

DEVELOPMENT OF THEORETICAL BASE FOR RESEARCH INTO COMPENSATION OPPORTUNITIES OF DEVIATIONS IN THE SHIP PIPING SYSTEMS

T. M. Do¹, K. N. Sakhno²

¹ — Vietnam Maritime University, Hai Phong, Socialist Republic of Vietnam

² — Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russian Federation

To improve the technology of ship piping systems at the design stage is an actual problem. The authors have analyzed technological features of manufacturing ship piping systems and have also considered the current state of design, manufacture and installation of ship pipeline issues. The review of research in the field of compensation of deviations of pipeline routes is presented. The problem of improving technology of ship piping systems at the design stage is considered providing the possibility of manufacturing pipes without removing dimensions in place. The authors have proposed the solution for the issue within studies of relationship of configuration and compensatory possibilities of pipeline routes. The authors are suggesting the idea of using straight pipes for moving the pipeline route to compensate for errors in the manufacture of pipes and the installation of tightly fixed connections of equipment, saturation products, etc., which ensures collecting the route without changing configuration of ready-made pipes. The proposed development allows to control and reduce at the design stage possible deviations that occur in the manufacture of pipes, to minimize the gaps assigned to the tracing of pipelines.

The authors have reached the following research outcomes: mathematical description of the compensation capabilities of pipeline routes by using straight pipes; 3D models of compensation area are constructed; the necessary condition for full compensation of deviations, without the use of measure pipes lies in the presence in the track of two pairs of straight pipes with non-planar directions. The theoretical basis for designing an automated program has been developed that will allow determining the areas of compensatory opportunities for pipeline routes. The authors proposed the idea of replacing bottom pipes for the pipes supplied, which helps to reduce the time for constructing ships.

Keywords: compensation area, manufacturing, design, installation, ship's piping system, route, measured pipe, adjustable pipe, deflection, spherical coordinate systems.

For citation:

Do, Tat Manh, and Konstantin N. Sakhno. "Development of theoretical base for research into compensation opportunities of deviations in the ship piping systems." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 10.2 (2018): 356–362. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-2-356-362.

УДК 629.12

РАЗРАБОТКА ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ОСНОВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ КОМПЕНСАЦИОННЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ОТКЛОНЕНИЙ В СУДОВЫХ СИСТЕМАХ ТРУБОПРОВОДОВ

Т. М. До¹, К. Н. Сажно²

¹ — Вьетнамский морской университет,
Хайфон, Социалистическая Республика Вьетнам

² — ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет»,
Астрахань, Российская Федерация

Повышение технологичности трубопроводов судовых систем на стадии проектирования является актуальной проблемой. Проведён анализ технологических особенностей изготовления судовых трубопроводов. Рассмотрено современное состояние вопроса проектирования, изготовления и монтажа судовых трубопроводов. Представлен обзор исследований в области компенсации отклонений трубопроводных трасс. В ходе исследований компенсационных возможностей проектной трассировки трубопроводов установлено математическое описание компенсационных возможностей трасс трубопроводов путём использования прямых труб; построены трехмерные модели области компенсации; доказано необходимое

условие полной компенсации отклонений без применения забойных труб — наличие в трассе двух пар прямых труб некопланарных направлений; разработана теоретическая основа для создания автоматизированной программы, которая позволит определить области компенсационных возможностей для трасс трубопроводов. Предлагаемая разработка позволяет на стадии проектирования управлением и снижением возможных отклонений, возникающих при изготовлении труб, минимизировать зазоры, устанавливаемые при трассировке трубопроводов. Предложена возможность замены забойных труб на поставляемые трубы, что способствует сокращению сроков постройки судов.

В работе рассматривается проблема повышения технологичности трубопроводов судовых систем на стадии проектирования с обеспечением возможности изготовления труб без снятия размеров по месту и ее решение в рамках исследований взаимосвязи конфигурации и компенсационных возможностей трубопроводных трасс. Изложена идея об использовании прямых труб для перемещений трассы трубопровода с целью компенсации погрешностей изготовления труб и сборки жёстко фиксированных соединений оборудования, изделий насыщения и т. п., что обеспечивает собираемость трассы без изменения конфигурации готовых труб.

