УДК [629.5.081.4-187:629.5.023.4]:681.783.24

Нгуен Чунг Ань, В. Н. Лубенко

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ПО ВЫЧИСЛЕНИЮ ПОГРЕШНОСТИ ПРИ КОНТРОЛЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПЛОСКИХ СЕКЦИЙ СУДНА С ПОМОЩЬЮ ТАХЕОМЕТРА 3ТА5Р6

Астраханский государственный технический университет

Рассматриваются вопросы, связанные с практическим применением тахеометров в судостроении. В зависимости от процесса измерений тахеометром (метод определения базовой и объектной систем координат для плоских секций судна и принцип пересчета между ними) излагается решение задач по вычислению погрешности при контроле положения плоских секций судна в пространстве.

Ключевые слова: судостроение, измерение, тахеометр 3Та5Р6, базовая система координат, промежуточная система координат, пересчет.

Точность изготовления и монтажа судовых корпусных конструкций приобрела особое значение в связи со следующими обстоятельствами: усложнением конструкций судов; переходом к модульным принципам проектирования и постройки судов, механизации, комплексной механизации и автоматизации производственных процессов; сокращением объемов применения тяжелого ручного труда. Она является важной проблемой развития технологии судостроения и в значительной степени определяет объем пригоночных работ на всех стадиях постройки корпуса судна, на долю которых сегодня приходится до 40 % суммарной трудоемкости основных корпусных работ, выполняемых на построечном месте [1].

В настоящее время на большинстве судостроительных и судоремонтных заводов проверочные работы в цехе, на стапеле, на плаву и в доке выполняют при помощи простейших измерительных и контрольных инструментов – таких, как металлические рулетки и линейки, шланговые уровни (ватерпасы), шнуровые отвесы и пр.

В условиях современного судостроения конструктор, как правило, разрабатывает большие объемные объекты, используя трехмерную графику. На экране его компьютера показывается трехмерный объект, в котором можно выделить конкретную сборочную единицу (секцию судна), которая в цехе монтируется на свое место. Если бы мы на этом экране могли увидеть реальное положение устанавливаемой секции, это позволило бы понять, какой конец секции, и в какую сторону необходимо подать. Такая оперативная и точная информация очень помогла бы нам в сборке.

В настоящее время тахеометры помогают решать такие задачи. Они позволяют производить не только угловые, но и линейные измерения, способствуют повышению точности измерений, обеспечивают первоначальную числовую обработку результатов на месте измерений благодаря наличию встроенного в тахеометре вычислительного устройства. Применение таких приборов не только позволяет устранить недостатки измерений, но и совместить несколько проверочных операций, например, одновременно производить проверку положения секции по высоте и крену, по длине и дифференту и т. п. [2].

Однако для того чтобы вывести реальное положение секции на экран с трехмерной моделью придется пройти цепочку переходов из одной системы координат в другую и связать реальные объекты с картинкой на экране проектанта (рис. 1).

При выполнении измерений тахеометром, уже разработаны методика построения систем координат и принцип пересчета между ними [3].

Однако при построении объектной системы координат, заданной от плоскости [4], получается следующее: тахеометр проводит измерения так, что ось Z всегда направлена в зенит (строго говоря, ось Z всегда противоположно направлена вектору ускорения свободного падения в точке измерения), поэтому оси X и $У$ образуют горизонтальную плоскость.

