

СУДОСТРОЕНИЕ, СУДОРЕМОНТ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ФЛОТА

SHIPBUILDING, SHIP REPAIR AND FLEET OPERATION

Научная статья
УДК 629.5.06.001.2:621.643
<https://doi.org/10.24143/2073-1574-2025-1-7-18>
EDN EZFDFQ

Совершенствование методики проектирования судовых систем трубопроводов с учетом компенсационных возможностей при изготовлении и монтаже

К. Н. Сахно^{1✉}, Нгуен Тхи Сен², В. Ю. Калашник³, В. М. Цалоев⁴, Во Чунг Куанг⁵

¹⁻³*Астраханский государственный технический университет,
Астрахань, Россия, k.sakhno@mail.ru[✉]*

⁴*Севастопольский государственный университет,
Севастополь, Россия*

⁵*Каспийский институт морского и речного транспорта имени генерал-адмирала
Федора Матвеевича Апраксина, филиал Волжского государственного университета
водного транспорта, Астрахань, Россия*

Аннотация. Рассматриваются вопросы обеспечения достоверности проектной информации по судовым трубопроводам с учетом особенностей изготовления и монтажа отдельных труб. Приводится критический анализ процесса проектирования и технологической подготовки трасс трубопроводов. Анализ направлен на определение условий и возможности усовершенствования современных методов проектирования трубопроводных систем при помощи контроля взаиморасположения отдельных элементов трассы трубопровода с учетом погрешности изготовления труб. Проведены необходимые исследования, рассматривается возможность использования иного метода трассировки трубопроводных систем, с использованием трубогибочного станка и разработанной компьютерной программы. Выявлены необходимые условия увеличения количества труб, окончательно изготавливаемых по проектной документации. Показана возможность использования сборочного стенда для установки соединений на трубы с одновременной компенсацией погрешностей гибки. Предлагается методика назначения технологических допусков в трассах трубопроводов. Разработанная в ходе исследований компьютерная программа позволяет организовать проверку величин назначаемых зазоров в проектируемой трассе от соседних конструкций или смежных трубопроводов. Рассмотрены основные функции и возможности данной программы. Пошагово продемонстрировано использование данного метода расчета отклонений с целью выявления величины контролируемого зазора между проектированной трассой и соседними конструкциями. Применение разработанной методики позволяет провести трассировку с минимальными отклонениями в заданных направлениях размещения трубопроводов. Результаты проведенных исследований по совершенствованию методики проектирования судовых систем трубопроводов расширяют возможность совмещения судостроительных работ, уменьшая трудоемкость изготовления трубопроводных трасс и сроков монтажных процессов, что в свою очередь сокращает время постройки судна.

Ключевые слова: трубопроводы судовых систем, проектирование, технологическая подготовка, изготовление и монтаж труб, судостроение

Для цитирования: Сахно К. Н., Нгуен Тхи Сен, Калашник В. Ю., Цалоев В. М., Во Чунг Куанг. Совершенствование методики проектирования судовых систем трубопроводов с учетом компенсационных возможностей при изготовлении и монтаже // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2025. № 1. С. 7–18. <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2025-1-7-18>. EDN EZFDFQ.

Original article

Improving the design methodology of shipboard pipeline systems, taking into account the compensatory capabilities during manufacture and installation

K. N. Sakhno¹✉, Nguyen Thi Sen², V. Yu. Kalashnik³, V. M. Tsalojev⁴, Vo Trung Quang⁵

¹⁻³*Astrakhan State Technical University,
Astrakhan, Russia, k.sakhno@mail.ru*✉

⁴*Sevastopol State University,
Sevastopol, Russia*

⁵*Caspian Institute of Sea and River Transport after General-Admiral F. M. Apraksin,
branch of Volga State University of Water Transport, Astrakhan, Russia*

Abstract. The issues of ensuring the reliability of design information on ship pipelines are considered, taking into account the specifics of manufacturing and installation of individual pipes. A critical analysis of the design process and technological preparation of pipeline routes is provided. The analysis is aimed at determining the conditions and possibilities for improving modern methods of designing pipeline systems by monitoring the relative positions of individual elements of the pipeline route, taking into account the error in pipe manufacturing. The necessary studies have been conducted, the possibility of using another method of tracing pipeline systems, using a pipe bending machine and the developed computer program, has been considered. The necessary conditions for increasing the number of pipes finally manufactured according to the design documentation have been identified. The possibility of using an assembly stand for installing joints on pipes with simultaneous compensation for bending errors has been shown. A method for assigning process tolerances in pipeline routes is proposed. The computer program developed during the studies allows for checking the values of the assigned gaps in the designed route from adjacent structures or adjacent pipelines. The main functions and capabilities of this program are considered. The use of this method of calculating deviations in order to identify the size of the controlled gap between the designed route and adjacent structures is demonstrated step by step. The use of the developed method allows tracing with minimal deviations in the specified directions of pipeline placement. The results of the conducted studies on improving the design methodology of ship pipeline systems expand the possibility of combining shipbuilding work, reducing the labor intensity of manufacturing pipeline routes and the timing of installation processes, which in turn reduces the time of ship construction.