Ключевые слова: область компенсации, изготовление, проектирование, монтаж, трубопроводы, трассировка, забойная труба, пригоняемая труба, отклонение, сферические системы координат.

Для цитирования:

До Т. М. Разработка теоретической основы исследования компенсационных возможностей отклонений в судовых системах трубопроводов / Т. М. До, К. Н. Сахно // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2018. — Т. 10. — № 2. — С. 356–362. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-2-356-362.

Введение (Introduction)

Трудоемкость изготовления трубопроводов и сборки систем на судах составляет до 11 – 20 % от общей трудоемкости работы на верфи. Технология трубопроводов характеризуется разнообразием операций и низким уровнем механизации. Для этого производства требуется значительная и сложная подготовка [1] – [3] — рис. 1.

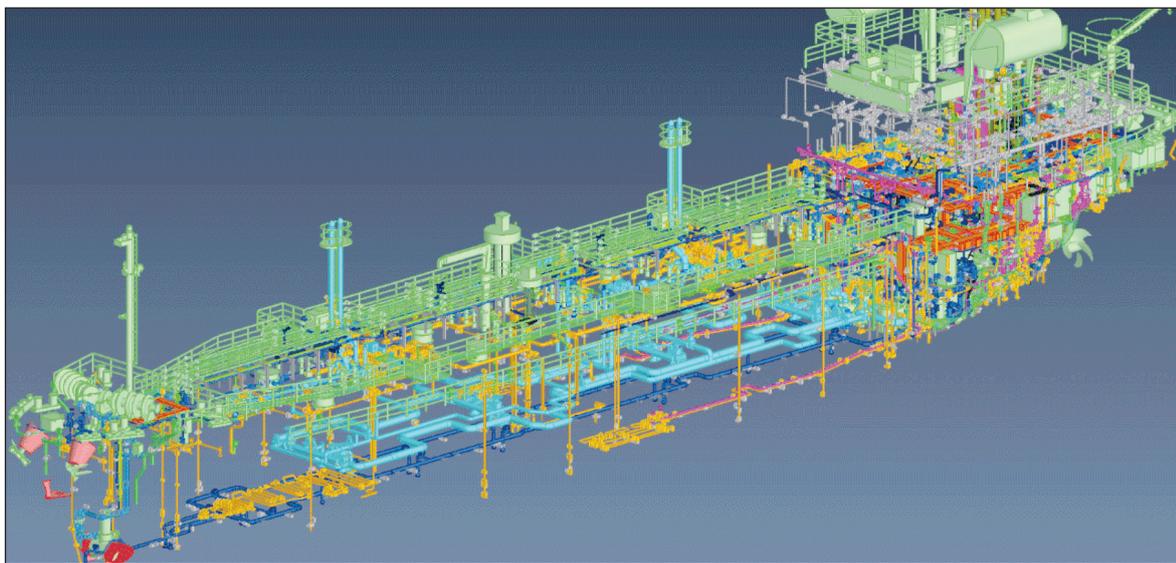


Рис. 1. Моделирование судовых систем трубопроводов при помощи ЭВМ

В связи с ранее изложенным, необходимо повышение эффективности производства за счет внедрения новых технологий для изготовления труб по проектной информации без уточнения по месту [1], [4], [5]. Наличие в проектной документации достаточной информации для производства и сборки труб позволяет комбинировать работы по строительству судна и сократить время завершения судостроительных заказов [3], [6], [7]. Кроме того, создаются предпосылки для создания автоматизированной программы, которая позволит оказать помощь в формировании региональных центров автоматизированного производства труб.

Для разработки альтернативных способов компенсации гипотеза о взаимосвязи между конфигурационными и компенсационными возможностями траектории проектирования трубопровода была выдвинута и обоснована в работе [1], фундаментальная идея которой заключается в использовании прямых и параллельных участков с соединениями труб для перемещения трассы трубопроводов. Это компенсирует общие отклонения жестко фиксированных соединений, которые ограничивают данную трассу, а также погрешности в изготовлении и монтаже труб, что обеспечивает сбор трассы без изменения конфигурации готовых труб.

