

*К. Н. Сахно***КОМПЕНСАЦИЯ ОТКЛОНЕНИЙ  
ПРИ СБОРКЕ ТРУБ С СОЕДИНЕНИЯМИ***K. N. Sakhno***DEVIATION COMPENSATION  
AT PIPES ASSEMBLY WITH JUNCTIONS**

Рассматривается проблема повышения технологичности трубопроводов судовых систем на стадии проектирования с обеспечением возможности изготовления труб без снятия размеров по месту. Приводятся результаты теоретических исследований по компенсации отклонений при сборке труб с соединениями. Приведен сравнительный анализ методов сборки труб с соединениями и математическое описание компенсационных возможностей труб.

**Ключевые слова:** трубопроводы, проектирование, технологичность.

The problem of manufacturability advance of pipelines of marine systems is considered at the stage of designing, providing a possibility of pipes manufacturing without taking sizes. The results of theoretical research of deviation compensation at pipes assembly with junctions are given in the paper. The comparative analysis of methods of pipes assembly with junctions and mathematical formulation of compensating capabilities of pipes are resulted.

**Key words:** pipelines, designing, manufacturability.

Важнейшей тенденцией современного судостроения является повышение эффективности производства путем внедрения технологии предварительного изготовления труб по проектной информации без пригонки по месту. Наличие в проектной документации достаточной информации для предварительного изготовления и монтажа труб позволяет совместить работы по постройке судна и сократить сроки выполнения судостроительных заказов. Кроме того, создаются предпосылки для формирования региональных центров, работающих в автоматизированном режиме изготовления труб.

Новая технология предъявляет определенные требования к процессу проектирования трубопроводов и систем, который должен обеспечить: точность взаимного расположения труб и оборудования; снижение трудоёмкости сборочных работ; повышение качества документации по трубопроводам судовых систем, базирующееся на научно обоснованных методах их проектирования, с обеспечением возможности изготовления наибольшего количества труб окончательно в цехе без шаблонов, макетов или пригонки на судне; увеличение доли предварительно изготавливаемых труб с 40 до 60–70 % [1, 2].

В соответствии с требованиями, изложенными в нормативной документации [3, 4], с целью снижения трудоёмкости изготовления труб и расхода материалов, заготовки предварительно изготавливаемых труб не имеют припусков на пригонку, кроме того, отсутствует операция отрезки припусков, даже если отклонения, возникшие после гибки, удлинит заготовку, а не укоротит. Это обуславливает наличие отклонений после изготовления труб (рис. 1). Величины отклонений зависят от погрешностей резки и гибки труб [5]. Влияние погрешностей изготовления на отклонения смонтированной трассы трубопровода зависит от методов установки соединений при изготовлении труб.

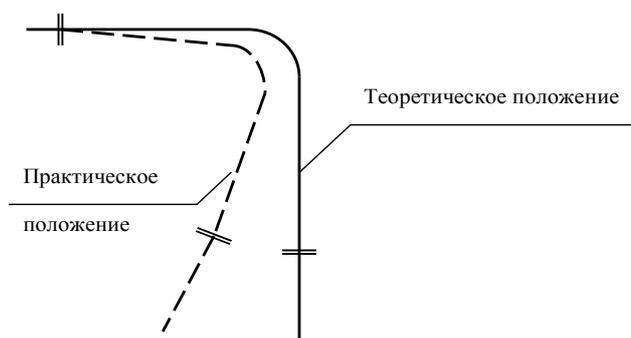


Рис. 1. Участок трубопровода

На рис. 2 показаны отклонения монтируемого участка трубопровода под влиянием погрешностей изготовления при установке соединений тремя различными способами.

Наибольшие отклонения возникают при установке соединений с использованием приспособлений, базирующихся на образующей трубы, т. к. плоскость соединения устанавливается перпендикулярно оси трубы. Этот способ оставляет все отклонения по осям координат, возникшие после гибки, и добавляет угловое отклонение от погрешностей погибов.

