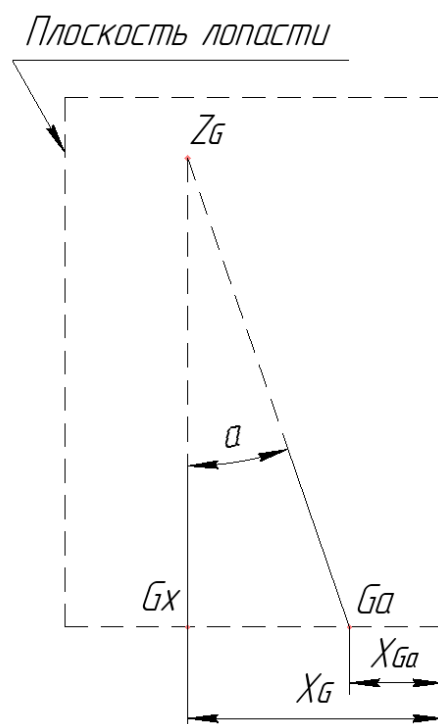


Рис. 3. Расчётная схема определение положения

Обсуждение

Полученный результат работы предоставляет возможность применения новой конструкции балансировочного стенда для балансировки крупногабаритных сборных и цельнолитых гребных винтов.

Дополнительным направлением к последующим исследованиям будет определение коэффициента допуска балансировки для каждого элемента гребного винта, что позволит рационально перераспределить допуска на центры масс в гребном винте.

После рассмотрения стендов из ракетостроительной отрасли, можно сказать, что конструкция стендов для судостроения окажется проще благодаря меньшему количеству измеряемых параметров и не столь высоким требованиям к точности измерений. Однако определение требований к точности измерения координат центра масс элементов гребного винта является дополнительным вопросом к последующим работам.

Заключение

Таким образом сформированы базовые положения для определения дисбаланса сборных гребных винтов через определение центра тяжести их элементов.

Определено условие отбалансированного гребного винта через координаты центра тяжести его составных элементов.

Теоретически сформулирован порядок расчета координат центра тяжести элементов гребного винта исходя из выбранной конструкции балансирующего стенда.

Полученные результаты закладывают основу для создания теоретической базы балансировки сборных гребных винтов путём определения центра масс их составных элементов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Sharma, S. K. Propelling precision of longitudinal vibration mitigation in ship propeller shafts through advanced nonlinear intelligent semi-active control leveraging adaptive neuro-fuzzy inference system with linear quadratic regulator / S. K. Sharma, R. Ch. Sharma, Ja. Lee // *Journal of Vibration and Control*. – 2024. – DOI 10.1177/10775463241244836.
- [2] Korczewski, Z. Energy Analysis of the Propulsion Shaft Fatigue Process in a Rotating Mechanical System Part II Identification Studies – Developing the Fatigue Durability Model of a Drive Shaft / Z. Korczewski, K. Marszałkowski // *Polish Maritime Research*. – 2020. – Vol. 27, No. 2. – P. 120-124. – DOI 10.2478/pomr-2020-0033.
- [3] Kolle Kleivane, S. Reliability Analysis of Crack Growth Occurrence for a Secondary Hull Component Due to Vibration Excitation / S. Kolle Kleivane, B. J. Leira, S. Steen // *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering*. – 2024. – Vol. 146, No. 5. – DOI 10.1115/1.4064499.
- [4] Minchev, Yu. Mechano-mathematical model and experimental results on the dynamic relation between marine propeller oscillation and main Ship engine / Yu. Minchev, I. Minchev // *Environment. Technology. Resources*. – 2024. – Vol. 3. – P. 185-189. – DOI 10.17770/etr2024vol3.8125.
- [5] Frequency Based Damage Detection and Localization of Propeller Shaft of a Ship Using Experimental Modal Analysis // *Journal of Science and Technolgy*. – 2020. – No. Volume 5. – P. 188-198. – DOI 10.46243/jst.2020.v5.i4.pp188-198.
- [6] Analysis of the Underwater Radiated Noise Generated by Hull Vibrations of the Ships / R. F. Javier, R. Jaime, P. Pedro [et al.] // *Sensors*. – 2023. – Vol. 23, No. 2. – P. 1035. – DOI 10.3390/s23021035.
- [7] Beltrán Palomo, P. The great challenge of propeller cavitation in shipbuilding. Continuous control with the innovative Non-Intrusive Cavitation Detection System (Ni-CDS) / P. Beltrán Palomo, R. García Méndez, L. A. Piqueras // *Ciencia y tecnología de buques*. – 2023. – Vol. 17, No. 33. – P. 21-32. – DOI 10.25043/19098642.239.