Keywords: pipelines of ship systems, design, technological preparation, manufacturing and installation of pipes, shipbuilding

For citation: Sakhno K. N., Nguyen Thi Sen, Kalashnik V. Yu., Tsalojev V. M., Vo Trung Quang. Improving the design methodology of shipboard pipeline systems, taking into account the compensatory capabilities during manufacture and installation. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine engineering and technologies.* 2025;1:7-18. (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2025-1-7-18>. EDN EZFDFQ.

Введение

Внедрение технологий изготовления труб без уточнения размеров по месту характерно для развития современного судостроения. Обеспечение достоверности проектной документации по трубопроводам судовых систем способствует изготовлению и монтажу труб заранее в задел, независимо от готовности строящегося морского заказа. Расширяются возможности по совмещению судостроительных работ и снижению времени постройки судна в целом. Открываются перспективы создания региональных центров автоматизированного изготовле-

ния труб. Увеличение количества труб, окончательно изготавливаемых по проектной информации, напрямую зависит от непрерывного совершенствования процесса проектирования трубопроводов судовых систем. В настоящее время по проектной информации при наличии современных автоматизированных систем изготавливается не более 40 % труб судовых систем. Для решения проблемы полнота и достоверность проектной информации должна основываться на учете компенсационных возможностей при изготовлении и монтаже труб [1–5].

Анализ проблемы изготовления труб по проектной информации

Аналитический поиск решения проблемы направлен на устранение причин, тормозящих изготовление трубопроводов судовых систем по проектной информации. Этой проблемой занимались в СССР с 60-х гг. прошлого столетия. Работниками Центрального научно-исследовательского института технологии судостроения (ЦНИИТС), в настоящее время – Центр технологии судостроения и судоремонта (АО «ЦТСС»), эта проблема успешно решалась. На предприятиях, с которыми были заключены договоры в объеме тех трубопроводов, которые прорабатывались работниками ЦНИИТС, все получалось: трубопроводы, собранные из изготовленных по размерам труб укладывались при монтаже в отведенные им коридоры. Успех обусловлен соблюдением следующих условий:

1. Составлялись размерные цепи в трех координатных направлениях, устранялись ошибки, допущенные при трассировке трубопровода в процессе проектирования (рис. 1).

2. Предлагаемая нормативными документами по проектированию трубопроводов методика трассировки требовала указывать в чертежах трубопроводов элементы корпусных конструкций и оборудования, чтобы от указанных базовых корпусных деталей (шпангоутов, пиллерсов, фундаментов оборудования) назначать размеры до линии трубо-

провода (рис. 2) [6, 7].

3. В насыщенных судовых помещениях (машинно-котельном отделении, насосных отсеках) нормативными документами требовалось изготавливать макеты из пластиковых труб в масштабах 1 : 10 или 1 : 5 (рис. 3).

4. Для учета удлинения разных материалов труб разработан соответствующий график удлинения труб при выполнении погибов на трубогибочных станках, использующих метод наматывания (рис. 4, 5).

5. Для учета пружинения труб разработаны графики величин пружинения материалов труб при выполнении операции погиба на этих же станках.

6. Для сборки труб с соединениями разработан специализированный стенд, имитирующий три взаимно перпендикулярные плоскости координат (рис. 6) [8].

7. При указании размеров на монтажных чертежах трубопроводов требовалось соблюдать зазоры в 50–70 мм между трубопроводами и соседними конструкциями [6]:

- между трубами и корпусными конструкциями – не менее 50 мм;
- между трассами труб диаметром до 70 мм – не менее 50 мм;
- между трассами труб диаметром свыше 70 мм – не менее 70 мм;
- между трубами, электрокабелем и вентиляцией – не менее 100 мм.

