

ОСОБЕННОСТИ СБОРКИ СУДОВЫХ СИСТЕМ ТРУБОПРОВОДОВ

Сахно К.Н., До Тат Мань, Цалоев В.М.

Ключевые слова: изготовление труб, сборка трубопроводов, отклонения трассы, соединения труб, прямые трубы, забойные трубы, допускаемые отклонения.

Аннотация. Если изготавливать все трубы в задел, то при выполнении монтажных работ возможны несовпадения. Следовательно, назначают забойные трубы, которые, как правило изготавливаются по месту. Изготовить забойные трубы гораздо сложнее, чем незабойные. Поэтому в качестве забойных принято выбирать трубы менее сложной конструкции, с минимальным числом погибов, без отростков и расположенные в наиболее доступных для их пригонки местах. Чаще всего забойными являются трубы, присоединяемые непосредственно к механизму или одной из переборок. Выбор забойных труб для прямых трасс и трасс с одним погибом представляет сложную научно-техническую задачу.

FEATURES OF ASSEMBLY OF SHIP PIPELINE SYSTEMS

Sakhno K.N., Do Tat Manh, Tsaloev V.M.

Keywords: pipe manufacturing, pipe assembly, route deviations, pipe connections, straight pipes, downhole pipes, permissible deviations.

Abstract. If all pipes are made to the backlog, then during installation work, discrepancies are possible. Therefore, downhole pipes are assigned, which, as a rule, are manufactured locally. Downhole pipes are much more difficult to manufacture than non-explosive ones. Therefore, it is customary to choose pipes of less complex design as downhole pipes, with a minimum number of decays, without branches and located in the places most accessible for their fitting. Most often downhole pipes are pipes connected directly to the mechanism or one of the bulkheads. The selection of downhole pipes for straight routes and routes with one camber is a complex scientific and technical problem.

В процессе строительства судна возникает множество погрешностей операций постройки корпуса, измерений, сварки, монтажа оборудования, изготовления труб и т.п. Поэтому при проведении монтажа труб размеры и конфигурация труб могут отличаться от фактического расположения оборудования. В таблице 1 показаны нормативные требования РД 5Р.0005-93.

Табл. 1. Допускаемые отклонения строительных (координатных) размеров труб

Форма и диаметр труб	Предельные отклонения (мм)
Прямые трубы	± 3 мм
Гнутые трубы диаметром до 100 мм	± 10 мм
Гнутые трубы диаметром св. 100 мм	± 15 мм

Совмещение концов труб при сборке должно выполняться без усилий, приводящих к пластическим деформациям труб и арматуры. Допускаемые отклонения указаны в таблице 2. Излом труб, имеющих штуцерные и муфтовые (резьбовые) соединения, не допускается [1].

Табл. 2. Допускаемые отклонения при сборке соединений труб, мм (не более)

Вид отклонения	Штуцерные соединения	Фланцевые соединения с условным проходом, мм			
		<100	100-200	200-400	>400
Непараллельность уплотнительных поверхностей	0,5	2,0	3,0	3,0	3,0
Несоосность концов труб	–	1,0	2,0	2,0	3,0
Монтажный зазор (натяг) между уплотнительными поверхностями для труб,					
прямых:	1,0	1,0	1,5	2,0	2,0
с погибами:	5,0	5,0	4,0	3,0	3,0
из секторов:	–	–	3,0	3,0	3,0

Изучая правила регистрации для производства трубопроводных систем в некоторых странах мира, можно отметить, что в них также содержатся четкие и аналогичные требования. Например, в США эти стандарты определены в ASME B16/5-1988 (Трубопроводная арматура и фланцевые фитинги), ASME B16/25-1997 (Подготовка концевых элементов трубопроводов под сварку встык), ASME B31/3-1996 (Технологические трубопроводы. Свод правил по трубопроводам под давлением), ASME B16/3-1994 (Стандарт на трубы сварные, бесшовные, обработанные методом погружения в горячий расплав и оцинкованные). В Европе используются немецкие стандарты, такие как DIN 17455, DIN 17456, DIN 17457, DIN 11850, DIN 2874:2002, DIN 431:2000, DIN 76-2:1984 и др. На верфях также существуют специальные правила для проектирования, изготовления и монтажа систем трубопроводов. Например, в группе судостроения Damen (Голландия) с ними можно ознакомиться в Справочнике 53: Piping (Трубопроводы), или для каждого отдельного проекта поставляются с отдельной Спецификацией [2-3].