Методы и материалы (Methods and Materials)

В работе [2] показано, что прямые трубы трасс или прямые участки трасс с погибами можно использовать для перемещения конечной точки трассы за счёт установки соединений с перекосом труб и поворота трассы в соединениях, находящихся на этих прямых трубах. При этом область, которую опишет конечная точка A , является областью компенсации возможных отклонений.

В данном исследовании применяем уравнения для определения области компенсации трасс в прямой задаче (при проектировании трубопровода). Другими словами, определяем возможность компенсации отклонений заданной трассы, уравнения для определения углов вращения прямых труб применяются в обратной задаче (при монтаже трубопровода), т. е. вначале определяем углы, на которые надо вращать прямые трубы для компенсации возникающих отклонений.

Рассмотрим трассу трубопроводов, которая состоит из последовательности точек $C, C_1, F_1, \dots, C_m, F_n, A$ (рис. 2). Каждая из них может быть либо точкой соединения двух труб, состоящих из последовательности точек $C(x_C, y_C, z_C), C(x_{C_1}, y_{C_1}, z_{C_1}), \dots, C(x_{C_m}, y_{C_m}, z_{C_m})$, без изменения направления трассы, либо точкой изгиба $F(x_{F_1}, y_{F_1}, z_{F_1}), F(x_{F_2}, y_{F_2}, z_{F_2}), \dots, F(x_{F_n}, y_{F_n}, z_{F_n})$ без изменения направления трассы. Последняя (конечная) точка $A(x_A, y_A, z_A)$. Трасса должна соединить начальную (C) и конечную точку (A), точное фактическое положение которых (относительно друг друга) в момент проектирования трассы неизвестно. Погрешность определяется областью возможных отклонений конечной точки трассы. Эта область задаётся в виде сферы или прямоугольного параллелепипеда в трёхмерном пространстве (определяется предельными отклонениями от конечной точки трассы по каждой из координат).

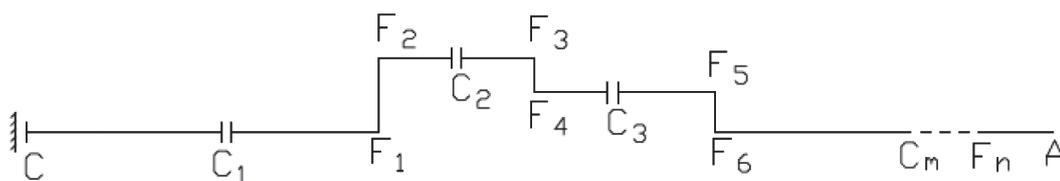


Рис. 2. Трасса труб

При установке первого соединения с перекосом труб, поворачивая трассу в соединении, находящаяся на этих прямых трубах конечная точка трассы описывает *вихор сферы* (рис. 3). Максимальная величина отклонения путём установки с перекосом зависит от длины прямых труб или расстояния между двумя соединениями.

Далее при установке второго соединения не перпендикулярно оси трубы, а взаимно параллельно, конечная точка трассы перемещается по некоторой траектории. Аналогично при смещении осей следующих соединений область компенсации представляет собой трёхмерное тело. Эта дуга, поверхность и трёхмерное тело и определяют область компенсации. В предлагаемом исследовании задачей является разработка математического описания определения области компенсации. Для решения задачи необходимо применить расчетный метод на основе разработки соответствующих теоретических положений и математических формул.