- [8] Analytical study on longitudinal vibration characteristics of the coupled shaft and conical-cylindrical shell / C. Zhang, Y. Tian, D. Xie, L. Yang // Ocean Engineering. – 2021. – Vol. 223. – P. 108691. – DOI 10.1016/j.oceaneng.2021.108691.
- [9] Яковлев, Л. П. Балансировка гребных винтов / Л. П. Яковлев // Современные проблемы логистики, экономики, управления в эпоху глобальных вызовов : материалы II Международной заочной научно-практической конференции, Астрахань, 14 декабря 2022 года. – Астрахань: Индивидуальный предприниматель Сорокин Роман Васильевич (Издатель: Сорокин Роман Васильевич), 2023. – С. 233-238.
- [10] Авторское свидетельство № 1504525 А1 СССР, МПК G01M 1/12. Устройство для статической балансировки изделий : № 4015122 : заявл. 03.02.1986 : опубл. 30.08.1989 / П. В. Рехкалайнин, Г. Е. Гладков, Е. С. Миркович.
- [11] Авторское свидетельство № 1562721 А1 СССР, МПК G01M 1/12. Устройство для статической балансировки : № 4452650 : заявл. 01.07.1988 : опубл. 07.05.1990 / И. В. Апраксин, Б. В. Бушев ; заявитель ПРЕДПРИЯТИЕ П/Я А-1944.
- [12] Авторское свидетельство № 781645 А1 СССР, МПК G01M 1/12. Устройство для статической балансировки вращающихся изделий : № 2536710 : заявл. 26.10.1977 : опубл. 23.11.1980 / В. Т. Гох, О. В. Стецюк, И. Н. Чичин ; заявитель ПРЕДПРИЯТИЕ П/Я М-5828.
- [13] Авторское свидетельство № 794409 А1 СССР, МПК G01M 1/12. Стенд для статической балансировки гребных винтовых : № 2725409 : заявл. 16.02.1979 : опубл. 07.01.1981 / А. М. Кац, К. А. Пугач, В. Я. Хейфец ; заявитель ПРЕДПРИЯТИЕ П/Я Г-4780.
- [14] Авторское свидетельство № 540181 А1 СССР, МПК G01M 1/12. Стенд для статической балансировки гребных винтов : № 1981083 : заявл. 24.12.1973 : опубл. 25.12.1976 / А. Е. Гриншпун, В. Б. Файнман, В. Я. Хейфец.
- [15] Авторское свидетельство № 920416 А1 СССР, МПК G01M 1/12. Стенд для статической балансировки гребных винтов : № 2966250 : заявл. 21.07.1980 : опубл. 15.04.1982 / А. М. Кац, К. А. Пугач ; заявитель ПРЕДПРИЯТИЕ П/Я Г-4780.
- [16] Авторское свидетельство № 1062125 А1 СССР, МПК В63Н 1/14, G01M 1/12. Устройство для статической балансировки съемных лопастей преимущественно гребного винта : № 3489509 : заявл. 07.09.1982 : опубл. 23.12.1983 / А. В. Минаенко, О. Л. Потемкин, В. И. Лосев ; заявитель ПРЕДПРИЯТИЕ П/Я Г-4217.
- [17] Авторское свидетельство № 115058 А1 СССР, МПК G01M 1/12. Приспособление для определения двух ортогональных статических