В соответствии с предполагаемым подходом к исключению отклонения трасс трубопроводов с использованием поворотов прямых труб, соединения которых устанавливаться не перпендикулярно оси трубы, но взаимно параллельно, трассу, состоящую только из прямых труб, можно перемещать для устранения возможных отклонений жесткофиксированных соединений на фактически требуемую величину [4].

Рассмотрим конкретный типовой пример. Чтобы установить стакан для прохода трубопровода через непроницаемую конструкцию корпуса диаметр отверстия должен быть больше, чем диаметр фланца стакана. Чтобы восстановить непроницаемость переборки на стакане есть переборочный фланец (рис. 1, 2). При установке стакана сложно проверить соосность отверстия и стакана. Он может быть сдвинут в любом направлении плоскости

переборки. Поэтому, если прямая трасса трубопровода ограничена двумя стаканами, каждый из них может иметь свои отклонения, что приведёт к смещению их осей относительно друг друга. Это не позволит совместить фланец прямой трубы с фланцем стакана (рис. 1).

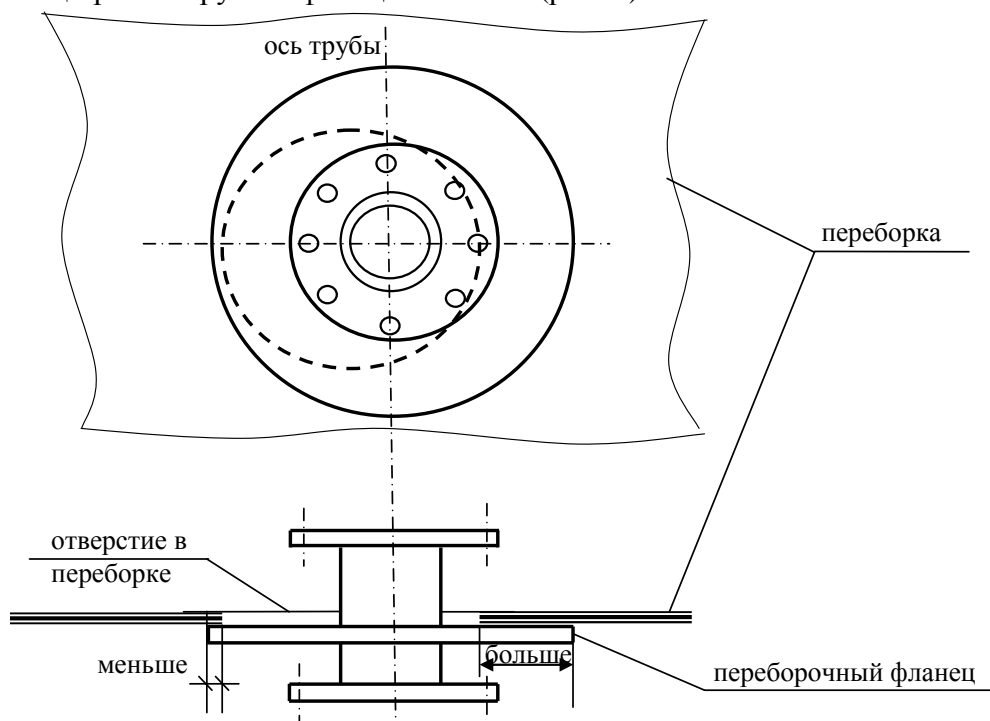


Рис. 1. Отклонение между фланцем прямой трубы и фланцем стакана

Только имея в составе прямой трассы две трубы, изготовленные с допуском смещения соединений, можно добиться совмещения осей последней трубы трассы и переборочного стакана (рис. 2, 3).