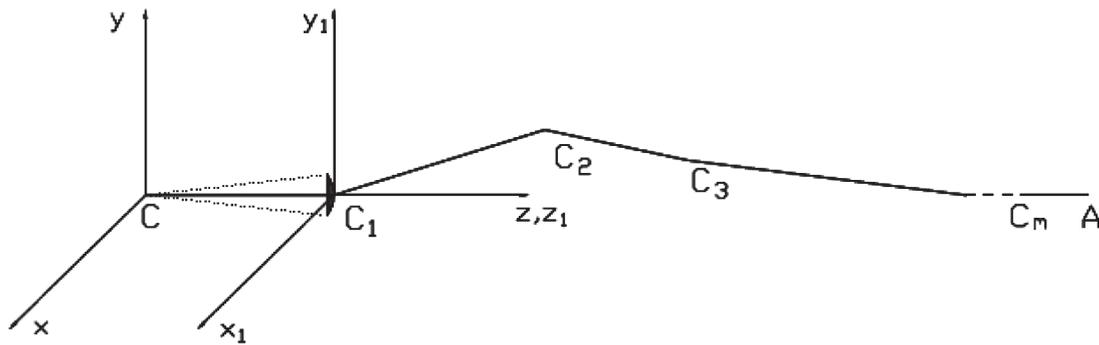


Рис. 3. Перенос оси систем координат

Вспользуемся декартовой системой координат $Sxyz$. При установке соединения в точке C с перекосом и поворотом трубы CC_1 получим три координаты (r, θ, φ) , где r — кратчайшее расстояние до начала координат; θ, φ — зенитный и азимутальный углы соответственно. Для решения задачи оказывается удобным вместо декартовой системы использовать сферические системы координат.

Результаты (Results)

Три координаты (r, θ, φ) определены следующим образом:

- $r \geq 0$ — расстояние от начала координат C до заданной точки C_1 ;
- $0 \leq \theta \leq \alpha$ — угол между осью Cz и отрезком, соединяющим начало координат и последнюю точку трубы C_1 (таким образом, Cz — ось трубы), α определяется по ОСТу 5. 95057-90 [8].
- $0 \leq \varphi \leq 2\pi$ — угол между осью X и проекцией отрезка, соединяющего начало координат с точкой C_1 на плоскости Sxy (таким образом, $Sxyz$ — плоскость трубы).

Если заданы сферические координаты точки C_1 , то переход к декартовым $Sxyz$ осуществляется по формулам:

$$\begin{cases} x_{C_1} = r_1 \cdot \sin \theta_1 \cdot \cos \varphi_1; \\ y_{C_1} = r_1 \cdot \sin \theta_1 \cdot \sin \varphi_1; \\ z_{C_1} = r_1 \cdot \cos \theta_1, \end{cases} \quad (1)$$

где $r_1 = CC_1 = \sqrt{x_1^2 + y_1^2 + z_1^2} = \sqrt{(x_{C_1} - x_C)^2 + (y_{C_1} - y_C)^2 + (z_{C_1} - z_C)^2}$; θ_1 — угол перекоса $[0, \alpha]$; φ_1 — угол поворота $[0, 2\pi]$.

При параллельном переносе системы координат $Sxyz$ в точку C_1 получим новую систему координат $C_1x_1y_1z_1$ (см. рис. 2). Формулы перехода от системы $Sxyz$ к системе $C_1x_1y_1z_1$ принимают вид:

$$\begin{cases} x = x_1 + x_{C_1}; \\ y = y_1 + y_{C_1}; \\ z = z_1 + z_{C_1}. \end{cases} \quad (2)$$

В новой системе координат $C_1x_1y_1z_1$ координаты точки соединения C_2 принимают вид:

$$\begin{cases} x_{C_2} = r_2 \cdot \sin \theta_2 \cdot \cos \varphi_2; \\ y_{C_2} = r_2 \cdot \sin \theta_2 \cdot \sin \varphi_2; \\ z_{C_2} = r_2 \cdot \cos \theta_2, \end{cases} \quad (3)$$

где $r_2 = C_1C_2 = \sqrt{x_2^2 + y_2^2 + z_2^2} = \sqrt{(x_{C_2} - x_{C_1})^2 + (y_{C_2} - y_{C_1})^2 + (z_{C_2} - z_{C_1})^2}$; θ_2 — угол перекоса $[0, \alpha]$; φ_2 — угол поворота $[0, 2\pi]$.