- моментов отъемных лопастей гребных винтов : № 571302 : заявл. 16.04.1957 : опубл. 01.01.1958 / Г. И. Копелиович.
- [18] Гороховский С.М. Балансировка гребных винтов. — Ленинград : Судостроение, 1964. — 143 с.
- [19] Чулкин С. Г. Технология создания морской техники учебное пособие, / С.Г. Чулкин, П.М. Лысенков, В.И. Черненко; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский государственный морской технический университет". — Санкт-Петербург : Изд-во СПбГМТУ, 2017. — 167 с. ил., табл.; 20. — ISBN 978-5-88303-575-2
- [20] Макаров, И. И. Преимущества и недостатки горизонтального расположения изделий при определении координат центра масс / И. И. Макаров // Технология машиностроения. — 2016. — № 1. — С. 43-49.
- [21] Автоматизированный стенд компьютерного контроля инерционных характеристик изделий в сборочном производстве / Е. В. Кочкин, Е. В. Матвеев, А. В. Медарь, В. И. Меденков // Сборка в машиностроении, приборостроении. — 2014. — № 10. — С. 15-17.
- [22] Автоматизированный стенд компьютерного контроля инерционных характеристик изделий в сборочном производстве / Е. В. Кочкин, Е. В. Матвеев, А. В. Медарь, В. И. Меденков // Сборка в машиностроении, приборостроении. — 2014. — № 10. — С. 15-17.
- [23] Авторское свидетельство № 1252678 А1 СССР, МПК G01M 1/12. Устройство для определения координат центра масс изделий : № 3834847 : заявл. 04.01.1985 : опубл. 23.08.1986 / Ю. Я. Черных, А. Н. Бурдин ; заявитель ПРЕДПРИЯТИЕ П/Я А-7650.
- [24] Патент № 2100783 С1 Российская Федерация, МПК G01G 19/14. способ определения координат центра массы объекта : № 4918701/28 : заявл. 29.12.1990 : опубл. 27.12.1997 / Ю. Д. Мешков.
- [25] Патент на полезную модель № 133824 U1 Российская Федерация, МПК B66F 11/00. устройство для определения центра масс : № 2013131701/11 : заявл. 10.07.2013 : опубл. 27.10.2013 / С. М. Шершаков, А. В. Сафронов, С. И. Лемесев [и др.] ; заявитель Федеральное государственное унитарное предприятие "Центральный институт авиационного моторостроения им. П.И. Баранова".
- [26] Патент на полезную модель № 114526 U1 Российская Федерация, МПК G01M 1/12. устройство для определения продольной координаты центра масс изделия : № 2011146517/28 : заявл. 16.11.2011 : опубл. 27.03.2012 / С. В. Качалов, Г. А. Качалова, В. В. Воронцова ; заявитель Открытое акционерное общество "Научно-производственное объединение "Сатурн".