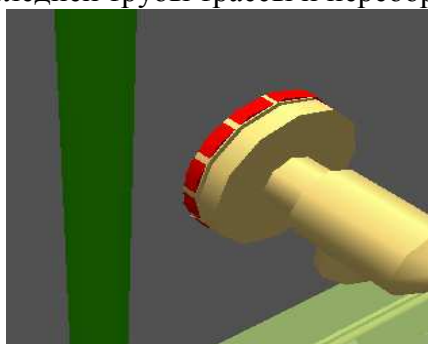


Рис. 2. Трасса проходит через непроницаемую конструкцию корпуса

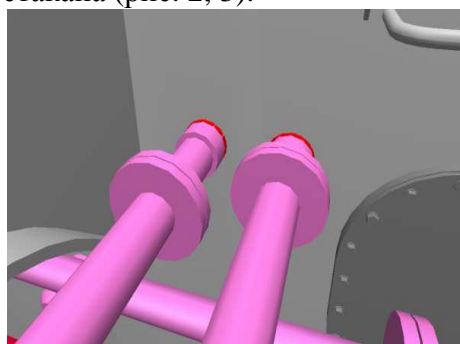


Рис. 3. Прямая трасса проходит через переборку окружности

Допускаемая неперпендикулярность установки плоскости соединения к оси трубы контролируется отклонением (зазором) от теоретического

положения на диаметре уплотнительной поверхности фланца до значений 2 мм, 4 мм или 6 мм в зависимости от градации по Ду (условному диаметру) трубы. По европейским стандартам допусковое отклонение составляет 0,50. Эти требования необходимы, чтобы при последовательном монтаже труб, изготовленных по проектной документации, трассы не смещались от теоретического положения на значительные величины [5-6].

В требованиях на размеры готовой трубы нет угловых критериев (а они значительно влияют на отклонения трассы трубопроводов при монтаже) контролируются только допуски на линейные размеры (РД 5Р.0005-93: $\pm 10\text{мм} \div \pm 15\text{мм}$). Проанализируем трассу, показанную на рисунке 4. Определим величину угла α : $\sin \alpha = 10/500 = 0,02$, т. е. $\alpha < 10$ – произошёл перегиб трубы, хотя конструктивные размеры трубы не вышли за допуск (± 10 мм).

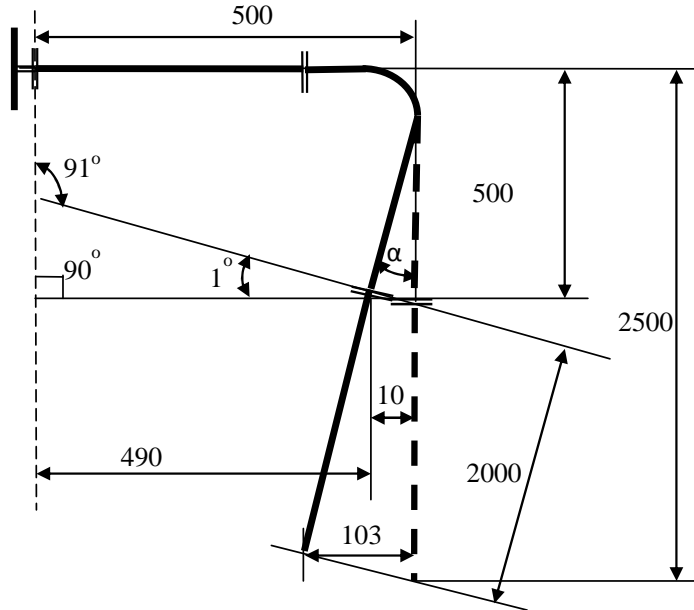


Рис. 4. Участок трубопровода

Если установить фланцы перпендикулярно оси трубы, то плоскости фланцев этой трубы будут неперпендикулярными между собой на 1° (см. рис. 4). Т. е. ось следующей трубы будет не перпендикулярна оси первого участка, тоже на 1° . Если прибавить $0,5^{\circ}$ допустимой установки неперпендикулярности двух фланцев первой трубы и первого фланца второй трубы, то это: $1^{\circ} + 0,5^{\circ} + 0,5^{\circ} + 0,5^{\circ} = 2,5^{\circ}$. Допустим, что вторая труба – прямая, длиной 2 м (2000 мм) – получим, что конец второй трубы может отклониться от теоретического положения на 103 мм ($\sin 2,5^{\circ} \cdot 2500\text{мм}$).

