

К. Н. Сахно, П. Ю. Сергеев, Во Чунг Куанг, До Тат Мань

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ К АНАЛИЗУ СУММАРНЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ НА КОНЕЧНОМ СОЕДИНЕНИИ ТРУБ СУДОВЫХ СИСТЕМ

Изложены теоретические основы влияния погрешностей изготовления на точность координатных размеров труб и установлена взаимосвязь конфигурации и отклонений координатных размеров труб. Представление получения конфигурации трубы посредством выполнения операций продвижения, погиба, разворота и резки является основополагающей идеей гипотезы о взаимосвязи конфигурации и отклонений координатных размеров труб. Разработаны аналитические зависимости, составляющие математическую основу для определения влияния погрешностей, возникающих при выполнении операций резки и гибки, на точность координатных размеров труб. Расширено представление о возможности применения теории пространственных размерных цепей при проведении размерного анализа в процессе проектирования трасс трубопроводов. Предлагаемый метод расчёта, основанный на взаимосвязи конфигурации и отклонений координатных размеров труб, может применяться при проектировании трасс трубопроводов вне зависимости от их функционального назначения. Использование результатов исследования при проектировании трубопроводов и технологической подготовке производства открывает следующие возможности: расположения трубопроводов с учетом научно обоснованных предельных отклонений и обеспечения заданных требований трассировки; совершенствования технологии изготовления труб по проектной информации с целью увеличения объёма окончательно изготавливаемых труб без пригонки по месту.

Ключевые слова: трубопроводы, проектирование, изготовление, монтаж, теория размерных цепей.

Введение

Современное судно представляет собой сложный технологический комплекс, состоящий из различного вида оборудования, механизмов и других конструкций, которые обеспечивают работу системы трубопроводов. Появление новых многофункциональных типов судов, усложнение оборудования влекут за собой увеличение количества труб различной конфигурации, которые необходимо компактно размещать на судне. Форма и размеры отдельных труб, необходимые для их изготовления, определяются пространственным расположением всего трубопровода. Традиционная технология и организация постройки судна предусматривают определение пространственного расположения трубопроводов «по месту» на строящемся объекте с учетом размещения смежного оборудования, электротрасс и трубопроводов других систем. Точность обеспечивается за счет большого объема пригоночных работ, связанных с изменением размеров отдельных элементов труб, их сборкой с большим количеством дополнительных ручных операций «по месту».

За последние 30 лет трудоемкость всех трубопроводных работ (изготовление и монтаж на судне) выросла с 5 до 10–12 % от общей трудоемкости постройки судна, а на некоторых проектах, в частности рыбопромысловых судов, – до 14–17 % [1].

В этих условиях одной из важнейших отраслевых тенденций современного судостроения является повышение эффективности производства путем внедрения технологии предварительного изготовления труб по проектной информации без пригонки «по месту». Наличие в проектной документации достоверной информации, достаточной для предварительного изготовления и монтажа отдельных труб, позволяет «запараллелить» работы по постройке судна и сократить сроки выполнения судостроительных заказов. Появляется возможность создания региональных центров, работающих по автоматизированной технологии изготовления труб.

Новая технология предъявляет определенные требования к процессу проектирования, который должен обеспечить точность взаимного расположения труб и оборудования, снижение трудоемкости сборочных работ, повышение качества документации по трубопроводным системам, обусловленное в частности, научно обоснованными методами их проектирования. В настоящее время, даже при самом тщательном отношении к процессу проектирования с использованием современных автоматизированных систем, доля предварительно изготавливаемых труб не превышает 60 %. Сохранение проблемы обусловливается необходимостью изменения конфигурации трасс трубопроводов для компенсации погрешностей изготовления и монтажа труб, а также конструкций корпуса, изделий насыщения, механизмов, оборудования при сборке судовых систем.

Постановка задачи

Процесс получения труб различных конфигураций связан с выполнением операций резки и гибки труб. Именно от точности выполнения указанных операций зависят возможные отклонения координатных размеров труб.

Процесс гибки, в общем случае, состоит из трех основных операций:

- продвижение (установка размера до начала погиба);
- погиб;
- разворот (установка угла между плоскостями погибов).