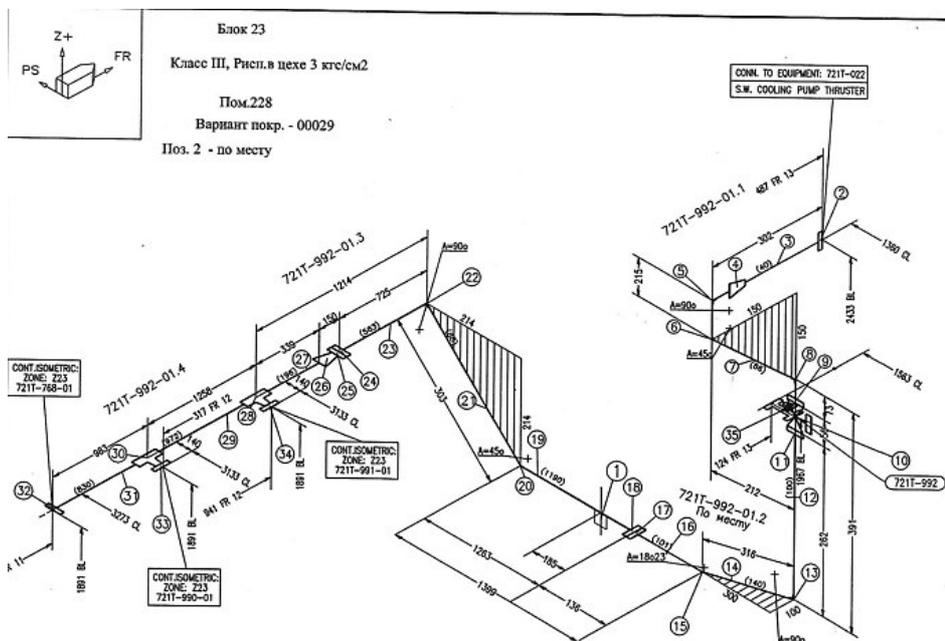


Рис. 1. Проектная трассировка трубопровода

Fig. 1. Design pipeline routing

Сахно К. Н., Нгуен Тхи Сен, Калашник В. Ю., Цалоев В. М., Во Чунг Куанг. Совершенствование методики проектирования судовых систем трубопроводов с учетом компенсационных возможностей при изготовлении и монтаже

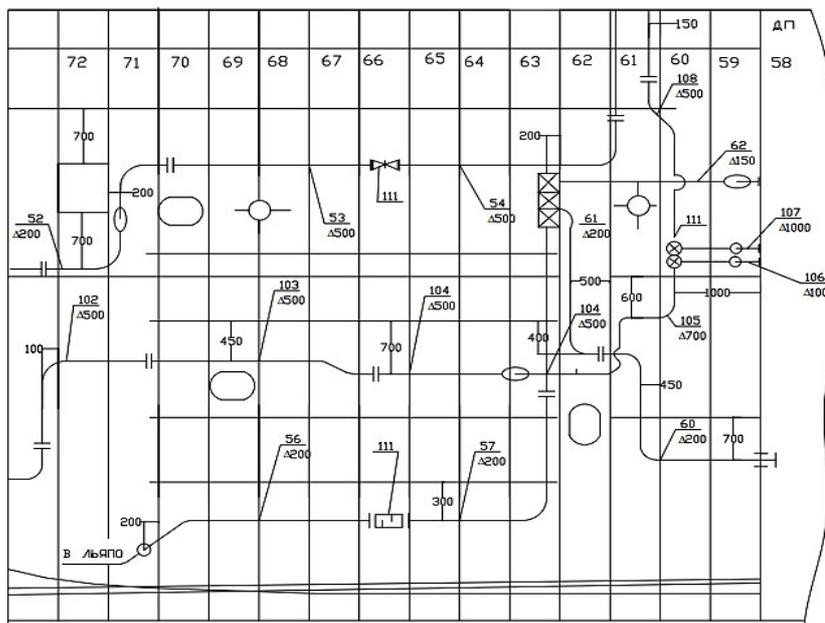


Рис. 2. Сборочно-монтажный чертеж трубопровода с координатами трасс
 Fig. 2. Assembly and installation drawing of the pipeline with route coordinates



Рис. 3. Макет части судна из пластмассовых труб
 Fig. 3. Model of a part of a ship made of plastic pipes

8. При разделении линий трубопроводов на отдельные трубы надо соблюдать взаимопараллельность и взаимоперпендикулярность расположения плоскостей соединения трубы (рис. 7–9). Цифрами 1–6 на рис. 8 и 9 отмечены характерные точки тру-

бы: начала трубы, вершины погибов и конца трубы.

9. Соединения, отмеченные в пункте 8, устанавливать на трубы только на стенде, а не по угольнику, ориентированному к оси участка трубы примыкания соединения (рис. 10, 11).



Рис. 4. Трубогибочный станок

Fig. 4. Pipe bending machine

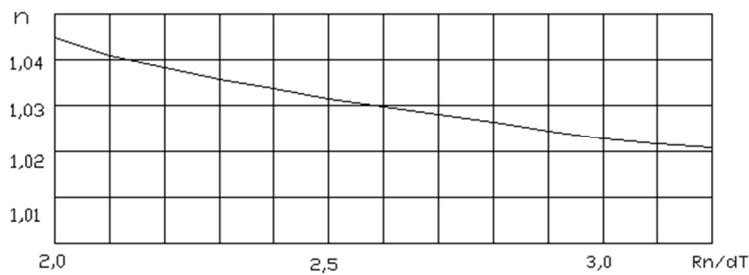


Рис. 5. Графическое определение коэффициента n :

R_n – средний радиус погиба трубы после снятия упругой деформации; d_T – наружный диаметр трубы

Fig. 5. Graphic determination of coefficient n :

R_n – the average radius of death of the pipe after removal of elastic deformation;
 d_T – the outer diameter of the pipe