Получается, что надо проверять не перпендикулярность фланца к оси трубы, а взаимное положение фланцев труб, используя для этого известные стенды. Если в составе трассы трубопроводов есть свободные соединения, например, фланцы на приварном кольце (так называемые свободные фланцы ГОСТ 12822-80), штуцерные, муфтовые и другие резьбовые соединения,

сварные соединения на накладном или подкладном кольце, соединения на раздаче, то, в процессе монтажа, трубы можно поворачивать в соединении вокруг оси первого прямого участка трубы. Это будет изменять как положение, так и направление последующих участков трубопровода. При повороте труб в последующих соединениях, если эти соединения находятся на одной линии или располагаются параллельно с первым, на такой же угол, но в обратном направлении, первоначальное направление участков трубопроводов восстановится. Если оба соединения, в которых осуществляется поворот, принадлежат прямой трубе, то можно не только избежать угловых изменений последующей за ними части трубопровода, но и погасить часть отклонений трассы, вызванных неперпендикулярностью установки фланцев [7].

Для исключения отклонений трассы трубопровода предлагается изготавливать специальные прямые трубы с установкой соединений, не перпендикулярно оси трубы, но сохраняя параллельное положение соединений относительно друг другу. Поворачивая такую трубу в первом соединении и возвращая трассу в первоначальное положение поворотом во втором соединении обратно на тот же угол, все точки последующей части трассы будут перемещаться по дуге окружности, радиус которой равен смещению осей соединений прямой трубы. При этом все прямолинейные участки трубопровода сохранят свои угловые направления.

Если в трассе есть две такие прямые трубы с одинаковой величиной смещения осей соединений, расположенных на одной линии или параллельны, то любую последующую точку трассы можно переместить в любую точку плоскости перпендикулярной направлению прямых труб, проводящей через эту точку трассы. Максимальная величина перемещения равна сумме величин смещений осей фланцев в двух прямых трубах [8].

Опираясь на таблицу ОСТ 5.95057-90, рассчитаем допускаемое смещение осей соединений для трубы Ду 40 длиной 2 метра (2000мм).

$$C = \frac{3}{d} \cdot L, \quad (1)$$

где C – допускаемое смещение осей соединений прямой трубы (мм);

3 – разрешенный ОСТ 5.95057-90 зазор между теоретическим положением плоскости соединения и фактическим его положением относительно оси трубы (мм);

d – диаметр уплотнительной поверхности соединения (мм);

L – длина трубы (мм).

Для труб Ду 40 длиной 2000мм, члены будут иметь следующие значения: $3 = 2$ мм; $d = 54$ мм; $L = 2000$ мм; $C = (2/54) \cdot 2000 = 74$ мм.

Для труб Ду 125 – по этой же формуле $C = (4/140) \cdot 2000 = 57$ мм.

Используя две прямые трубы в трассе Ду – 40 мм, часть трассы, находящуюся за прямыми трубами можно перемещать на 148 мм (по 74мм каждая труба). Трассу Ду 125 можно перемещать на 114 мм (по 57мм каждая труба). В соответствии с РД 5Р.0005-93 отклонение оси трубопровода от оси

фиксированного соединения не превышает 100 мм. На основании этого достаточно изготавливать прямые трубы, используемые для перемещения трассы, с целью совмещения оси трубопровода с осью фиксированного соединения со смещением оси соединений прямых труб не более чем 50 мм.

Теперь посмотрим, как рассчитать и назначить минимальную длину прямой трубы, изготовленных с допуском смещением соединений. Предлагаем порядок действий: не нарушая стандартизированный допуск можно сдвигать соединения на 74 мм и 57 мм, т. е. больше, чем 100 мм от двух труб – этот расчёт при длине трубы 2 м. На основе этого расчёта приняли смещение 50 мм, т. к. оно достаточно для всех смещений жёстких фиксированных соединений.

На основе вышеизложенного выполним расчёт, например: $(74 + 57)/2 = 131/2 = 65,5$ мм и, т. к. берём 50 мм на трубе длиной 2 метра, то можно взять и длину меньше из расчёта $65,5 - 2$ м, а $50 - x$, $x = 1527$ мм. Принимаем $L_{\min} = 1600$ мм. В этом случае для проведения соответствующих расчётов необходимо разработать автоматизированную программу, которая для указанного примера работает так: ищет прямые участки трубопровода больше 1600 мм, тем самым увеличивая количество трасс, использующих при монтаже прямые трубы. Программа находит такие участки трассы и их направления – такой анализ необходим для трасс, имеющих в своём составе гнутые трубы.