Для определения суммарных отклонений координатных размеров труб под влиянием погрешностей изготовления воспользуемся теорией размерных цепей. Теория размерных цепей широко используется при проведении подобных расчетов в процессе размерного анализа, с помощью которого достигается правильное соотношение взаимосвязанных размеров и определяются допустимые ошибки (допуски).

Рассмотрим возможность применения теории размерных цепей к расчету суммарных отклонений координатных размеров труб под влиянием погрешностей изготовления. Как известно, звеньями цепи могут быть как номинальные размеры, так и их отклонения [1–6]. На рис. 1 показана схема пространственной цепи отклонений конца трубы с двумя погибами. Уравнение пространственной цепи имеет вид

$$f_1(\sum, C_1, A_1, C_2, B_1, A_2, K) = 0,$$

где \sum – суммарное отклонение; C_1 – отклонение под влиянием первого продвижения; A_1 – отклонение под влиянием первого погиба; C_2 – отклонение под влиянием второго продвижения; B_1 – отклонение под влиянием первого разворота; A_2 – отклонение под влиянием второго погиба; K – отклонение под влиянием резки.

Пространственная цепь привязана к осям координат x, y, z , и ее решение выполняется разложением на три линейные цепи по соответствующим координатным направлениям (рис. 1).

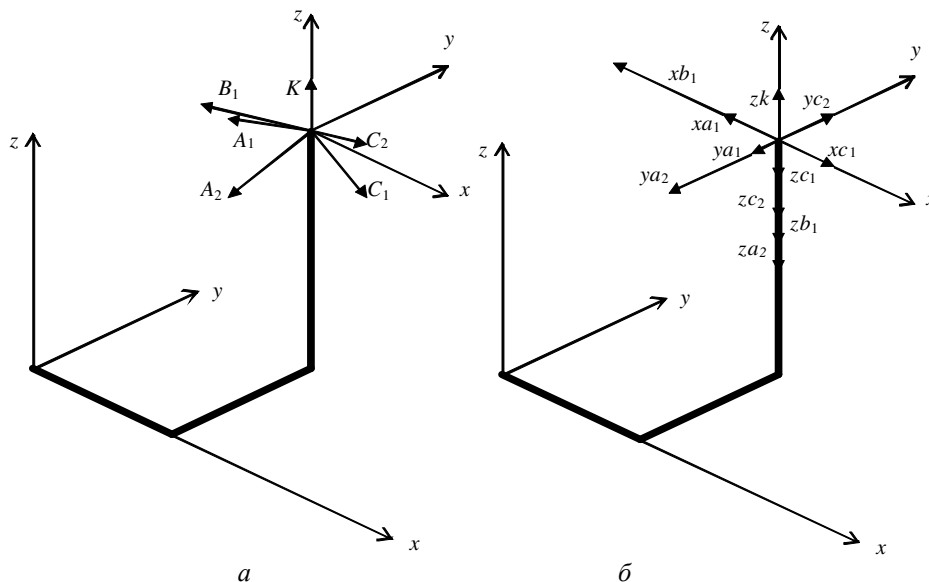


Рис. 1. Цепи отклонений координатных размеров концов труб:
a – пространственная; *б* – по направлениям x, y, z

Влияние погрешностей изготовления на отклонения координатных размеров труб

В общем случае отклонение C_i любой точки трубы под влиянием погрешности продвижения c_i (рис. 2) определяется соотношением

$$C_i \begin{pmatrix} xc_i \\ yc_i \\ zc_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{pmatrix} \left(-1 + \frac{|L_i| + c_i}{|L_i|} \right) + s_i, \quad (1)$$

где $s_i = 0$ – для любой точки (за исключением конца трубы); $s_i = - \begin{pmatrix} X_k \\ Y_k \\ Z_k \end{pmatrix} \frac{c_i}{|L_k|}$ – для конца трубы.