- [27] Авторское свидетельство № 1310649 А1 СССР, МПК G01М 1/12. Устройство для определения координат центра масс изделий : № 3660406 : заявл. 02.11.1983 : опубл. 15.05.1987 / В. А. Борисов, Ю. Н. Воеводин, Л. А. Жучков [и др.].
- [28] Патент № 2027159 С1 Российская Федерация, МПК G01М 1/12. Способ определения координат центра масс изделия и устройства для его осуществления : № 5055020/28 : заявл. 28.05.1992 : опубл. 20.01.1995 / В. В. Крылов, В. В. Крылов, И. П. Сайдачаков, Е. Я. Лукьянцев.
- [29] Авторское свидетельство № 845032 А1 СССР, МПК G01М 1/12. Способ определения координат центра масс изделий : № 2677728 : заявл. 19.10.1978 : опубл. 07.07.1981 / В. Б. Бурыкин, В. В. Крылов, А. М. Плахов [и др.] ; заявитель ПРЕДПРИЯТИЕ П/Я В-2190.
- [30] Авторское свидетельство № 1795317 А1 СССР, МПК G01М 1/12. Способ определения положения центра масс объекта : № 4849137 : заявл. 09.07.1990 : опубл. 15.02.1993 / В. А. Комаров, В. Л. Куш, Н. Ф. Хильченко, А. В. Егоршев ; заявитель КИЕВСКОЕ ВЫСШЕЕ ВОЕННОЕ АВИАЦИОННОЕ ИНЖЕНЕРНОЕ УЧИЛИЩЕ.
- [31] Авторское свидетельство № 1460630 А1 СССР, МПК G01М 1/12, G01L 7/02. Устройство для определения положения и координат центра масс изделия : № 4253260 : заявл. 01.06.1987 : опубл. 23.02.1989 / Д. М. Гориневский ; заявитель ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ АН СССР.
- [32] Патент № 2458328 С1 Российская Федерация, МПК G01М 1/12. Устройство для определения массы и положения центра масс изделия : № 2011116229/28 : заявл. 26.04.2011 : опубл. 10.08.2012 / Е. В. Матвеев, Е. В. Кочкин, А. В. Медарь, В. И. Меденков ; заявитель ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ "НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ "ТЕХНОМАШ".
- [33] Патент № 2485466 С1 Российская Федерация, МПК G01М 1/12. Способ определения массы и положения центра масс изделия и устройство для его осуществления : № 2011151309/28 : заявл. 16.12.2011 : опубл. 20.06.2013 / Е. В. Матвеев, А. В. Блинов, Е. В. Кочкин ; заявитель ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ "НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ "ТЕХНОМАШ".
- [34] Авторское свидетельство № 1265505 А1 СССР, МПК G01М 1/12. Устройство для определения массы и координат центра масс изделия : № 3921478 : заявл. 03.07.1985 : опубл. 23.10.1986 / В. И. Феофилактов ; заявитель ПРЕДПРИЯТИЕ П/Я В-8597.
- [35] Патент № 2830397 С1 Российская Федерация, МПК G01М 1/10. Стенд для измерения массы, координат центра масс и моментов инерции

изделий : № 2024117666 : заявл. 26.06.2024 : опубл. 18.11.2024 / М. М. Богатырев, С. В. Дыцков, В. В. Лютов [и др.] ; заявитель Федеральное автономное учреждение "Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского".

- [36] ГОСТ 8054-81 ИПК Издательство стандартов. Винты гребные металлические. Общие технические условия, 1981-10 с;
- [37] Российский морской Регистр судоходства. Правила классификации и постройки морских судов. Часть 7, СПб., 2025. – 109 с

N. Polyakov, S. Chulkin

STATIC BALANCING OF A PREFABRICATED PROPELLER BY DETERMINING THE CENTER OF MASS OF ITS COMPONENTS

Saint Petersburg State Maritime Technical University,
Russia, Saint Petersburg

Abstract

The paper considers the issues of balancing a propeller through a superposition of its balanced elements with balancing control through determining the displacement of the center of mass of its constituent elements. As a result of the work, the criteria for a balanced propeller element are derived in accordance with the requirements of the RMRS. Expressions for determining the coordinates of the center of mass of a product mounted on a balancing stand platform are also compiled in the work.

Key words: shipbuilding, propeller, static balancing, center of mass.