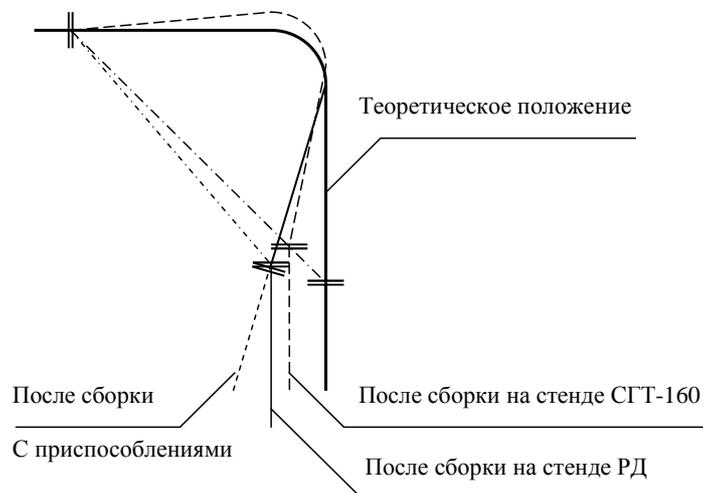


Рис. 2. Монтируемый участок трубопровода

При технологии предварительного изготовления труб по проектной информации [4] установку соединений предпочтительнее производить на стенде, имитирующем плоскости координат (рис. 3). Это позволит исключить влияние погрешностей погибов на отклонение трассы. При этом соединение у второго фланца будет установлено неперпендикулярно оси трубы. Допускаемая неперпендикулярность регламентируется соответствующими нормативными документами. В отраслевом стандарте ОСТ 5.95057-90 определены допускаемые величины отклонения фланцев (колец) от перпендикулярности к оси трубы из расчета на диаметр уплотнительной поверхности (табл.) [3].

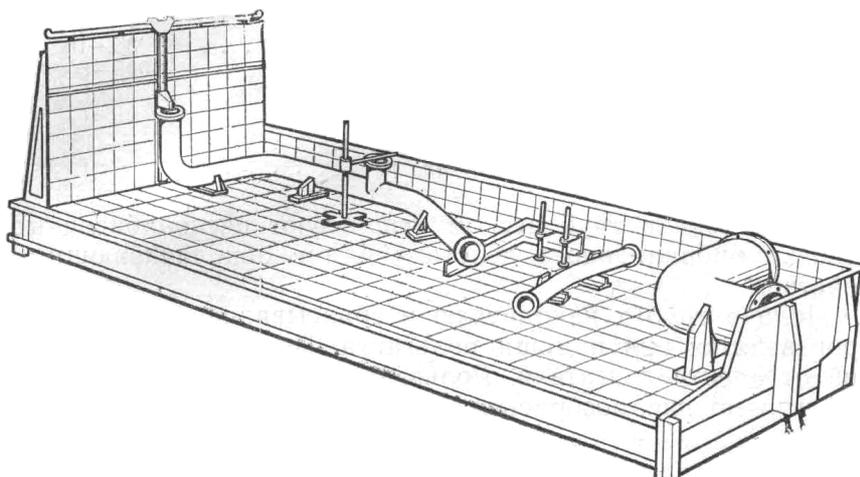


Рис. 3. Стенд РД

Большие размеры стенда и сложность базирования на нём заготовок труб и соединений обусловили разработку стенда СГТ-160, также рекомендуемого в РД 5Р.0005-93. Если на стенде установить соединения в теоретическое положение, то ось стенда, на которой расположены позиционеры, будет соответствовать линии, соединяющей концы трубы (рис. 4). Подвижный

(передвижной) позиционер станда может передвигаться только по этой линии. Для совмещения с соединением, закреплённым в подвижном позиционере, заготовку трубы придётся повернуть в неподвижном позиционере так, чтобы второй конец трубы оказался на оси станда, и затем передвинуть соединение, закреплённое в подвижном позиционере, до совпадения с заготовкой трубы. Собранный с соединениями станда будет иметь неперпендикулярность на обоих соединениях, которую также необходимо контролировать.

**Величина отклонения фланцев (колец)  
от перпендикулярности к оси трубы, мм**

| Условный проход         | Величина отклонения от перпендикулярности, не более |
|-------------------------|---|
| До 100 включ.           | 2,0   |
| Свыше 100 до 200 включ. | 4,0   |
| -// -200 -// -400 -// - | 6,0   |

Установка соединений с применением стандов уменьшает влияние погрешностей изготовления на отклонения трассы при монтаже труб вследствие использования при этом неперпендикулярности плоскости соединений относительно оси трубы.

Методы контроля перпендикулярности ни в отраслевом стандарте, ни в руководящих документах четко не прописаны.

Практически это сложный процесс, требующий специальных приспособлений и специальных измерительных приборов типа квадранта КО-1 [4].