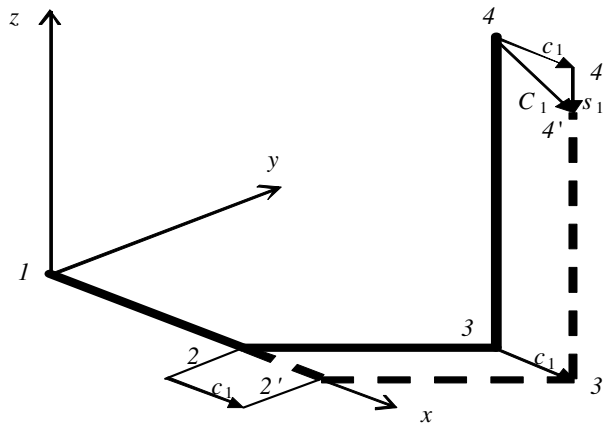


Рис. 2. Влияние погрешности продвижения на отклонения координатных размеров труб

В общем случае отклонение A_i любой точки трубы (точки $M(x, y, z)$) под влиянием погрешности погиба a_i (рис. 3) определяется соотношением

$$A_i \begin{pmatrix} xa_i \\ ya_i \\ za_i \end{pmatrix} = R' \begin{pmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{pmatrix} - \left(L \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} - R'' \begin{pmatrix} X'' \\ Y'' \\ Z'' \end{pmatrix} \right), \quad (2)$$

где $R' \begin{pmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{pmatrix}$ является решением системы уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \cos \left(a_i + \arccos \left(\frac{N(L-R)}{|N| \cdot |L-R|} \right) \right) &= \frac{N \cdot R'}{|N| \cdot |R'|} \\ |L-R''| &= |R'| \\ R' \cdot N(L-R'') &= 0 \end{aligned} \right\};$$

$$L \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x - x_{i+1} \\ y - y_{i+1} \\ z - z_{i+1} \end{pmatrix}; \quad R'' \begin{pmatrix} X'' \\ Y'' \\ Z'' \end{pmatrix} = N \begin{pmatrix} Nx \\ Ny \\ Nz \end{pmatrix} \frac{(L_i \cdot L_{i+1}) \cdot L}{|L_i \cdot L_{i+1}|}; \quad N = (L(L_i \cdot L_{i+1})).$$

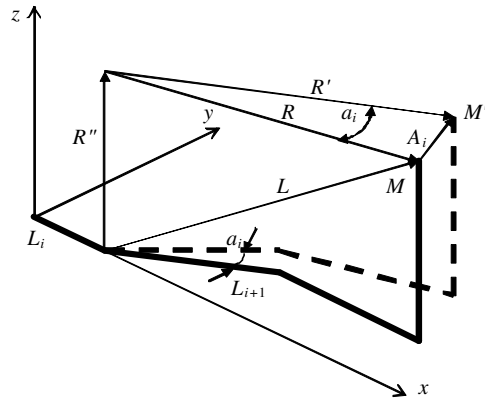


Рис. 3. Влияние погрешности погиба на отклонения координатных размеров труб

В общем случае отклонение B_i любой точки трубы (точки $M(x, y, z)$) под влиянием погрешности разворота b_i (рис. 4) определяется соотношением

$$B_i \begin{pmatrix} xb_i \\ yb_i \\ zb_i \end{pmatrix} = D' \begin{pmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{pmatrix} - \left(L \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} - D'' \begin{pmatrix} X'' \\ Y'' \\ Z'' \end{pmatrix} \right), \quad (3)$$

где $D' \begin{pmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{pmatrix}$ является решением системы следующих уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \cos \left(b_i + \arccos \left(\frac{N''(L - D'')}{|N''| \cdot |L - D''|} \right) \right) &= \frac{N'' D'}{|N''| \cdot |D'|} \\ |L - D''| &= |D'| \\ D' \cdot N''(L - D'') &= 0 \end{aligned} \right\},$$

$$L \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x - x_{i+1} \\ y - y_{i+1} \\ z - z_{i+1} \end{pmatrix}; \quad D'' \begin{pmatrix} X'' \\ Y'' \\ Z'' \end{pmatrix} = N'' \begin{pmatrix} N_x \\ N_y \\ N_z \end{pmatrix} \frac{L_{i+1} \cdot L}{|L_{i+1}|}; \quad N'' = L_{i+1} \cdot L.$$