REFERENCES

- [1] Sharma, S. K. Propelling precision of longitudinal vibration mitigation in ship propeller shafts through advanced nonlinear intelligent semi-active control leveraging adaptive neuro-fuzzy inference system with linear quadratic regulator / S. K. Sharma, R. Ch. Sharma, Ja. Lee // Journal of Vibration and Control. – 2024. – DOI 10.1177/10775463241244836.
- [2] Korczewski, Z. Energy Analysis of the Propulsion Shaft Fatigue Process in a Rotating Mechanical System Part II Identification Studies – Developing the Fatigue Durability Model of a Drive Shaft / Z. Korczewski, K. Marszałkowski // Polish Maritime Research. – 2020. – Vol. 27, No. 2. – P. 120-124. – DOI 10.2478/pomr-2020-0033.
- [3] Kolle Kleivane, S. Reliability Analysis of Crack Growth Occurrence for a Secondary Hull Component Due to Vibration Excitation / S. Kolle Kleivane,

- B. J. Leira, S. Steen // Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering. – 2024. – Vol. 146, No. 5. – DOI 10.1115/1.4064499.
- [4] Minchev, Yu. Mechano-mathematical model and experimental results on the dynamic relation between marine propeller oscillation and main Ship engine / Yu. Minchev, I. Minchev // Environment. Technology. Resources. – 2024. – Vol. 3. – P. 185-189. – DOI 10.17770/etr2024vol3.8125.
- [5] Frequency Based Damage Detection and Localization of Propeller Shaft of a Ship Using Experimental Modal Analysis // Journal of Science and Technolgy. – 2020. – No. Volume 5. – P. 188-198. – DOI 10.46243/jst.2020.v5.i4.pp188-198.
- [6] Analysis of the Underwater Radiated Noise Generated by Hull Vibrations of the Ships / R. F. Javier, R. Jaime, P. Pedro [et al.] // Sensors. – 2023. – Vol. 23, No. 2. – P. 1035. – DOI 10.3390/s23021035.
- [7] Beltrán Palomo, P. The great challenge of propeller cavitation in shipbuilding. Continuous control with the innovative Non-Intrusive Cavitation Detection System (Ni-CDS) / P. Beltrán Palomo, R. García Méndez, L. A. Piqueras // Ciencia y tecnología de buques. – 2023. – Vol. 17, No. 33. – P. 21-32. – DOI 10.25043/19098642.239.
- [8] Analytical study on longitudinal vibration characteristics of the coupled shaft and conical-cylindrical shell / C. Zhang, Y. Tian, D. Xie, L. Yang // Ocean Engineering. – 2021. – Vol. 223. – P. 108691. – DOI 10.1016/j.oceaneng.2021.108691.
- [9] Yakovlev, L. P. Balancing propellers / L. P. Yakovlev // Modern problems of logistics, economics, management in the era of global challenges : proceedings of the II International Correspondence Scientific and Practical Conference, Astrakhan, December 14, 2022. Astrakhan: Individual Entrepreneur Sorokin Roman Vasilyevich (Publisher: Sorokin Roman Vasilyevich), 2023. pp. 233-238. (rus.)
- [10] Copyright certificate No. 1504525 A1 of the USSR, IPC G01M 1/12. Device for static balancing of products : No. 4015122 : application 02/03/1986 : published 08/30/1989 / P. V. Rekhkhalainin, G. E. Gladkov, E. S. Mirkovich. (rus.)
- [11] Copyright certificate No. 1562721 A1 of the USSR, IPC G01M 1/12. Static balancing device : No. 4452650 : application 07/01/1988 : published 05/7/1990 / I. V. Apraksin, B. V. Bushev ; applicant COMPANY P/I A-1944. (rus.)
- [12] Copyright certificate No. 781645 A1 of the USSR, IPC G01M 1/12. Device for static balancing of rotating products : No. 2536710 : application no. 10/26/1977 : published 11/23/1980 / V. T. Gokh, O. V. Stetsiuk, I. N. Chichin ; applicant COMPANY P/I M-5828. (rus.)
- [13] Copyright certificate No. 794409 A1 of the USSR, IPC G01M 1/12. Stand for static balancing of propellers : No. 2725409 : application. 02/16/1979 :