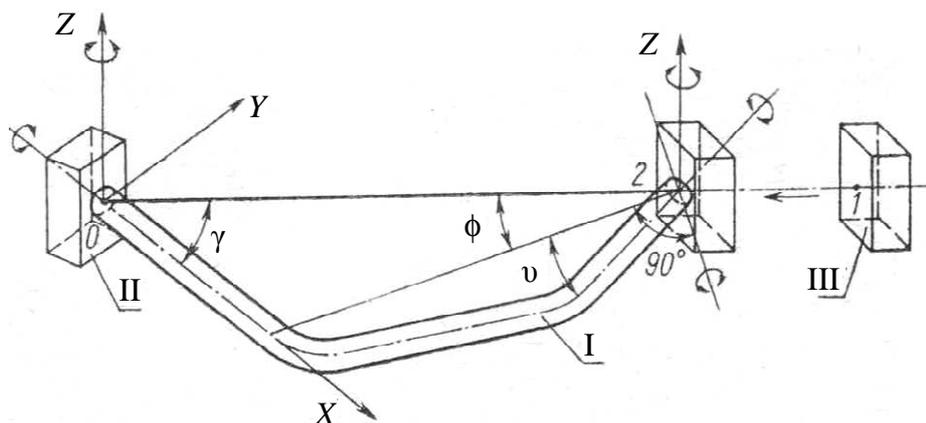


Рис. 4. Сборка на станде СГТ-160: I – труба; II, III – неподвижный и передвижной позиционеры

Таким образом, используя станды для установки соединений на трубы, за счёт неперпендикулярности плоскости соединений с осью трубы можно исключить влияние угловых погрешностей погибов и уменьшить отклонения по координатным осям.

Поставленная задача уменьшения (исключения) отклонений, возникающих под влиянием погрешностей резки и гибки, может решаться за счёт установки соединений неперпендикулярно оси трубы.

В качестве примера рассмотрим трубу с двумя погибами с координатными размерами  $X_T, Y_T, Z_T$  (рис. 5).

Расстояние между торцами трубы определяется соотношением

$$N_T = \sqrt{X_T^2 + Y_T^2 + Z_T^2} .$$

Отрезок-вектор  $N_T(X_T, Y_T, Z_T)$  является нормальным вектором к плоскости, в которой перемещается конец трубы.

Направляющие косинусы отрезка-вектора  $N_T$  :

$$A(\cos \alpha) = \frac{X_T}{N_T},$$

$$B(\cos \beta) = \frac{Y_T}{N_T},$$

$$C(\cos \gamma) = \frac{Z_T}{N_T}.$$

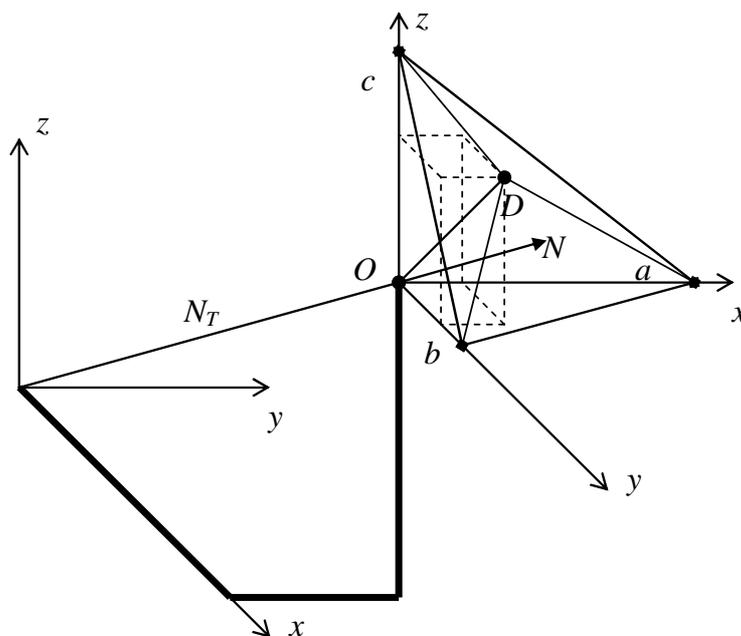


Рис. 5. Графическое представление компенсационных возможностей

Плоскость, в которой перемещается конец трубы, определяется уравнением

$$A \cdot X_T + B \cdot Y_T + C \cdot Z_T - N_T = 0. \quad (1)$$

При параллельном переносе координат в точку  $O(X_T, Y_T, Z_T)$ ,  $N_T = 0$ , уравнение (1) принимает вид

$$A \cdot X_T + B \cdot Y_T + C \cdot Z_T = 0.$$

В новых координатах точка  $D(X_n, Y_n, Z_n)$  – это вершина параллелепипеда отклонений координатных размеров труб под влиянием погрешностей резки и гибки.