В отличие от систем уравнений (1), (3), в системе уравнений (2) координаты точки соединения C_2 принимают вид:

$$\begin{cases} x = x_{C_2} + x_{C_1}; \\ y = y_{C_2} + y_{C_1}; \\ z = z_{C_2} + z_{C_1}. \end{cases}$$

Получим

$$\begin{cases} x = r_1 \cdot \sin \theta_1 \cdot \cos \varphi_1 + r_2 \cdot \sin \theta_2 \cdot \cos \varphi_2; \\ y = r_1 \cdot \sin \theta_1 \cdot \sin \varphi_1 + r_2 \cdot \sin \theta_2 \cdot \sin \varphi_2; \\ z = r_1 \cdot \cos \theta_1 + r_2 \cdot \cos \theta_2. \end{cases} \quad (4)$$

Аналогично при параллельном переносе системы координат следующих точек соединений до последней точки A координаты точки соединения A в первоначальной системе координат $Oxyz$ принимают следующий вид:

$$\begin{cases} x_A = \sum_{i=1}^m r_i \cdot \sin \theta_i \cdot \cos \varphi_i; \\ y_A = \sum_{i=1}^m r_i \cdot \sin \theta_i \cdot \sin \varphi_i; \\ z_A = \sum_{i=1}^m r_i \cdot \cos \theta_i, \end{cases} \quad (5)$$

где $r_i = C_{i-1}C_i = \sqrt{x_i^2 + y_i^2 + z_i^2} = \sqrt{(x_{C_{i-1}} - x_{C_i})^2 + (y_{C_{i-1}} - y_{C_i})^2 + (z_{C_{i-1}} - z_{C_i})^2}$; m — количество свободного соединения в трассе труб (C, C_1, C_2, \dots, C_m); θ_i — угол перегиба $[0, \alpha]$; φ_i — угол поворота $[0, 2\pi]$.

Уравнение (5) определяет траекторию перемещения последней точки трассы A . Эта траектория представлена на рис. 4.

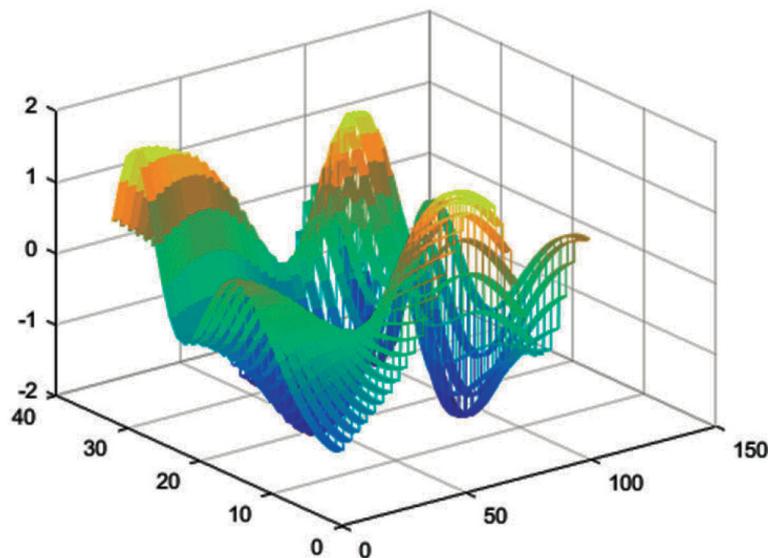


Рис. 4. Траектория смещения точки A при повороте i труб

Таким образом, x_A, y_A, z_A являются координатами вектора \vec{CA} . Для определения координат A после перемещения трассы по соединению в первоначальной системе координат $Oxyz$ используем следующую формулу:

$$\vec{OA} = \vec{OC} + \vec{CA}.$$

Обсуждение (Discussion)

В соответствии с предлагаемым подходом к компенсации отклонений трасс трубопроводов с использованием поворотов прямых труб соединения не устанавливаются перпендикулярно оси трубы, они взаимно параллельны, что позволяет перемещать трассы, состоящие из прямых труб, только для компенсации возможных отклонений жестко фиксированных соединений на фактически требуемое значение. При этом обнаруживается, что только с двумя прямыми трубами достаточно компенсировать отклонение по всем направлениям Ox , Oy , Oz . Однако в этом случае диапазон компенсации обычно маленький (в зависимости от длин прямых труб). Для того, чтобы увеличить область компенсации, необходимо увеличить количество прямых труб в трассе. Чем больше количество прямых труб, тем больше смещение конечной точки трассы.