- published. 01/7/1981 / A.M. Katz, K. A. Pugach, V. Ya. Kheifets ; applicant COMPANY P/I G-4780. (rus.)
- [14] Copyright certificate No. 540181 A1 of the USSR, IPC G01M 1/12. Stand for static balancing of propellers : No. 1981083 : application no. 12/24/1973 : published on 12/25/1976 / A. E. Grynshpun, V. B. Fineman, V. Ya. Kheifets. (rus.)
 - [15] Copyright certificate No. 920416 A1 of the USSR, IPC G01M 1/12. Stand for static balancing of propellers : No. 2966250 : application 07/21/1980 : published 04/15/1982 / A.M. Katz, K. A. Pugach ; applicant COMPANY P/I G-4780. (rus.)
 - [16] Copyright certificate No. 1062125 A1 USSR, IPC B63H 1/14, G01M 1/12. Device for static balancing of removable blades mainly of a propeller : No. 3489509 : application 07.09.1982 : published 23.12.1983 / A.V. Minaenko, O. L. Potemkin, V. I. Losev ; applicant COMPANY P/I G-4217. (rus.)
 - [17] Copyright certificate No. 115058 A1 of the USSR, IPC G01M 1/12. Device for determining two orthogonal static moments of detachable propeller blades : No. 571302 : application 04/16/1957 : published 01/01/1958 / G. I. Kopeliovich. (rus.)
 - [18] Gorokhovskiy S.M. Balancing propellers. Leningrad : Sudostroenie Publ., 1964, 143 p. (rus.)
 - [19] Chulkin S. G. Technology of creating marine equipment a textbook, / S.G. Chulkin, P.M. Lysenkov, V.I. Chernenko; Ministry of Education and Science of the Russian Federation, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint Petersburg State Maritime Technical University". — Saint Petersburg : Publishing House of St. Petersburg State Technical University, 2017. - 167 p. ill., table.; 20. — ISBN 978-5-88303-575-2. (rus.)
 - [20] Makarov, I. I. Advantages and disadvantages of horizontal positioning of products when determining the coordinates of the center of mass / I. I. Makarov // Technology of mechanical engineering. – 2016. – No. 1. – pp. 43-49. (rus.)
 - [21] An automated stand for computer control of inertial characteristics of products in assembly production / E. V. Kochkin, E. V. Matveev, A.V. Medar, V. I. Medenkov // Assembly in mechanical engineering, instrument engineering. – 2014. – № 10. – pp. 15-17. (rus.)
 - [22] An automated stand for computer control of inertial characteristics of products in assembly production / E. V. Kochkin, E. V. Matveev, A.V. Medar, V. I. Medenkov // Assembly in mechanical engineering, instrument engineering. – 2014. – № 10. – pp. 15-17. (rus.)
 - [23] Copyright certificate No. 1252678 A1 of the USSR, IPC G01M 1/12. A device for determining the coordinates of the center of mass of products :