Плоскость, в которой перемещается конец трубы в фактическом положении, определяется уравнением

$$A \cdot X_n + B \cdot Y_n + C \cdot Z_n - N = 0 \text{ или } A \cdot X_n + B \cdot Y_n + C \cdot Z_n = N. \quad (2)$$

Координаты точек пересечения этой плоскости с осями координат:

$$a = \frac{N}{A} = \frac{X_T \cdot X_n + Y_T \cdot Y_n + Z_T \cdot Z_n}{X_T},$$

$$b = \frac{N}{B} = \frac{X_T \cdot X_n + Y_T \cdot Y_n + Z_T \cdot Z_n}{Y_T},$$

$$c = \frac{N}{C} = \frac{X_T \cdot X_n + Y_T \cdot Y_n + Z_T \cdot Z_n}{Z_T}.$$

Величина предельно возможного (допускаемого) перемещения второго конца трубы, для анализа компенсационных возможностей труб при установке соединений с допустимым перекосом, определяется соотношением

$$R = N_T \cdot \operatorname{tg} \phi,$$

где  $\phi$  – допускаемое угловое отклонение от перпендикулярности.

Графически для решения задачи необходимо соединить точку  $D(X_n, Y_n, Z_n)$  с точками пересечения плоскости и осей координат, т. е. с точками  $a(a, 0, 0)$ ,  $b(0, b, 0)$ ,  $c(0, 0, c)$ , и определить величины получившихся отрезков  $Da, Db, Dc$  (см. рис. 5).

Величина отрезка-вектора  $D$  :

$$D = \sqrt{X_n^2 + Y_n^2 + Z_n^2}.$$

Направляющие косинусы отрезка-вектора  $D$  :

$$\cos \alpha' = \frac{X_n}{D},$$

$$\cos \beta' = \frac{Y_n}{D},$$

$$\cos \gamma' = \frac{Z_n}{D}.$$

Для определения величин отрезков  $Da, Db, Dc$  представим каждый из них стороной треугольника:  $Da$  – это сторона треугольника  $ODa$ ;  $Db$  – соответственно  $ODb$ ;  $Dc$  –  $ODc$ .

По теореме косинусов длина стороны треугольника определяется по двум сторонам и углу между ними [6], в результате:

$$Da = \sqrt{a^2 + D^2 - 2 \cdot a \cdot D \cdot \cos \alpha'} = \sqrt{a^2 + X_n^2 + Y_n^2 + Z_n^2 - 2 \cdot a \cdot X_n},$$

$$Db = \sqrt{b^2 + D^2 - 2 \cdot b \cdot D \cdot \cos \beta'} = \sqrt{b^2 + X_n^2 + Y_n^2 + Z_n^2 - 2 \cdot b \cdot Y_n},$$

$$Dc = \sqrt{c^2 + D^2 - 2 \cdot c \cdot D \cdot \cos \gamma'} = \sqrt{c^2 + X_n^2 + Y_n^2 + Z_n^2 - 2 \cdot c \cdot Z_n}.$$

Если  $R \geq Da, R \geq Db, R \geq Dc$ , то для компенсации можно использовать любую ось координат.

Если одно из неравенств не соблюдается, например  $R < Db$ , то соответствующую ось ( $Y$ ) нельзя использовать для компенсации. В этом случае при повороте трубы до совпадения ее второго конца с соответствующей осью регламентируемый угол неперпендикулярности будет превышен, что недопустимо.

### Выводы

1. Установка соединений с помощью приспособлений дает смещение трубы по осям координат и дополнительно – угловое отклонение трассы трубопровода.
2. Установка соединений на стенде РД и по технологии, описанной в РД 5Р.0005-93, дает смещение по осям, но исключает угловые отклонения трассы, появляется неперпендикулярность во втором соединении.
3. Установка соединений на стенде СГТ-160 дает смещение по осям и дает неперпендикулярность в обоих соединениях.
4. Выполненное математическое описание компенсационных возможностей труб при установке соединений с перекосом является основой разработки различных расчетных методик.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сахно К. Н. Повышение технологичности трубопроводов судовых систем // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Морская техника и технология. – 2011. – № 1. – С. 73–77.

2. Сахно К. Н. Основные результаты научных исследований в области трассировки судовых трубопроводов // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Морская техника и технология. – 2009. – № 1. – С. 88–90.
3. ОСТ 5.95057-90. Системы судовые и системы судовых энергетических установок. Типовой технологический процесс изготовления и монтажа трубопроводов.
4. 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.
5. Сахно К. Н. Исследование влияния погрешностей изготовления на точность координатных размеров труб сложных судовых технологических комплексов: дис. ... канд. техн. наук. – СПб., 2000.
6. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. – М.: Наука, 1984. – 832 с.

Статья поступила в редакцию 11.07.2011

#### **ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ**

**Сахно Константин Николаевич** – Астраханский государственный технический университет; канд. техн. наук, доцент; доцент кафедры «Судостроение и энергетические комплексы морской техники»; тел.: 8 (8512) 614-166.

**Sakhno Konstantin Nickolaevich** – Astrakhan State Technical University; Candidate of Technical Science, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department "Shipbuilding and Energetic Complexes of Sea Technological Equipment"; tel. 8 (8512) 614-166.