Проблема совершенствования технологий судостроения в процессе изготовления и монтажа трубопроводов остается актуальной. Предыдущие исследования также были направлены на решение этой проблемы. В общем, предлагаемые подходы обычно оптимизируются при проектировании трубопровода [9] – [11], а также улучшается точность изготовления и сборки труб. В сочетании с предложенным в данной работе исследовательским направлением в будущем можно будет достигнуть важного этапа в процессе проектирования, изготовления и монтажа системы трубопроводов.

Заключение (Conclusion)

В результате проведенных исследований были получены следующие результаты:

- выполнено математическое описание компенсационных возможностей трасс трубопроводов путём использования прямых труб;
- построены трехмерные модели области компенсации;
- разработана теоретическая основа для создания автоматизированной программы, которая позволит определить области компенсационных возможностей для трасс трубопроводов;
- открывается возможность замены забойных труб на поставляемые трубы, что способствует сокращению сроков постройки судов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сахно К. Н. Научные основы повышения технологичности трубопроводов судовых систем на стадии проектирования: дис. ... д-ра техн. наук: 05.08.04 / К. Н. Сахно. — Астрахань: АГТУ, 2012. — 353 с.
2. Сахно К. Н. Исследование возможностей создания обобщенного метода использования параллельных участков и прямых труб для компенсации отклонений судовых трубопроводных трасс / К. Н. Сахно, Т. М. До, Ч. К. Во // Молодой ученый. — 2016. — № 6 (110). — С. 181–184.
3. Дженкова Р. В. Анализ экономической эффективности новых технологий при изготовлении труб судовых систем / Р. В. Дженкова, Т. М. До, К. Н. Сахно // Инженерный вестник Дона. — 2016. — Т. 40. — № 1 (40). — С. 26.
4. Safa M. Automating measurement process to improve quality management for piping fabrication / M. Safa, A. Shahi, M. Nahangi, C. Haas, H. Noori // Structures. — 2015. — Vol. 3. — Pp. 71–80. DOI: 10.1016/j.istruc.2015.03.003.
5. Haiteng S. Pipe-assembly approach for ships using modified NSGA-II algorithm / S. Haiteng, N. Wentie, N. Yaxiao, Z. Chongkai, G. Weigao // Computer Aided Drafting, Design and Manufacturing. — 2016. — Vol. 26 (2). — Pp. 34–42.
6. Dang V. T. Giao trinh tho ong tau thuy / V. T. Dang. — Hai Phong: Dai Hoc Hang Hai Viet Nam, 2005. — 45 p.
7. Cao N. V. Nghien cuu ung dung phan mem ship constructor vao thiet ke cong nghe he thong duong ong tau thuy bang mo hinh 3D tren may vi tinh / N. V. Cao // Tap chi: Khoa hoc cong nghe hang hai. — 2007. — № 10. — С. 84–86.
8. ОСТ 5.95057-90. Системы судовые и системы судовых энергетических установок. Типовой технологический процесс изготовления и монтажа трубопроводов. — РТП НПО «Ритм». — 207 с.
9. Park J. H. Pipe-routing algorithm development: case study of a ship engine room design / J. H. Park, R. L. Storch // Expert Systems with Application. — 2002. — Vol. 23. — Is. 3. — Pp. 299–309. DOI: 10.1016/S0957-4174(02)00049-0.

10. Jiang W. Y. A co-evolutionary improved multi-ant colony optimization for ship multiple and branch pipe route design / W. Y. Jiang, Y. Lin, M. Chen, Y. Y. Yu // *Ocean Engineering*. — 2015. — Vol. 102. — Pp. 63–70. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2015.04.028.