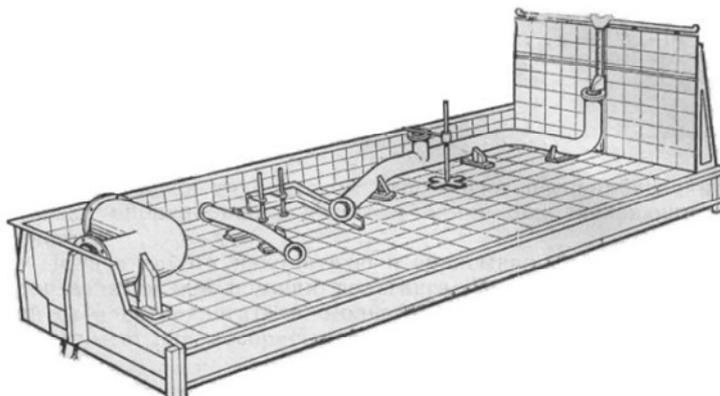


Рис. 6. Стенд для сборки труб с соединениями

Fig. 6. Stand for assembling pipes with connections

Сахно К. Н., Нгуен Тхи Сен, Калашник В. Ю., Цалоев В. М., Во Чунг Куанг. Совершенствование методики проектирования судовых систем трубопроводов с учетом компенсационных возможностей при изготовлении и монтаже

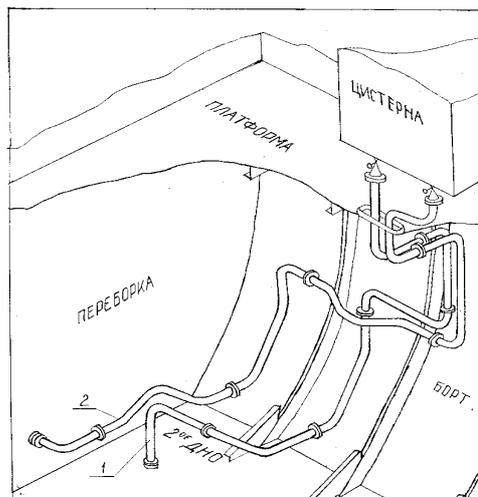


Рис. 7. Пример линий трубопроводов: 1 и 2 – трассы
 Fig. 7. Example of pipeline lines: 1 and 2 – routes

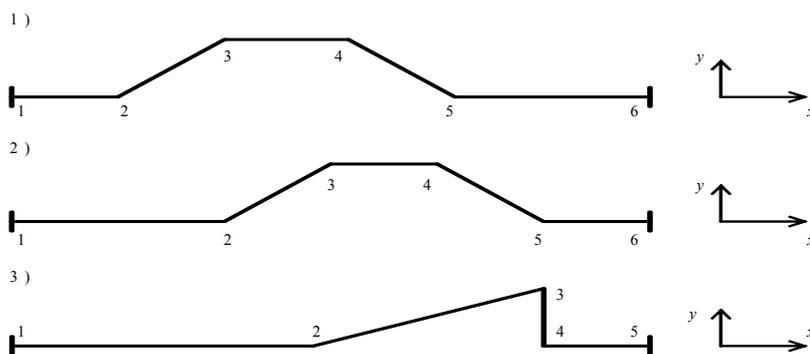


Рис. 8. Трубы с взаимно параллельными участками расположения соединений
 Fig. 8. Pipes with mutually parallel connection sections

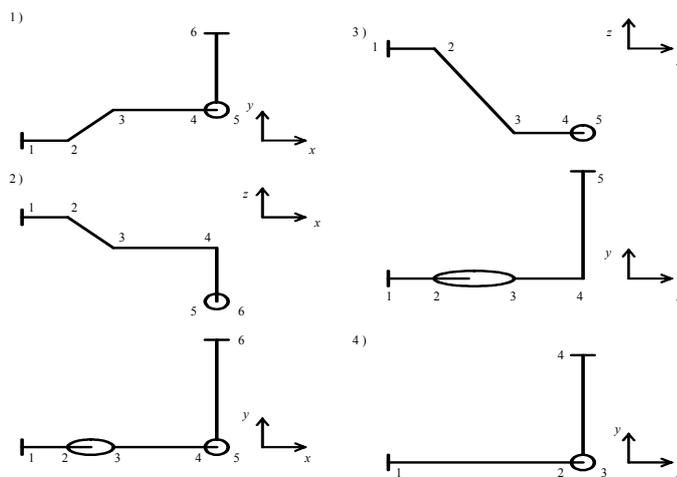


Рис. 9. Трубы с взаимно перпендикулярными участками расположения соединений
 Fig. 9. Pipes with mutually perpendicular connections

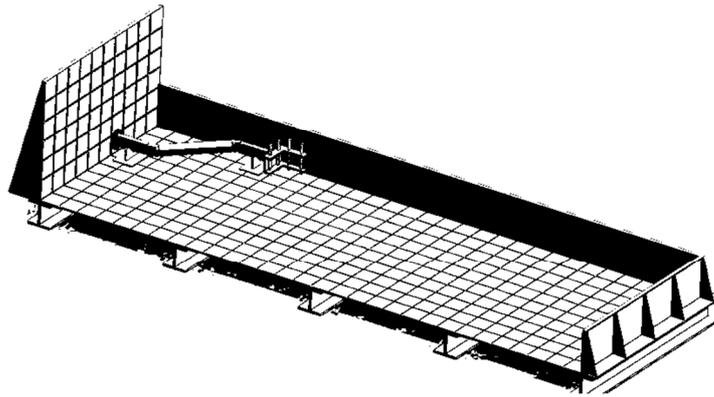


Рис. 10. Сборочный стенд, имитирующий плоскости координат с фиксацией трубы с взаимно параллельными замыкающими участками (правильно)

Fig. 10. Assembly stand simulating coordinate planes with pipe fixation with mutually parallel closing sections (correct)

Рассмотрим результаты проведенного анализа необходимости выполнения вышеуказанных требований на современном этапе:

1. Потеря актуальности условий 1–3 ввиду применения 3D-моделей в результате разработки САПР-трубопроводов автоматизированных программ (рис. 12).