Рассмотрим возможность использования разработанного метода исключения отклонений с использованием прямых труб на трассах с одним погибом (рис. 5). Важность рассмотрения таких трасс обуславливается тем, что на трубе нет двух погибов, а это не позволяет использовать ее в качестве забойной и необходимо исключение отклонений в третьем направлении [9-10].

Таким образом, трассы, состоящие из прямых труб и труб с одним погибом также невозможно смонтировать по традиционному методу без нарушений нормативных документов.

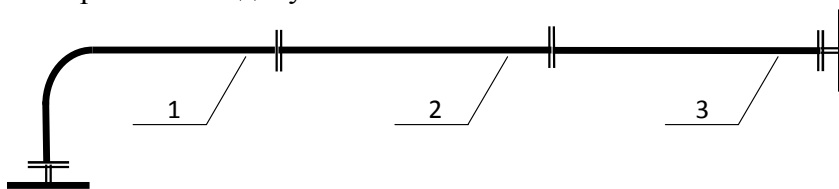


Рис. 5. Трасса с одним погибом

При двух прямых трубах, расположенных взаимно перпендикулярно, чтобы исключить ΔY необходимо изменить ΔX , если отклонение ΔY больше величины смещения прямой трубы (рис. 6). Если меньше, то изменится ΔZ или ΔX . В обоих случаях исключится только отклонение в одном направлении, не совпадающем с направлениями прямых труб.

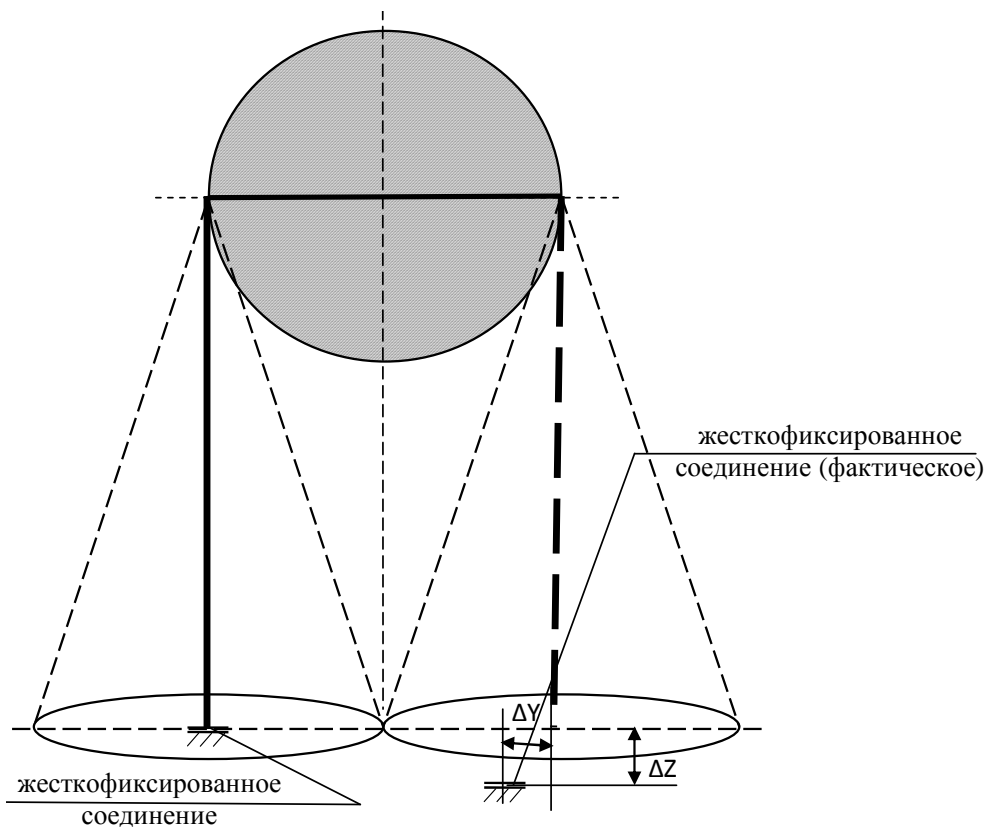


Рис. 6. Область достижимости с использованием двух прямых труб, расположенных взаимно перпендикулярно