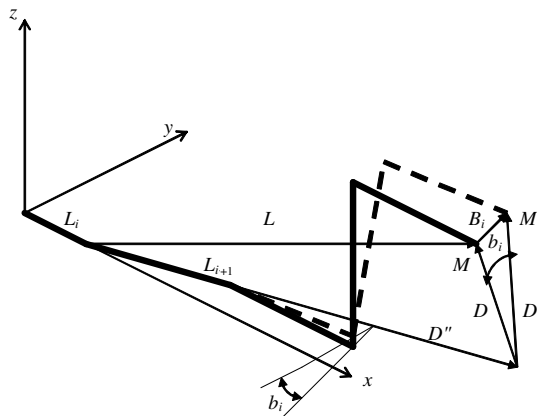


Рис. 4. Влияние погрешности разворота на отклонения координатных размеров труб

Погрешность резки (по определению) влияет лишь на отклонение конца трубы. Отклонение конца трубы под влиянием погрешности резки k может быть представлено вектором, равным по величине и направлению вектору погрешности. Вектор погрешности определяется величиной погрешности и направлением последнего – n -го звена.

Влияние погрешности резки на отклонения координатных размеров труб аналогично влиянию погрешности продвижения. В результате отклонение K конца трубы под влиянием погрешности резки k (рис. 5) определяется соотношением

$$K \begin{pmatrix} xk \\ yk \\ zk \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_k \\ Y_k \\ Z_k \end{pmatrix} \left(-1 + \frac{|L_k| + k}{|L_k|} \right). \quad (4)$$

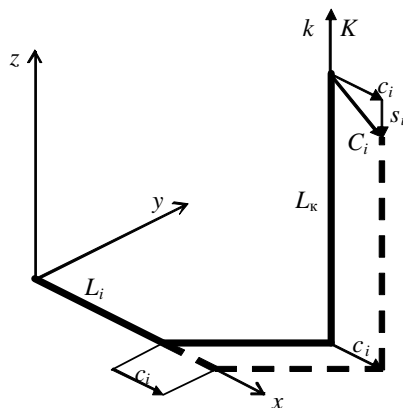


Рис. 5. Влияние погрешностей резки и продвижения на отклонения координатных размеров труб

Применение теории размерных цепей к анализу суммарных погрешностей на конечном соединении

Каждый член цепи x : xa_i, xb_i, xc_i, xk , цепи y : ya_i, yb_i, yc_i, yk , цепи z : za_i, zb_i, zc_i, zk (см. рис. 1) является функцией соответствующей погрешности a_i, b_i, c_i, k и определяется соотношениями (1)–(4).

Суммарные отклонения координатных размеров труб под влиянием конкретных погрешностей изготовления определяются соотношениями:

$$\sum \begin{pmatrix} \sum x \\ \sum y \\ \sum z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^{i-1} xc_i + \sum_{i=1}^{i-1} xa_i + \sum_{i=1}^{i-2} xb_i + xk \\ \sum_{i=1}^{i-1} yc_i + \sum_{i=1}^{i-1} ya_i + \sum_{i=1}^{i-2} yb_i + yk \\ \sum_{i=1}^{i-1} zc_i + \sum_{i=1}^{i-1} za_i + \sum_{i=1}^{i-2} zb_i + zk \end{pmatrix}. \quad (5)$$

При проведении размерного анализа в процессе проектирования возникает необходимость учета не конкретных, а предельных отклонений: $(xa_i)_{\max}, (xb_i)_{\max}, (xc_i)_{\max}, (xk)_{\max}, (xa_i)_{\min}, (xb_i)_{\min}, (xc_i)_{\min}, (xk)_{\min}, (ya_i)_{\max}, (yb_i)_{\max}, (yc_i)_{\max}, (yk)_{\max}, (ya_i)_{\min}, (yb_i)_{\min}, (yc_i)_{\min}, (yk)_{\min}, (za_i)_{\max}, (zb_i)_{\max}, (zc_i)_{\max}, (zk)_{\max}, (za_i)_{\min}, (zb_i)_{\min}, (zc_i)_{\min}, (zk)_{\min}$, которые, в свою очередь, являются функциями предельных отклонений размеров a_i, b_i, c_i, k , выполняющихся на соответствующей операции изготовления.