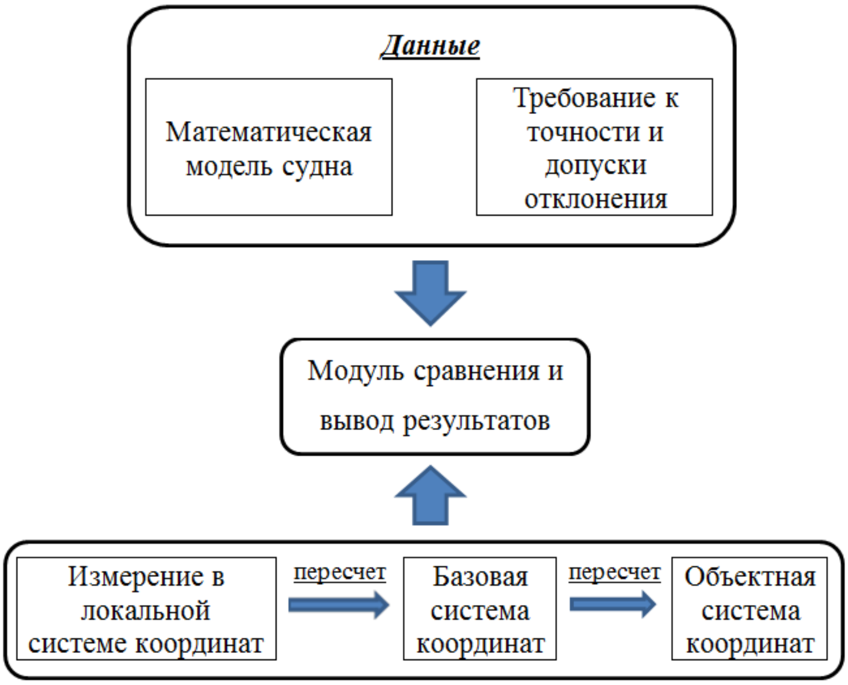

Рис. 1. Блок-схема процесса измерений и пересчета координат

Система координат, заданная плоскостью, используется при сборке секций корпуса судна, которые изготавливаются в горизонтальном положении. При этом плоскость, которая задает объектную систему координат судна, почти горизонтальна. Из математики построения объектной системы из такой базовой системы следует, что в случае горизонтального расположения объектной системы (актуальный для судостроения случай), в формулах присутствует деление на ноль. При почти горизонтальном расположении системы деление на ноль заменяется делением на величины, близкие к нулю, при этом вырастает погрешность построения системы (разность двух почти равных величин, измеренных с погрешностью, становится соизмеримой с величиной самой погрешности).

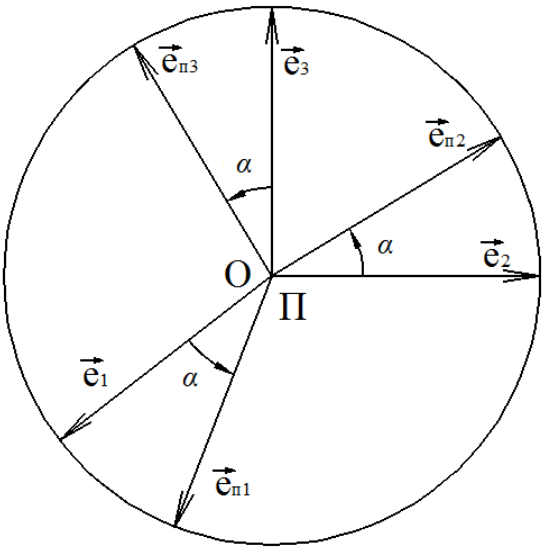

Рис. 2. Промежуточная система координат П

Для исключения проблем при определении коэффициентов пересчета, принимая во внимание изложенное ранее, целесообразно ввести промежуточную систему координат П, развернутую относительно базовой на некоторый угол.

Построим систему П следующим образом:

1) начало координат системы П совпадает с началом координат базовой системы О;

2) векторы $\overrightarrow{e_{П1}}$, $\overrightarrow{e_{П2}}$, $\overrightarrow{e_{П3}}$ развернем относительно $\vec{e_1}$, $\vec{e_2}$, $\vec{e_3}$ на угол α вокруг оси, проходящей через начало координат, как показано на рис. 2.

Для того чтобы производить пересчет координат из системы О в систему П, и обратно, запишем:

- для системы О: $\vec{r} = \vec{e_1}.x + \vec{e_2}.y + \vec{e_3}.z$,
- для системы П: $\vec{r} = \overrightarrow{e_{П1}}.x_П + \overrightarrow{e_{П2}}.y_П + \overrightarrow{e_{П3}}.z_П$.

Здесь r - любой радиус-вектор, имеющий начало в точке О (П):

x, y, z - координаты радиус-вектора в базовой системе координат О;

$x_п$, $y_п$, $z_п$ - координаты радиус-вектора в промежуточной системе координат П.

Итак

$$\vec{r} = \vec{e_1}.x + \vec{e_2}.y + \vec{e_3}.z = \overrightarrow{e_{П1}}.x_П + \overrightarrow{e_{П2}}.y_П + \overrightarrow{e_{П3}}.z_П \,. \tag{1}$$

Если скалярно умножать обе части равенства (1) последовательно на $\vec{e_1}$, $\vec{e_2}$, $\vec{e_3}$, $\overrightarrow{e_{П1}}$, $\overrightarrow{e_{П2}}$, $\overrightarrow{e_{П3}}$, то получим уравнения для пересчета координат из системы О в систему П и обратно:

$$\begin{cases} x = (\overrightarrow{e_{П1}}.\vec{e_1}).x_П + (\overrightarrow{e_{П2}}.\vec{e_1}).y_П + (\overrightarrow{e_{П3}}.\vec{e_1}).z_П \\ y = (\overrightarrow{e_{П1}}.\vec{e_2}).x_П + (\overrightarrow{e_{П2}}.\vec{e_2}).y_П + (\overrightarrow{e_{П3}}.\vec{e_2}).z_П \\ z = (\overrightarrow{e_{П1}}.\vec{e_3}).x_П + (\overrightarrow{e_{П2}}.\vec{e_3}).y_П + (\overrightarrow{e_{П3}}.\vec{e_3}).z_П \\ x_П = (\overrightarrow{e_{П1}}.\vec{e_1}).x + (\overrightarrow{e_{П1}}.\vec{e_2}).y + (\overrightarrow{e_{П1}}.\vec{e_3}).z \\ y_П = (\overrightarrow{e_{П2}}.\vec{e_1}).x + (\overrightarrow{e_{П2}}.\vec{e_2}).y + (\overrightarrow{e_{П2}}.\vec{e_3}).z \\ z_П = (\overrightarrow{e_{П3}}.\vec{e_1}).x + (\overrightarrow{e_{П3}}.\vec{e_2}).y + (\overrightarrow{e_{П3}}.\vec{e_3}).z \end{cases} \tag{2}$$

Для успешного пересчета координат из системы О в систему П и обратно, необходимо сделать такой поворот системы координат, при котором мы сможем легко вычислить углы между ортами двух систем. На рис. 3 представлены различные варианты поворота векторов базовой системы в промежуточную.

Рис. 3. Различные варианты поворота векторов базовой системы в промежуточную

Вычислим углы между ортами для варианта поворота промежуточной системы против часовой стрелки (рис. 4).

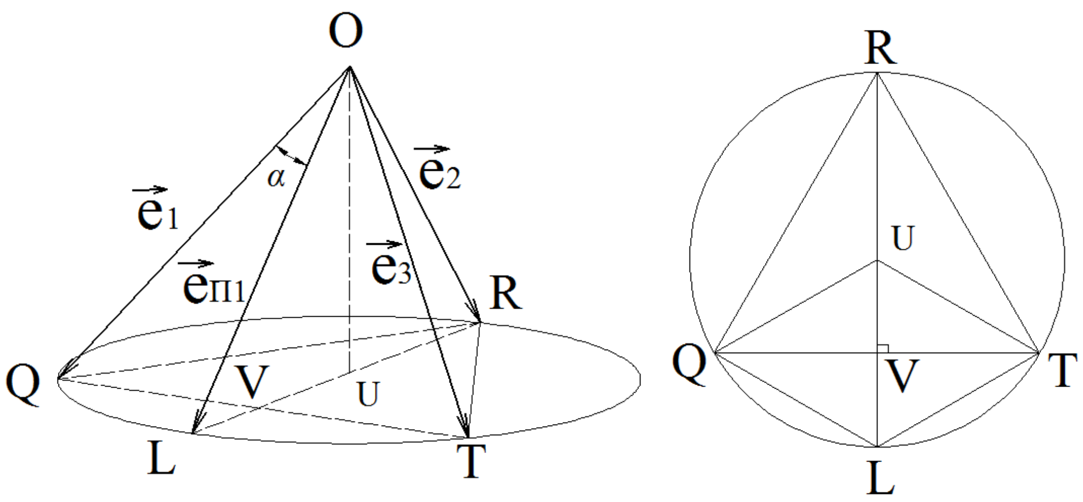

Рис. 4. Определение углов между ортами

В треугольнике OQT: $\angle QOT = 90^0$,

$$\Rightarrow \quad QT^2 = OQ^2 + OT^2 = 2,$$

$$\Rightarrow \quad QT = \sqrt{2}.$$

Треугольник RQT – равносторонний. Так как: $RT = RQ = QT = \sqrt{2}$.

Точка U – пересечение медиан, высот и биссектрис равностоороннего треугольника RQT. Следовательно,

$$LQ = UT = UR = \frac{2}{3}.RT.\sin 60^0 = \frac{2}{3}.\sqrt{2}.\frac{\sqrt{3}}{2} = \frac{\sqrt{6}}{3}.$$

По теореме косинусов в треугольнике OQL имеем:

$$LQ^2 = OQ^2 + OL^2 - 2.OQ.OL.\cos\alpha,$$

где α – угол между ортами $\vec{e}_1$, $\overrightarrow{e_{П1}}$.

Итак

$$\cos\alpha = \frac{OQ^2 + OL^2 - LQ^2}{2.OQ.OL} = \frac{2-\frac{6}{9}}{2} = \frac{2}{3},$$

$$\Rightarrow \quad (\overrightarrow{e_{П1}}.\vec{e}_1) = 1.1.\cos\alpha = \frac{2}{3}.$$

Мы имеем

$$\lambda_{ik} = (\overrightarrow{e_{Пk}}.\vec{e}_i) = \left|\overrightarrow{e_{Пk}}\right|.\left|\vec{e}_i\right|.\cos(\overrightarrow{e_{Пk}}.\vec{e}_i) = \cos(\overrightarrow{e_{Пk}}.\vec{e}_i) = (\vec{e}_i.\overrightarrow{e_{Пk}}) = \gamma_{ki}.$$

Аналогично определим скалярные произведения ортов для варианта поворота промежуточной системы против часовой стрелки. Результаты вычислений приведены в табл. 1.