Рассмотрим рисунок 7: ΔX – скорректировать только в величине не более 40мм; ΔY – скорректировать поворотом нельзя, только припуском; ΔZ – припуском. Изменение угла погиба трубы, например, на 45^0 , чтобы получить проекцию трубы 3, совпадающей с трубой 1 не меняет ситуации. Трубу 2 поворачивать нельзя, угловые положения её плоскости не должны меняться при её перемещении.

Если две прямые трубы не параллельны или не лежат на одной прямой, но их проекции параллельны или на одной линии, то можно исключить отклонение в размере двух смещений фланцев только в направлении одной оси координат (рис. 7).

Область достижимости сборки – это область, при которой конечный участок трубопроводов успешно соединится с фактическим находящимся в этой области жесткофиксированным соединением (рис. 8).

Благодаря вышеуказанным примерам, понятна суть принципа вращения прямых труб, изготовленных с допускаемым смещением соединений (ИДСС). Теперь возникают вопросы: когда и как можно применить данный способ. Отвечая на первый вопрос – чтобы этот способ пригодился, его надо применить на двух этапах: при проектировании трубопровода и его монтаже. Для ответа на второй вопрос, рассмотрим таблицу 3.

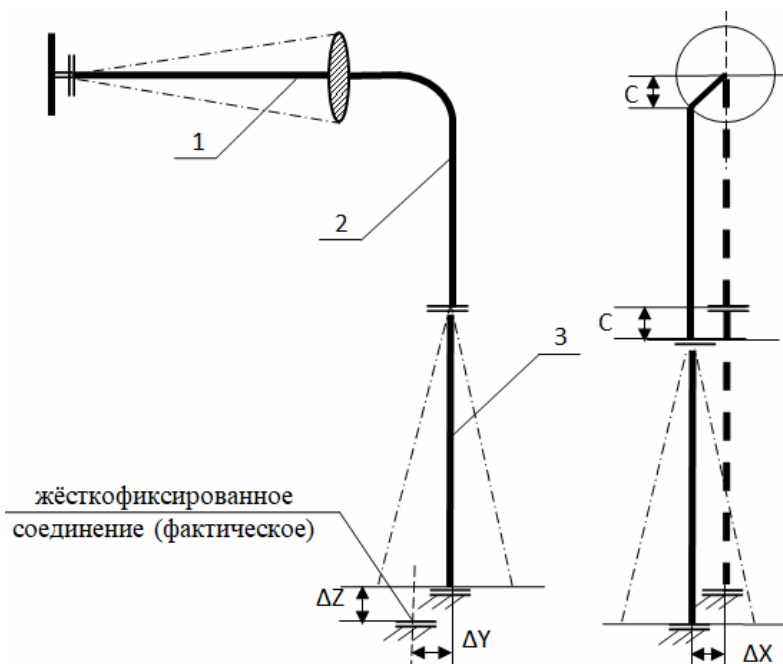


Рис. 7. Перемещение трассы с одним погибом

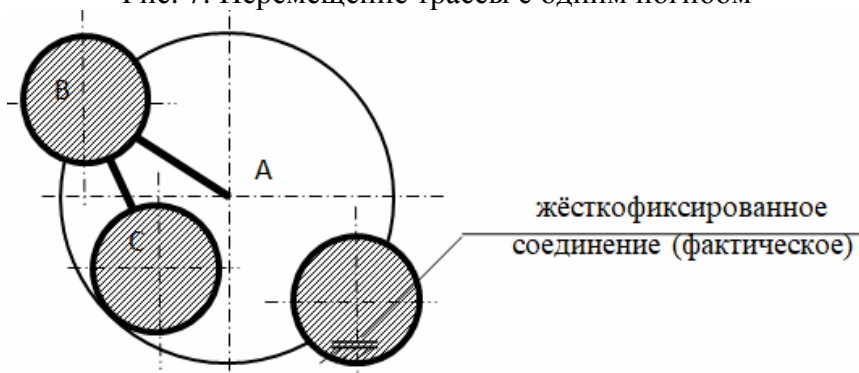


Рис. 8. Область достижимости с использованием двух прямых труб, у которых проекции параллельны друг другу