11. Lee D. M. Layout design optimization of pipe system in ship engine room for space efficiency / D. M. Lee, S. Y. Kim, B. Y. Moon, G. J. Kang // *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*. — 2013. — Vol. 37. — Is. 7. — Pp. 784–791. DOI: 10.5916/jkosme.2013.37.7.784.

REFERENCES

1. Sakhno, K.N. Nauchnye osnovy povysheniya tekhnologichnosti truboprovodov sudovykh sistem na stadii proektirovaniya: Dr. diss. Astrakhan': AGTU, 2012.

2. Sakhno, K.N., T.M. Do, and Ch.K. Vo. "Issledovanie vozmozhnostei sozdaniya obobshchennogo metoda ispol'zovaniya parallel'nykh uchastkov i pryamykh trub dlya kompensatsii otklonenii sudovykh truboprovodnykh trass." *Molodoi uchenyi* 6(110) (2016): 181–184.

3. Dzhenkova, R.V., T.M. Do, and K.N. Sakhno. "Cost-effectiveness analysis of new technologies in the production of ship piping systems." *Engineering journal of Don* 40.1(40) (2016): 26.

4. Safa, Mahdi, Arash Shahi, Mohammad Nahangi, Carl Haas, and Hamid Noori. "Automating measurement process to improve quality management for piping fabrication." *Structures* 3 (2015): 71–80. DOI: 10.1016/j.istruc.2015.03.003.

5. Haiteng, S., N. Wentie, N. Yaxiao, Z. Chongkai, and G. Weigao. "Pipe-assembly approach for ships using modified NSGA-II algorithm." *Computer Aided Drafting, Design and Manufacturing* 26(2) (2016): 34–42.

6. Dang, V.T. *Giao trinh tho ong tau thuy*. Hai Phong: Dai Hoc Hang Hai Viet Nam, 2005.

7. Cao, N.V. "Nghien cuu ung dung phan mem ship constructor vao thiet ke cong nghe he thong duong ong tau thuy bang mo hinh 3D tren may vi tinh." *Tap chi: Khoa hoc cong nghe hang hai. - Hai Phong* 10 (2007): 84–86.

8. Russian Federation. OST 5.95057-90. Sistemy sudovyye i sistemy sudovykh energeticheskikh ustanovok. Tipovoy tekhnologicheskii protsess izgotovleniya i montazha truboprovodov. RTP NPO «Ritm».

9. Park, Jin-Hyung, and Richard L. Storch. "Pipe-routing algorithm development: case study of a ship engine room design." *Expert Systems with Applications* 23.3 (2002): 299–309. DOI: 10.1016/S0957-4174(02)00049-0.

10. Jiang, Wen-Ying, Yan Lin, Ming Chen, and Yan-Yun Yu. "A co-evolutionary improved multi-ant colony optimization for ship multiple and branch pipe route design." *Ocean Engineering* 102 (2015): 63–70. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2015.04.028.

11. Lee, Dong-Myung, Soo-Young Kim, Byung-Young Moon, Gyung-Ju Kang. "Layout design optimization of pipe system in ship engine room for space efficiency." *Journal of the Korean Society of Marine Engineering* 37.7 (2013): 784–791. DOI: 10.5916/jkosme.2013.37.7.784.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

До Тат Мань — преподаватель
Вьетнамский морской университет
Социалистическая Республика Вьетнам, Хайфон,
Ле Чан, 484 Лач Чай
e-mail: dotatmanh@gmail.com

Сахно Константин Николаевич —
доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВО «Астраханский государственный
технический университет»
414056, Российская Федерация, Астрахань, ул.
Татищева, 16
e-mail: k.sakhno@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Do, Tat Manh — Lecturer
Vietnam Maritime University
484 Lach Tray, Le Chan, Hai Phong,
Socialist Republic of Vietnam
e-mail: dotatmanh@gmail.com

Sakhno, Konstantin N. —
Doctor of Technical Sciences,
professor
Astrakhan State Technical University
414056, 16 Tatischeva Str., Astrakhan, 414056,
Russian Federation
e-mail: k.sakhno@mail.ru

Статья поступила в редакцию 21 февраля 2018 г.
Received: February 21, 2018.