Таблица 1

Скалярные произведения ортов для варианта поворота промежуточной системы против часовой стрелки

λ_{11} = 2/3	λ_{21} = 2/3	λ_{31} = -1/3
λ_{12} = -1/3	λ_{22} = 2/3	λ_{32} = 2/3
λ_{13} = 2/3	λ_{23} = -1/3	λ_{33} = 2/3

Окончание табл. 1

γ_{11} = 2/3	γ_{21} = -1/3	γ_{31} = 2/3
γ_{12} = 2/3	γ_{22} = 2/3	γ_{32} = -1/3
γ_{13} = -1/3	γ_{23} = 2/3	γ_{33} = 2/3

Результаты вычислений скалярных произведений ортов для варианта поворота промежуточной системы по часовой стрелке приведены в табл. 2.

Таблица 2

Скалярные произведения ортов для варианта поворота промежуточной системы по часовой стрелке

λ_{11} = 2/3	λ_{21} = -1/3	λ_{31} = 2/3
λ_{12} = 2/3	λ_{22} = 2/3	λ_{32} = -1/3
λ_{13} = -1/3	λ_{23} = 2/3	λ_{33} = 2/3
γ_{11} = 2/3	γ_{21} = 2/3	γ_{31} = -1/3
γ_{12} = -1/3	γ_{22} = 2/3	γ_{32} = 2/3
γ_{13} = 2/3	γ_{23} = -1/3	γ_{33} = 2/3

Таким образом, система (2) имеет шесть уравнений с шестью неизвестными величинами и нетрудно получить ее решение.

Заключение

Подводя итоги всему изложенному, мы пришли к следующему выводу:

1. Предлагаемый принцип решает коренную задачу по вычислению погрешности при контроле положения плоских секций судна в пространстве с помощью тахеометра 3Та5Р6. Одновременно он открывает перспективу создания программного обеспечения для быстрого выполнения измерений для повышения точности сборки судовых конструкций.

2. Практика показывает, что применяемые бесконтактные методы измерения координат объектов на основе тахеометров позволяют повысить производительность и конкурентоспособность верфей.

Библиографический список

1. Точность в судовом корпусостроении / В. Л. Александров [и др.]. – СПб.: Судостроение, 1994. – 172 с.
2. **Нгуен Чунг Ань.** Контроль положения поперечных переборок судна в пространстве с помощью тахеометра 3Та5Р6 / Нгуен Чунг Ань, В. Н. Лубенко // Вестник АГТУ. Сер. «Морская техника и технология». 2013. № 2 (октябрь). С. 46–50.
3. **Нгуен Чунг Ань.** Применение тахеометров в судостроении – принцип измерения и пересчета координат / Нгуен Чунг Ань, Н. П.Боронина, В. Н. Лубенко // Современный научный вестник. Сер. «Технические науки». 2014. №7 (203) С. 133–139.
4. **Нгуен Чунг Ань.** Контроль положения плоских секций судна в пространстве с помощью тахеометра 3Та5Р6 / Нгуен Чунг Ань, В. Н. Лубенко // Морские интеллектуальные технологии. 2014. Т. 2. №2. С. 22–26.

Дата поступления
в редакцию 22.01.2015

Nguyen Trung Anh, V. N. Lubenko

DECISION OF TASKS ON CALCULATION OF ERROR AT CONTROL OF POSITION OF FLAT SECTIONS OF SHIP BY MEANS TACHEOMETER 3TA5P6

Astrakhan state technical university

Purpose: The article discusses issues related to the practical application of tacheometers in shipbuilding. Depending on the measurement process of tacheometer (method of determining the basic coordinate system and object coordinate system for flat sections of the ship and the principle of recalculation between them) sets out the decision of tasks on calculation of error at control of position of flat sections of ship in the space.
Method: applied intermediate coordinate system.
Results: The proposed principle opens up the prospect of creating of software for fast execution of measurements to improve the accuracy assembling ship structures.
Conclusion: Practicably, the applications of tacheometers in shipbuilding improve the quality of results, labor productivity and also the competitiveness of shipyards. However, due to practical analysis works also require necessarily instructions of modern three-dimensional measurement system use and software creation in order to rapidly accomplish measurements during manufacture, exploitation, repairing ships and vessels.

Key words: shipbuilding, measurement, tacheometer 3Ta5P6, basic coordinate system, intermediate coordinate system, recalculation.