Табл. 3. Применение прямых труб на этапах проектирования и монтажа

При проектировании (Прямая задача)	При монтаже (Обратная задача)
1. Определить имеющиеся прямые участки и возможность их вращения (существование свободных соединений)	1. Из значений возникающих отклонений находим возможные прямые трубы для вращения и их углы вращения соответственно
2. Анализировать возможность исключения (уменьшения) всех отклонений по трем направлениям при вращении прямых участков	2. В зависимости от конкретных условий (положение механизмов или окружающих конструкций), выбираем подходящие трубы для вращения

<p>3. Если невозможно исключить все отклонения только путем вращения прямых участков, то проектанту необходимо:</p> <ul style="list-style-type: none"> - назначить припуски на заданных направлениях; - изменить положение свободных соединений, конфигурацию труб и т.п. в зависимости от конкретных условий (положение механизмов или окружающих конструкций) 	<p>3. Отрезать припуски, при необходимости, обработать трубы и осуществить монтаж трассы</p>
---	--

Выводы. Вышеуказанными примерами показано, что прямые трубы прямолинейных трасс и трасс с погибами можно использовать для перемещения конечной точки трассы, за счет установки соединений с допекаемыми неперпендикулярностью относительно оси трубы, и поворачивая трассу в соединениях, находящихся на этих прямых трубах.

Таким образом, в процессе сборки с использованием труб ИДСС, при их повороте вокруг оси, трасса будет перемещаться по плоскости, ограниченной окружностью, радиус, который равен величине смещений соединений прямых труб. Максимальная величина области достижимости с использованием труб ИДСС зависит от длины прямых труб (расстояния между двумя соединениями) и допускаемого угла неперпендикулярности относительно оси трубы. Повороты таких труб в сочетании с припусками и создают области достижимости сборки.

Список литературы

1. Сахно К.Н., Во Ч.К. Разработка технологии сборки труб с соединениями // Морские интеллектуальные технологии. – 2018. – №1(39). – Т.1. – С. 50-56.
2. Сахно К.Н., Нго Ж.В. Компенсация отклонений трасс трубопроводов судовых систем // Морские интеллектуальные технологии. – 2018. – №1(39). – Т.1. – С. 63-70.
3. Сахно К.Н., Нго Ж.В., До Т.М. Математическое описание области компенсационных возможностей трасс трубопроводов судовых систем // Морские интеллектуальные технологии. – 2018. – №1(39). – Т.1. – С. 43-49.
4. Сахно К.Н., До Т.М., Гусейнов Р.В., Цалоев В.М., Булгаков В.П. // Программа автоматизированного определения возможности сборки трасс трубопроводов для проектирования судовых систем // Морские интеллектуальные технологии. – 2019. – №1(43). – Т.4. – С. 50-55.
5. Сахно К.Н., До Т.М., Гусейнов Р.В., Цалоев В.М., Булгаков В.П. Анализ возможности сборки судовых трубопроводов путем использования прямых труб, изготовленных с допускаемым смещением соединений //

- Морские интеллектуальные технологии. – 2019. – №1(43). – Т.4. – С. 56-60.
6. Sakhno K.N., Do T.M. Development of a theoretical framework for investigation of compensation possibilities of deviations in the ship's piping system (Разработка теоретической базы для исследования возможностей компенсации отклонений в судовых трубопроводных системах) // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – United Kingdom, 2019. – Vol. 510. №4.
 7. Sakhno K.N., Ngo G.V. Mathematical simulation for compensation capacities area of pipeline routes in ship systems (Математическое моделирование области компенсационных возможностей трубопроводных трасс судовых систем) // Journal of Physics: Conference Series. – United Kingdom, 2018. – Vol. 1015.
 8. Kim S.H. The development of a practical pipe auto-routing system in a shipbuilding CAD environment using network optimization / S.H. Kim, W.S. Ruy, Jang B.S. // Int J. Naval Archit. Ocean Eng., Korea. – 2013. – Vol. 5. – P. 468-477.
 9. Ngo G.V. Modeling deviation compensation of pipeline routes in ship systems // Морские интеллектуальные технологии. – 2018. – №2-2(40). – Т.2. – С. 34–39.
 10. Dong Z. Ship Pipe Routing Method Based on Genetic Algorithm and Cooperative Coevolution / Z. Dong, Y. Lin // Journal of Ship Production and Design. 2017. – Vol. 33 (N2). – P. 122-134.