Теория размерных цепей предусматривает следующие методы решения данной задачи: метод максимума-минимума, при котором учитываются только предельные отклонения составляющих звеньев; вероятностный метод, при котором учитываются законы рассеяния размеров и случайный характер их сочетания. В теории размерных цепей наиболее часто применяются нормальный закон, закон равной вероятности, закон треугольника [2].

Предельные отклонения координатных размеров труб по методу максимума-минимума определяются соотношениями:

$$\begin{aligned}
 (\sum x)_{\max} &= \sum_1^{i-1} (xc_i)_{\max} + \sum_1^{i-1} (xa_i)_{\max} + \sum_1^{i-2} (xb_i)_{\max} + (xk)_{\max}; \\
 (\sum x)_{\min} &= \sum_1^{i-1} (xc_i)_{\min} + \sum_1^{i-1} (xa_i)_{\min} + \sum_1^{i-2} (xb_i)_{\min} + (xk)_{\min}; \\
 (\sum y)_{\max} &= \sum_1^{i-1} (yc_i)_{\max} + \sum_1^{i-1} (ya_i)_{\max} + \sum_1^{i-2} (yb_i)_{\max} + (yk)_{\max}; \\
 (\sum y)_{\min} &= \sum_1^{i-1} (yc_i)_{\min} + \sum_1^{i-1} (ya_i)_{\min} + \sum_1^{i-2} (yb_i)_{\min} + (yk)_{\min}; \\
 (\sum z)_{\max} &= \sum_1^{i-1} (zc_i)_{\max} + \sum_1^{i-1} (za_i)_{\max} + \sum_1^{i-2} (zb_i)_{\max} + (zk)_{\max}; \\
 (\sum z)_{\min} &= \sum_1^{i-1} (zc_i)_{\min} + \sum_1^{i-1} (za_i)_{\min} + \sum_1^{i-2} (zb_i)_{\min} + (zk)_{\min}.
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

При вероятностном методе расчета справедливы соотношения:

$$\begin{aligned}
 (\sum x)_{\max} &= t \sqrt{\sum_1^{i-1} \lambda_i^2 (xc_i)_{\max}^2 + \sum_1^{i-1} \lambda_i^2 (xa_i)_{\max}^2 + \sum_1^{i-1} \lambda_i^2 (xb_i)_{\max}^2 + \lambda_i^2 (xk)_{\max}^2}; \\
 (\sum x)_{\min} &= t \sqrt{\sum_1^{i-1} \lambda_i^2 (xc_i)_{\min}^2 + \sum_1^{i-1} \lambda_i^2 (xa_i)_{\min}^2 + \sum_1^{i-1} \lambda_i^2 (xb_i)_{\min}^2 + \lambda_i^2 (xk)_{\min}^2}; \\
 (\sum y)_{\max} &= t \sqrt{\sum_1^{i-1} \lambda_i^2 (yc_i)_{\max}^2 + \sum_1^{i-1} \lambda_i^2 (ya_i)_{\max}^2 + \sum_1^{i-1} \lambda_i^2 (yb_i)_{\max}^2 + \lambda_i^2 (yk)_{\max}^2}; \\
 (\sum y)_{\min} &= t \sqrt{\sum_1^{i-1} \lambda_i^2 (yc_i)_{\min}^2 + \sum_1^{i-1} \lambda_i^2 (ya_i)_{\min}^2 + \sum_1^{i-1} \lambda_i^2 (yb_i)_{\min}^2 + \lambda_i^2 (yk)_{\min}^2}; \\
 (\sum z)_{\max} &= t \sqrt{\sum_1^{i-1} \lambda_i^2 (zc_i)_{\max}^2 + \sum_1^{i-1} \lambda_i^2 (za_i)_{\max}^2 + \sum_1^{i-1} \lambda_i^2 (zb_i)_{\max}^2 + \lambda_i^2 (zk)_{\max}^2}; \\
 (\sum z)_{\min} &= t \sqrt{\sum_1^{i-1} \lambda_i^2 (zc_i)_{\min}^2 + \sum_1^{i-1} \lambda_i^2 (za_i)_{\min}^2 + \sum_1^{i-1} \lambda_i^2 (zb_i)_{\min}^2 + \lambda_i^2 (zk)_{\min}^2},
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