2. Условия 4 и 5 внесены в работу технологических модулей соответствующих САПР, например в «Модуль Трубы» программы «Ритм-Судно» – разработка АО «ЦТСС», с автоматизированным учетом вышеизложенных требований при выпуске документации для гибки труб (рис. 13).



Рис. 11. Приспособление для прихватки фланцев и колец под угол 90 град

Fig. 11. Device for tacking flanges and rings at an angle of 90 degrees



Рис. 12. Трехмерное моделирование трубопроводов судовых систем

Fig. 12. 3D modeling of ship systems pipelines

Сахно К. Н., Нгуен Тхи Сен, Калашник В. Ю., Цалоев В. М., Во Чунг Куанг. Совершенствование методики проектирования судовых систем трубопроводов с учетом компенсационных возможностей при изготовлении и монтаже

Номер трубы	Типоразмер, мм	Тежкомплект	Помещение	Карта	Заказ с 311 по 320			
1	108x4	51165288.10231	007	1				
Марка и документ на поставку материала Ст.10 ГОСТ 5654 ООП5.9586			Длина, мм 2619	Масса, кг 29.5	Давление, кг/см ² 6			
Тип изоляции Нет		Тип покрытия Нет	Группа очистки 3 гр.	Тип консервации Нет	Количество труб 1			
Соединения, ответвления и приварные детали					Тип шва			
Обозначение					Наименование			
С.1	ИТШЛ.302631.090		Фланец приварной		У-5			
С.5	ИТШЛ.712402.006		Фланец приварной		У-5			
О.1	ИТШЛ.302631.004		Отросток-труба 45x2 Н100		У-5			
Размеры для гибки на станке типа СТГ-2 САФ-Н								
Номера точек	Прямой участок, мм		Плоскость, град.				Разметка. Длина до погиба, мм	
	С припуском	Номинал	Каретка	Угломер	По лимбу	Номинал		
1-2	208	208			48.0	45.0	208	
2-3		524	-180.0	180.0	48.0	45.0	1351	
3-4		387	-90.0	90.0	94.5	90.0	1906	
4-5	831	379						
5-6								
6-7								
7-8							Радиус гибочного диска 216 мм	
Установка ответвлений			Справочные размеры, мм					
	Расстояние, мм		Угол, град.		Проекция на оси			Длина 1-5
	От торца	От погиба	Наклон	Разворот	OX	OY	OZ	
1	1208	208	90	0	1500	500	600	1691
2					Направление гибки трубы - прямое Длина 4 припуск L=452			
3								
4								
Фланец в точке 1		Фланец в точке 5						
Исходные координаты погибов			Исходные координаты ответвлений					
X	Y	Z	Xo	Yo	Zo	Xn	Yn	Zn
0	0	0	1100	-500	0	1100	-500	200
300	0	0						
800	-500	0						
1500	-500	0						
1500	-500	600						
999.000511.001-007						Лист		

Рис. 13. Вид программы с технологической картой трубы

Fig. 13. Program view with pipe flow chart

3. Требование, необходимое по условию 6, не выполнялось на судостроительных предприятиях – отсутствовали стенды.

4. Условие 7 не проверяется известными САПР трубопроводов в полной мере, фиксируются только пересечения и касания.

5. Требование по условию 8 не контролируется, остается без должного внимания ввиду отсутствия понимания цели такого контроля.

6. Условие 9 не соблюдается ввиду отсутствия специализированных стендов, необходимых по условию 6.

Таким образом, установлено, что условия 6–9 на современном этапе не выполняются. При этом взаимное выполнение условий 6, 8 и 9 связано с наличием специализированного сборочного стенда.

В результате проведенных исследований разработана технология установки соединений с приме-

нением сборочного стенда. В результате ее применения достигается компенсация отклонений координатных размеров труб, возникающих под влиянием погрешностей гибки [9, 10]. Одной из отличительных особенностей технологии является первоначальное расположение трубы на стенде. Плоскость стенда ориентируется не по направлению первого участка трубы, а по плоскости первого соединения трубы, что можно видеть при сравнении рис. 6 и 10.

Соблюдение вышеуказанных условий 1–9 способствует изготовлению труб по проектной документации и выполнению требований по гарантированному размещению этих труб в выделенных проектных коридорах расположения трубопроводов.

Совершенствование трассировки в процессе проектирования и технологической подготовки производства трубопроводов

В результате исследований разработана методика назначения допусков в трассах трубопроводов:

1. Расчет компенсационных возможностей отдельных труб;
2. Определение допусков;
3. Назначение последовательности монтажа;
4. Определение состава трассы;
5. Формирование размерных цепей по отклонениям трассы;
6. Расчет отклонений трассы;
7. Контроль достаточности зазоров между трассами и с соседними конструкциями.