- No. 3834847 : application 04.01.1985 : published 08/23/1986 / Yu. Ya. Chernykh, A. N. Burdin ; applicant COMPANY P/Ya A-7650. (rus.)
- [24] Patent No. 2100783 C1 Russian Federation, IPC G01G 19/14. method for determining the coordinates of the center of mass of an object : No. 4918701/28 : application 29.12.1990 : published 27.12.1997 / Yu. D. Meshkov. (rus.)
- [25] Utility model patent No. 133824 U1 Russian Federation, IPC B66F 11/00. device for determining the center of mass : No. 2013131701/11 : application 10.07.2013 : published 27.10.2013 / S. M. Shershakov, A.V. Safronov, S. I. Lemesev [et al.] ; applicant Federal State Unitary Enterprise "Central Institute of Aviation Engine Engineering named after P.I. Baranov. (rus.)
- [26] Utility model patent No. 114526 U1 Russian Federation, IPC G01M 1/12. device for determining the longitudinal coordinate of the center of mass of a product : No. 2011146517/28 : application 16.11.2011 : published 27.03.2012 / S. V. Kachalov, G. A. Kachalova, V. V. Vorontsova ; applicant Open Joint Stock Company Scientific and Production Association Saturn". (rus.)
- [27] Copyright certificate No. 1310649 A1 of the USSR, IPC G01M 1/12. A device for determining the coordinates of the center of mass of products : No. 3660406 : application 02.11.1983 : published 15.05.1987 / V. A. Borisov, Yu. N. Voevodin, L. A. Zhuchkov [et al.]. (rus.)
- [28] Patent No. 2027159 C1 Russian Federation, IPC G01M 1/12. A method for determining the coordinates of the center of mass of a product and a device for its implementation : No. 5055020/28 : application 05/28/1992 : published 01/20/1995 / V. V. Krylov, V. V. Krylov, I. P. Saidachakov, E. Ya. Lukyantsev. (rus.)
- [29] Copyright certificate No. 845032 A1 of the USSR, IPC G01M 1/12. Method for determining the coordinates of the center of mass of products : No. 2677728 : application 19.10.1978 : published 07.07.1981 / V. B. Burykin, V. V. Krylov, A.M. Plakhov [et al.] ; applicant COMPANY P/I V-2190. (rus.)
- [30] Copyright certificate No. 1795317 A1 of the USSR, IPC G01M 1/12. Method for determining the position of the center of mass of an object : No. 4849137 : application 07/09/1990 : published 02/15/1993 / V. A. Komarov, V. L. Kushch, N. F. Khilchenko, A.V. Egorshev ; applicant KIEV HIGHER MILITARY AVIATION ENGINEERING SCHOOL. (rus.)
- [31] Copyright certificate No. 1460630 A1 USSR, IPC G01M 1/12, G01L 7/02. Device for determining the position and coordinates of the center of mass of the product : No. 4253260 : application. 06/01/1987 : published. 02/23/1989 / D. M. Gorinevsky ; applicant INSTITUTE OF PROBLEMS OF INFORMATION TRANSMISSION of the USSR Academy of Sciences. (rus.)

- [32] Patent No. 2458328 C1 Russian Federation, IPC G01M 1/12. A device for determining the mass and position of the center of mass of a product : No. 2011116229/28 : application 04/26/2011 : published 08/10/2012 / E. V. Matveev, E. V. Kochkin, A.V. Medar, V. I. Medenkov ; applicant FEDERAL STATE UNITARY ENTERPRISE SCIENTIFIC AND PRODUCTION ASSOCIATION TECHNOMASH. (rus.)
- [33] Patent No. 2485466 C1 Russian Federation, IPC G01M 1/12. A method for determining the mass and position of the center of mass of a product and a device for its implementation : No. 2011151309/28 : application 16.12.2011 : published 20.06.2013 / E. V. Matveev, A.V. Blinov, E. V. Kochkin ; applicant FEDERAL STATE UNITARY ENTERPRISE SCIENTIFIC AND PRODUCTION ASSOCIATION TECHNOMASH. (rus.)
- [34] Copyright certificate No. 1265505 A1 of the USSR, IPC G01M 1/12. Device for determining the mass and coordinates of the center of mass of the product : No. 3921478 : application 07/03/1985 : published 10/23/1986 / V. I. Feofilaktov ; applicant COMPANY P/I V-8597. (rus.)
- [35] Patent No. 2830397 C1 Russian Federation, IPC G01M 1/10. A stand for measuring the mass, coordinates of the center of mass and moments of inertia of products : No. 2024117666 : application 26.06.2024 : published 18.11.2024 / M. M. Bogatyrev, S. V. Dytskov, V. V. Lyutov [and others] ; applicant Federal Autonomous Institution Central Aerohydrodynamic Institute named after Professor N.E. Zhukovsky. (rus.)
- [36] GOST 8054-81 IPK Publishing House of Standards. Propellers are metal propellers. General technical specifications, 1981-10 c. (rus.)
- [37] Russian Maritime Register of Shipping. Rules for the classification and construction of naval vessels. Part 7, St. Petersburg, 2025. – 109 p. (rus.)