где t – коэффициент, зависящий от процента риска P и принимаемый по таблице, используется при расчете многозвенных цепей, а также любых размерных цепей, рассеяние размеров составляющих звеньев которых подчиняется нормальному закону (для малозвенных цепей с числом звеньев менее шести и погрешности размеров которых распределены по закону, отличному от нормального – $t = 1/\lambda_\Sigma$, методы расчета λ_Σ даны в [6]); λ_i – коэффициент относительного рассеивания, для нормального закона $\lambda_i^2 = 1/9$, для закона равной вероятности $\lambda_i^2 = 1/3$, для закона треугольника $\lambda_i^2 = 1/6$ [3].

Значение коэффициента t для различных значений риска P [3, 6]

$P, \%$	0,01	0,05	0,1	0,27	0,5	1	2	3	5	10	32
t	3,89	3,48	3,29	3	2,81	2,57	2,32	2,17	1,96	1,65	1

При определении предельных отклонений координатных размеров труб максимальным (минимальным) отклонениям могут соответствовать как максимальные (минимальные), так и минимальные (максимальные) значения предельных отклонений размеров, выполняемых на соответствующей операции изготовления. Определение максимальных и минимальных отклонений координатных размеров труб производится сопоставлением значений, рассчитанных по

формулам (5)–(7) для предельных отклонений размеров, выполняемых на соответствующей операции изготовления. Такой подход подтверждает новое представление теории пространственных цепей, при котором теряют смысл понятия увеличивающих и уменьшающих звеньев.

Заключение

Аналитические зависимости (1)–(4) составляют математическую основу для определения влияния погрешностей выполнения операций резки и гибки на точность координатных размеров труб.

Представление получения конфигурации трубы посредством выполнения продвижения, погиба, разворота и резки является основополагающей идеей гипотезы о взаимосвязи конфигурации и отклонений координатных размеров труб.

Применение теории размерных цепей к анализу суммарных отклонений координатных размеров труб открывает возможность экспериментального подтверждения математических соотношений, гипотезы в целом и её применения в практических расчётах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сахно К. Н. Развитие технологий сборки судовых трубопроводов / К. Н. Сахно, Д. М. Галкин // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2014. № 2 (42). С. 207–212.
2. Методические указания. Цепи размерные. Основные понятия. Методы расчета линейных и угловых цепей. РД 50-635-87. М.: Изд-во стандартов, 1987. 44 с.
3. Палей М. А. Допуски и посадки: справ.: в 2 ч. / М. А. Палей, А. Б. Романов, В. А. Брагинский. Л.: Политехника, 1991. Ч. 2. 607 с.
4. Сахно К. Н. Проектирование сложных судовых трубопроводных систем с учетом погрешностей их изготовления: моногр. / К. Н. Сахно. Астрахань: Изд-во АГТУ, 2008. 84 с.
5. Сахно К. Н. Научные основы повышения технологичности трубопроводов судовых систем на стадии проектирования: дис. ... д-ра техн. наук / К. Н. Сахно. Астрахань, 2012. 353 с.
6. Дунаев П. Ф. Размерные цепи / П. Ф. Дунаев. М.: Машгиз, 1963. 308 с.

Статья поступила в редакцию 14.05.2015

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Сахно Константин Николаевич – Россия, 414056, Астрахань; Астраханский государственный технический университет; г-р техн. наук, доцент; профессор кафедры «Судостроение и энергетические комплексы морской техники»; k.sakhno@mail.ru.

Сергеев Павел Юрьевич – Россия, 414056, Астрахань; Астраханский государственный технический университет; аспирант кафедры «Судостроение и энергетические комплексы морской техники»; Pavel.Sergeev@me.com.

Во Чунг Куанг – Россия, 414056, Астрахань; Астраханский государственный технический университет; аспирант кафедры «Судостроение и энергетические комплексы морской техники»; votrungquang@yahoo.com.

До Тат Мань – Россия, 414056, Астрахань; Астраханский государственный технический университет; аспирант кафедры «Судостроение и энергетические комплексы морской техники»; dotatmanh@yahoo.com.vn.