При трассировке трубопроводов предлагаемая методика позволяет:

- определить отклонения трубопроводов в зависимости от допускаемых отклонений отдельных труб;
- назначать зазоры и контролировать их достаточность для сборки трассы, состоящей из изготовленных по чертежным размерам труб.

Согласно результатам исследований, разработана компьютерная программа AST-SUDOTRUB, которая облегчает расчет отклонений в трассах трубопроводов с учетом погрешностей изготовления отдельных труб и ускоряет внедрение положений методики в условиях промышленного производства [11].

Совершенствование методики проектирования судовых систем трубопроводов с учетом компенсационных возможностей при изготовлении и монтаже предполагает организацию проверки величин назначаемых зазоров в проектируемой трассе от соседних трасс или конструкций.

Проверяются отклонения трасс, монтируемых

из готовых труб, собранных с соединениями по предлагаемой вышеуказанной технологии.

Компьютерная программа выполняет следующие действия:

- формирует по соответствующим координатным направлениям размерные цепи отклонений;
- рассчитывает возможные отклонения трассы по координатным направлениям;
- производит их сравнительную оценку с контролируемыми регламентированными или назначаемыми при трассировке трубопроводов зазорами;
- выдает результирующий вывод об их соответствии (несоответствии).

При проектировании в трассе следует проверять достаточность величин назначаемых зазоров между трассой и смежными конструкциями или трассами.

При назначении допусков для каждой трубы программа выбирает из предлагаемых вариантов отклонения ее геометрических размеров. Выбор окончательного варианта обуславливается наименьшим отклонением геометрических размеров трубы при установке соединений с допускаемым отклонением в соответствующем координатном направлении.

Предлагаемая программа предполагает совместную работу с разработкой АО «ЦТСС» – программным продуктом «Ритм-Трубы», что автоматизирует процесс расчета отклонений трасс и контроля достаточности назначаемых зазоров между проектируемой трассой и с соседними конструкциями.

Программный алгоритм представлен на рис. 14.

Программа является инструментом анализа трасс, фиксируемых жесткими соединениями, и трасс со свободными концами. С помощью разработанной программы в автоматизированном режиме можно проверять отклонение в районе любой трубы трассы и тем самым контролировать величину зазора в конкретном месте трассы (рис. 15, 16). При проверочном расчете трасса ограничивается трубой, проходящей в районе контролируемого зазора. Если расчетное отклонение трассы меньше контролируемой величины зазора, то программа выдаст сообщение о возможности изготовления труб трассы в задел; если – больше, то необходимо увеличить величину зазора в конкретном контролируемом месте трассы.

В процессе работы программы появляется сообщение: зазор достаточен или недостаточен. При этом расчетное отклонение отображается на экране компьютера, что позволяет в интерактивном режиме скорректировать трассу в случае необходимости.

Сахно К. Н., Нгуен Тхи Сен, Калашник В. Ю., Цалоев В. М., Во Чунг Куанг. Совершенствование методики проектирования судовых систем трубопроводов с учетом компенсационных возможностей при изготовлении и монтаже



Рис. 14. Программный алгоритм

Fig. 14. Software algorithm

AST-SUDOTRUB

Файл Настройки Дополнительно О программе

Трассы База данных труб

Искать трассу

№ п/п	Обозначение трассы	Составляющие трассы трубы	Трасса начинается с отрезка	Расчетные отклонения координатных размеров трассы с учетом обеспечения точности изготовления труб с соединениями(мм)			Назначаемый зазор трассы по направлению (мм)			Замечания
				OX	OY	OZ	OX	OY	OZ	
1	Трасса №1	1/721Т-828-01-Поз.4; 2/721Т-828-01-Поз.3; 3/721Т-828-01-Поз.2; 4/721Т-828-01-Поз.1; 5/721Т-848-01-Поз.1; 6/721Т-226-02-Поз.1; 7/721Т-226-02-Поз.2; 8/721Т-226-02-Поз.3		16.77	15.32	8.05	40	40	40	Обеспечивается изготовление труб трассы заранее в задел.
2	Трасса №6	1/721Т-961-01-Поз.1; 2/721Т-961-01-Поз.2; 3/721Т-961-01-Поз.3	Трасса №1 5/-721Т-828-01-1	12.51	12.95	11.86	40	40	40	Обеспечивается изготовление труб трассы заранее в задел.
3	Трасса №7	1/721Т-962-01-Поз.1; 2/721Т-962-01-Поз.2; 3/721Т-962-01-Поз.3; 4/721Т-962-01-Поз.4	Трасса №1 7/-721Т-828-01-1	6.51	6.15	29.09	40	40	40	Обеспечивается изготовление труб трассы заранее в задел.