References

1. Sakhno K.N., Vo Ch.K. Development of technology for assembling pipes with connections // Marine intellectual technologies. – 2018. – №1(39). – Vol. 1. – P. 50-56.
2. Sakhno K.N., Ngo Zh.V. Compensation of deviations of pipelines of ship systems // Marine intellectual technologies. – 2018. – №1(39). – Vol. 1. – P. 63-70.
3. Sakhno K.N., Ngo Zh.V., Do T.M. Mathematical description of the area of compensatory capabilities of ship system pipeline routes // Marine intellectual technologies. – 2018. – №1(39). – Vol. 1. – P. 43-49.
4. Sakhno K.N., Do T.M., Huseynov R.V., Tsaloev V.M., Bulgakov V.P. // Program of automated determination of the possibility of assembling pipeline routes for the design of ship systems // Marine intellectual technologies. – 2019. – №1(43). – Vol. 4. – P. 50-55.
5. Sakhno K.N., Do T.M., Huseynov R.V., Tsaloev V.M., Bulgakov V.P. Analysis of the possibility of assembling ship pipelines by using straight pipes made with a permissible displacement of connections // Marine intellectual technologies. – 2019. – №1(43). – Vol. 4. – P. 56-60.
6. Sakhno K.N., Do T.M. Development of a theoretical framework for investigation of compensation possibilities of deviations in the ship's piping

system (Разработка теоретической базы для исследования возможностей компенсации отклонений в судовых трубопроводных системах) // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – United Kingdom, 2019. – Vol. 510. №4.

7. Sakhno K.N., Ngo G.V. Mathematical simulation for compensation capacities area of pipeline routes in ship systems (Математическое моделирование области компенсационных возможностей трубопроводных трасс судовых систем) // Journal of Physics: Conference Series. – United Kingdom, 2018. – Vol. 1015.
8. Kim S.H. The development of a practical pipe auto-routing system in a shipbuilding CAD environment using network optimization / S.H. Kim, W.S. Ruy, Jang B.S. // Int J. Naval Archit. Ocean Eng., Korea. – 2013. – Vol. 5. – P. 468-477.
9. Ngo G.V. Modeling deviation compensation of pipeline routes in ship systems // Морские интеллектуальные технологии. – 2018. – №2-2(40). – Т.2. – С. 34–39.
10. Dong Z. Ship Pipe Routing Method Based on Genetic Algorithm and Cooperative Coevolution / Z. Dong, Y. Lin // Journal of Ship Production and Design. 2017. – Vol. 33 (N2). – P. 122-134.

<p>Сахно Константин Николаевич – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Судостроение и энергетические комплексы морской техники», Астраханский государственный технический университет, Астрахань, Россия, k.sakhno@mail.ru</p>	<p>Sakhno Konstantin Nikolaevich – doctor of technical sciences, assistant professor, professor of Department «Shipbuilding and Power Complexes of Marine Technological Equipment», Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia, k.sakhno@mail.ru</p>
<p>До Тат Мань – кандидат технических наук, преподаватель, Институт последиplomного образования, Вьетнамский морской университет, Вьетнам, dotatmanh@vamaru.edu.vn</p>	<p>Do Tat Manh – candidate of technical sciences, lecturer, Institute of Postgraduate Education, Vietnam Maritime University, Vietnam, dotatmanh@vamaru.edu.vn</p>
<p>Цалоев Владимир Муратович: – доцент кафедры «Судовое электрооборудование», Севастопольский государственный университет, Севастополь, Россия, l._@mail.ru</p>	<p>Tsaloev Vladimir Muratovich – assistant professor of department "Marine electrical equipment", Sevastopol state university, Sevastopol, Russia, l._@mail.ru</p>

Received 11.04.2021