K. N. Sakhno, P. Yu. Sergeev, Vo Trung Quang, Do Tat Manh

APPLICATION OF THE THEORY OF DIMENSION CHAINS TO THE ANALYSIS OF THE TOTAL ERRORS ON THE FINAL JOINTS OF SHIP PIPING SYSTEMS

Abstract. The paper considers the theoretical bases of the influence of manufacturing errors on the accuracy of the coordinate dimensions of the pipe and the interrelation of configuration and coordinate deviations of the pipe dimensions. Presentation how to receive the configuration of the pipe through the feed motion, deflection, turning and cutting is a fundamental idea of the hypothe-

sis about the correlation of configuration and deviations of coordinate dimension of the pipes. The analytical dependences constituting a mathematical basis for determining the effect of the errors of operations of cutting and deflection on the accuracy of the coordinate dimension of the pipes are determined. The possibility of applying the theory of spatial dimensional circuits during dimensional analysis in the design process of the pipeline routes is expanded. The developed method of calculation based on the correlation of the configuration and deviations of coordinate dimensions of the pipes can be applied when designing the pipeline routes, regardless of their functionality. The use of the research results while designing the pipeline and technological preparation of production makes it possible to locate the pipelines taking into account science-based tolerance extremes, to ensure the specified requirements of tracing and to improve the pipe designing technology in accordance with the designing information in order to increase the volume of the final manufactured pipes without their fitting on the place.

Key words: pipelines, designing, manufacture, installation, theory of dimensional chains.

REFERENCES

1. Sakhno K. N., Galkin D. M. Razvitie tekhnologii sborki sudovykh truboprovodov [Development of the assembling technology of marine pipelines]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie*. Irkutsk, 2014, no. 2 (42), pp. 207–212.
2. *Metodicheskie ukazaniia. Tsepi razmernye. Osnovnye poniatiia. Metody rascheta lineinykh i uglovykh tsepei. RD 50-635-87* [Methodical recommendations. Dimensional chains. Main notions. Methods of calculation of linear and angular chains. RD 50-635-87]. Moscow, Izdatel'stvo standartov, 1987. 44 p.
3. Palei M. A., Romanov A. B., Braginskii V. A. *Dopuski i posadki. Spravochnik: v 2 ch.* [Allowance and fitting. Reference: in 2 parts]. Leningrad, Politekhnik Publ., 1991. Part 2. 607 p.
4. Sakhno K. N. *Proektirovanie slozhnykh sudovykh truboprovodnykh sistem s uchetom pogreshnostei ikh izgotovleniia* [Designing of complex marine pipeline systems taking into account the errors of the production]. Astrakhan, Izdatel'stvo AGTU, 2008. 84 p.
5. Sakhno K. N. *Nauchnye osnovy povysheniia tekhnologichnosti truboprovodov sudovykh sistem na stadii proektirovaniia* [Scientific bases of increase in technological parameters of the marine pipeline systems at the stage of their designing. Dis. Dr. tech. sci.]. Astrakhan, 2012. 353 p.
6. Dunaev P. F. *Razmernye tsepi* [Dimensional chains]. Moscow, Mashgiz, 1963. 308 p.

The article submitted to the editors 14.04.2015

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Sakhno Konstantin Nikolaevich – Russia, 414056, Astrakhan; Astrakhan State Technical University; Doctor of Technical Sciences, Assistant Professor; Professor of the Department "Shipbuilding and Power Complexes of Marine Technological Equipment"; k.sakhno@mail.ru.

Sergeev Pavel Yurievich – Russia, 414056, Astrakhan; Astrakhan State Technical University; Postgraduate Student of the Department "Shipbuilding and Power Complexes of Marine Technological Equipment"; Pavel.Sergeev@me.com.

Vo Trung Quang – Russia, 414056, Astrakhan; Astrakhan State Technical University; Postgraduate Student of the Department "Shipbuilding and Power Complexes of Marine Technological Equipment"; votrungquang@yahoo.com.

Do Tat Manh – Russia, 414056, Astrakhan; Astrakhan State Technical University; Postgraduate Student of the Department "Shipbuilding and Power Complexes of Marine Technological Equipment"; dotatmanh@yahoo.com.vn.