Добавить Удалить

Рис. 15. Компьютерная программа AST-SUDOTRUB

Fig. 15. Computer program AST-SUDOTRUB

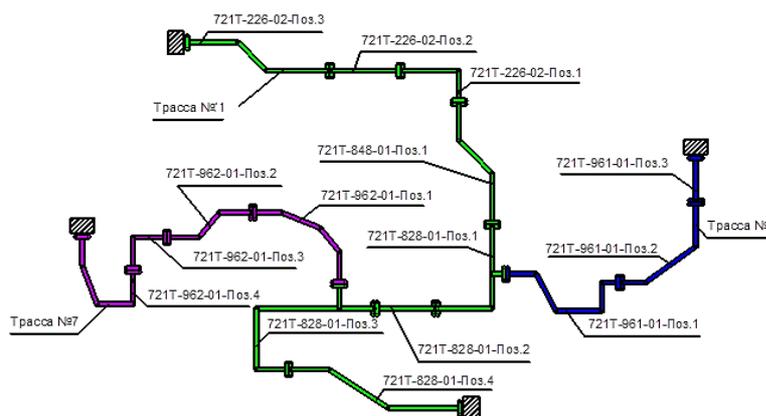


Рис. 16. Состав трасс системы трубопроводов

Fig. 16. Composition of pipeline system routes

Заклучение

Применение предлагаемой методики в процессе проектирования и технологической подготовки производства способствует проведению трассировки с минимальными отклонениями в заданных направлениях размещения трубопроводов судовых

систем. Дальнейшие исследования предполагается сконцентрировать на рассмотрении опыта применения методики в реальном производстве при трассировке судовых систем в насыщенных оборудовании и трубопроводами судовых помещениях.

Список источников

1. Во Чунг Куанг. Обоснование проектной трассировки трубопроводов судовых систем на основе исследования точности изготовления труб с соединениями: дис. ... канд. техн. наук. Астрахань, 2018. 200 с.
2. Во Чунг Куанг, Сахно К. Н., Нгуен Тхи Сен. Повышение эффективности изготовления трубопроводов судовых систем по проектной информации // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Морская техника и технология. 2022. № 1. С. 14–21.
3. ОСТ 5.95057-90. Системы судовые и системы судовых энергетических установок. Типовой технологический процесс изготовления и монтажа трубопроводов. Л.: Ритм, 1990. 201 с.
4. Сахно К. Н. Научные основы повышения технологичности трубопроводов судовых систем на стадии проектирования: дис. ... д-ра техн. наук. Астрахань, 2012. 270 с.
5. Sakhno K. N., Do Tat Manh, Bui Sy Hoang, Tsaloev V. M., Peyvand Ahmad Saadati, Lapeko F. A. Solutions to enhance technology in the fabrication process and installation of marine pipelines // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Морская техника и технология. 2021. № 4. С. 17–26.
6. ОСТ 5.0005-70. Системы судовые и системы судовых силовых установок. Методика проектирования

- трубопроводов с использованием масштабного макетирования и принципиальная технология их изготовления и монтажа. Л.: Ритм, 1970. 42 с.
7. ОСТ 5.0005-81. Системы судовые и системы судовых энергетических установок. Требования к проектированию, изготовлению и монтажу труб по эскизам и чертежам с координатами трасс трубопроводов. Л.: Ритм, 1981. 60 с.
8. РД 5Р.0005-93. Системы судовые и системы судовых энергетических установок. Требования к проектированию, изготовлению и монтажу труб по эскизам и чертежам с координатами трасс трубопроводов. СПб.: Изд-во ЦНИИТС, 1993. 78 с.
9. Пат. RU 2622210. Способ компенсации отклонений при изготовлении труб с соединениями / Сахно К. Н. № 2013132082; заявл. 10.07.2013; опубл. 13.06.2017.
10. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016611625. Программное обеспечение «Допуски – Трубы» / Сахно К. Н.; 08.02.2016.
11. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017614917. Программное обеспечение «AST-SUDOTRUB» / Во Ч. К., Сахно К. Н., Нгуен Т. С.; 02.05.2017.

References

1. Vo Trung Quang. *Obosnovanie proektnoi trassirovki truboprovodov sudovykh sistem na osnove issledovaniia tochnosti izgotovleniia trub s soedineniiami: dis. ... kand. tekhn. nauk* [Justification of the design tracing of pipelines of ship systems based on the study of the accuracy of manufacturing pipes with connections: dis. ... Candidate of Technical Sciences]. Astrakhan', 2018. 200 p.
2. Vo Trung Quang, Sakhno K. N., Nguen Thi Sen.

- Povyshenie effektivnosti izgotovleniia truboprovodov sudovykh sistem po proektnoi informatsii [Improving the efficiency of manufacturing pipelines for ship systems based on design information]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaiia tekhnika i tekhnologiia*, 2022, no. 1, pp. 14-21.
3. *OST 5.95057-90. Sistemy sudovye i sistemy sudovykh energeticheskikh ustanovok. Tipovoi tekhnologicheskii protsess*

Sakhno K. N., Nguen Thi Sen, Kalashnik V. Yu., Tsaloev V. M., Vo Trung Quang. Improving the design methodology of shipboard pipeline systems, taking into account the compensatory capabilities during manufacture and installation

izgotovleniia i montazha truboprovodov [OST 5.95057-90. Marine systems and marine power plant systems. Typical technological process of manufacturing and installation of pipelines]. Leningrad, Ritm Publ., 1990. 201 p.

4. Sakhno K. N. *Nauchnye osnovy povysheniia tekhnologichnosti truboprovodov sudovykh sistem na stadii proektirovaniia: dis. ... d-ra tekhn. nauk* [Scientific foundations of improving the manufacturability of pipelines of ship systems at the design stage: dis. ... Doctor of Technical Sciences]. Astrakhan', 2012. 270 p.

5. Sakhno K. N., Do Tat Manh, Bui Sy Hoang, Tsaloev V. M., Peyvand Ahmad Saadati, Lapeko F. A. Solutions to enhance technology in the fabrication process and installation of marine pipe-lines. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya*, 2021, no. 4, pp. 17-26.

6. *OST 5.0005-70. Sistemy sudovye i sistemy sudovykh silovykh ustanovok. Metodika proektirovaniia truboprovodov s ispol'zovaniem masshtabnogo maketirovaniia i printsipial'naya tekhnologiya ikh izgotovleniia i montazha* [OST 5.0005-70. Marine systems and marine power plant systems. The methodology of pipeline design using large-scale prototyping and the basic technology of their manufacture and installation]. Leningrad, Ritm Publ., 1970. 42 p.

7. *OST 5.0005-81. Sistemy sudovye i sistemy sudovykh energeticheskikh ustanovok. Trebovaniia k proektirovaniiu,*

izgotovleniiu i montazhu trub po eskizam i chertezham s koordinatami trass truboprovodov [OST 5.0005-81. Marine systems and marine power plant systems. Requirements for the design, manufacture and installation of pipes according to sketches and drawings with the coordinates of pipeline routes]. Leningrad, Ritm Publ., 1981. 60 p.

8. *RD 5R.0005-93. Sistemy sudovye i sistemy sudovykh energeticheskikh ustanovok. Trebovaniia k proektirovaniiu, izgotovleniiu i montazhu trub po eskizam i chertezham s koordinatami trass truboprovodov* [RD 5R.0005-93. Marine systems and marine power plant systems. Requirements for the design, manufacture and installation of pipes according to sketches and drawings with the coordinates of pipeline routes]. Saint Petersburg, Izd-vo TsNIITS, 1993. 78 p.

9. Sakhno K. N. *Sposob kompensatsii otklonenii pri izgotovlenii trub s soedineniiami* [A method for compensating for deviations in the manufacture of pipes with joints]. Patent RF, no. 2013132082, 13.06.2017.

10. Sakhno K. N. *Programmnoe obespechenie «Dopuski – Truby»* [Admissions – Pipes software]. Svidetel'stvo o gosudarstvennoi registratsii programmy dlia EVM № 2016611625, 08.02.2016.

11. Vo Tr. Q., Sakhno K. N., Nguen T. S. *Programmnoe obespechenie «AST-SUDOTRUB»* [AST-SUDOTRUB software]. Svidetel'stvo o gosudarstvennoi registratsii programmy dlia EVM № 2017614917, 02.05.2017.

Статья поступила в редакцию 23.12.2024; одобрена после рецензирования 30.01.2025; принята к публикации 14.02.2025
The article was submitted 23.12.2024; approved after reviewing 30.01.2025; accepted for publication 14.02.2025

Информация об авторах / Information about the authors

Константин Николаевич Сахно – доктор технических наук, профессор; заведующий кафедрой судостроения и энергетических комплексов морской техники; Астраханский государственный технический университет; k.sakhno@mail.ru

Нгуен Тхи Сен – аспирант кафедры судостроения и энергетических комплексов морской техники; Астраханский государственный технический университет; ngoensenqb@gmail.com

Владимир Юрьевич Калашник – аспирант кафедры судостроения и энергетических комплексов морской техники; Астраханский государственный технический университет; oka873@bk.ru

Владимир Муратович Цалоев – доцент кафедры судового электрооборудования; Севастопольский государственный университет; 1_@mail.ru

Во Чунг Куанг – кандидат технических наук; доцент кафедры судомеханических дисциплин; Каспийский институт морского и речного транспорта имени генерал-адмирала Федора Матвеевича Апраксина, филиал Волжского государственного университета водного транспорта; votrungquang@gmail.com

Konstantin N. Sakhno – Doctor of Technical Sciences, Professor; Head of the Department of Shipbuilding and Power Complexes of Marine Equipment; Astrakhan State Technical University; k.sakhno@mail.ru

Nguyen Thi Sen – Postgraduate Student of the Department of Shipbuilding and Power Complexes of Marine Equipment; Astrakhan State Technical University; ngoensenqb@gmail.com

Vladimir Yu. Kalashnik – Postgraduate Student of the Department of Shipbuilding and Power Complexes of Marine Equipment; Astrakhan State Technical University; oka873@bk.ru

Vladimir M. Tsaloev – Assistant Professor of the Department of Shipbuilding and Power Complexes of Marine Equipment; Sevastopol State University; 1_@mail.ru

Vo Trung Quang – Candidate of Technical Sciences; Assistant Professor of the Department of Ship Mechanical Disciplines; Caspian Institute of Sea and River Transport after General-Admiral F. M. Apraksin, branch of Volga State University of Water Transport; votrungquang@gmail.com

