

Ж. В. Нго, К. Н. Сахно

Расчетное определение компенсационных возможностей трасс трубопроводов судовых систем

В статье рассматривается актуальная проблема повышения технологичности трубопроводов судовых систем на стадии проектирования. Представлены способы изготовления и монтажа судовых трубопроводов без снятия размеров по месту. В ходе экспериментального расчета определены цель, задачи и разработан план эксперимента, подготовлены необходимые исходные данные. Проведен экспериментальный расчет области компенсационных возможностей трасс трубопроводов судовых систем в четыре этапа: выбор трасс между двумя жестко фиксированными соединениями по чертежу и подготовка данных; определение расчетной области компенсационных возможностей трасс на основе теоретических положений в рамках гипотезы об использовании пар параллельных участков трасс для компенсации суммарных отклонений; определение пригоняемого участка с назначаемым припуском; корректировка чертежей посредством изменения размеров пригоняемых участков с припусками. В результате экспериментального расчета подтверждены теоретические прогнозы компенсационных возможностей трасс трубопроводов на этапе проектирования и концептуальные основы компенсации суммарных отклонений посредством перемещения трасс. Разработан алгоритм компенсации отклонений трасс трубопроводов с использованием взаимно параллельных участков с соединениями труб и дополнительными припусками. По результатам исследований созданы предпосылки для разработки методики повышения технологичности трубопроводов на стадии проектирования. Применительно к большому количеству трасс трубопроводов открывается возможность для замены забойных труб на пригоняемые трубы, гибка которых будет осуществляться по проектным размерам без уточнения по месту, способствуя сокращению сроков строительства объектов, сложных технологических комплексов, насыщенных трубопроводами.

Ключевые слова: трубопроводы, проектирование, отклонение, область компенсации.

Введение

В работах [1–6] рассматривались и анализировались теоретические основы определения расчетной области компенсации и при необходимости пригоняемых участков с припусками на основе теоретических положений в рамках гипотезы о взаимосвязи конфигурации и компенсационных возможностей проектной трассировки трубопроводов¹.

Целью данной работы является подтверждение вышеизложенной гипотезы и проверка математических описаний компенсационных возможностей трасс трубопроводов.

Основными задачами являются:

- 1) анализ трасс трубопроводов судовых систем;
- 2) определение компенсационных возможностей трасс трубопроводов и при необходимости пригоняемых участков с припусками пригоняемой трубы; предложение методов компенсации отклонений во всех направлениях.

Материалы и методы

Экспериментальный расчет проводился на заводе Damen-SongCam (Вьетнам) при проектировании трасс трубопроводов судовых систем на судах типа Damen Platform Supply Vessel 3300 CD (рис. 1).



Рис. 1. Проект судов типа Damen Platform Supply Vessel 3300 CD
Fig. 1. The project of vessels "Damen Platform Supply Vessel 3300 CD"

¹ См.: ОСТ 5.95057-90. Системы судовые и системы судовых энергетических установок. Типовой технологический процесс изготовления и монтажа трубопроводов. Л., 1990. 207 с. ; 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., 1993. 82 с.

Судно этого типа предназначено для обеспечения буровых платформ. Такие суда используются для снабжения платформ водой и топливом, для перевозки рефрижераторных контейнеров, различных смазочных материалов и химикатов, сыпучих и жидких грузов, необходимых для обеспечения буровых платформ, а также для транспортировки экипажей, эвакуации людей, сбора загрязненных нефтепродуктами вод. Основные характеристики судна указаны в табл. 1.

Таблица 1. Основные характеристики судна
Table 1. The main characteristics of the vessel

Длина по КВЛ, м	80,10
Ширина, м	16,20
Высота борта, м	7,50
Осадка по КВЛ, м	6,15
Дедвейт, т	3 500
Скорость, уз	13,5
Мощность главного двигателя, кВт	2 × 1 500

При разработке чертежей трубопроводных судовых систем проводился экспериментальный расчет в следующем порядке:

- выбор трасс трубопроводов и подготовка данных. Трасса выбиралась между двумя жестко фиксированными соединениями по чертежу. Для каждой трассы определялись положения погибов и номера точек свободного соединения;
- определение расчетной области компенсации на основе теоретических положений в рамках гипотезы об использовании пар параллельных участков трасс трубопроводов для компенсации суммарных отклонений;
- определение пригоняемого участка с назначаемым припуском (пригоняемый участок устанавливается для ответа на вопрос о том, в каком направлении необходимо назначить припуск). Пригоняемые участки обычно располагаются на одной трубе в одном направлении или в двух направлениях при необходимости;
- корректировка чертежей посредством изменения размеров пригоняемых участков припусками;
- изготовление труб трасс трубопроводов, размеры которых снимаются по проектам без уточнения по месту.

Результаты и обсуждение

Определение компенсационных возможностей трасс трубопроводов

На основании разработанных теоретических положений [1] составлена методика расчетов области компенсации трасс трубопроводов. Расчет проводился на базе программных сред Parametric Technology Corporation (PTC) MathCad и Maple. В качестве примера приведен расчет трассы трубопровода судовой водяной противопожарной системы (рис. 2).

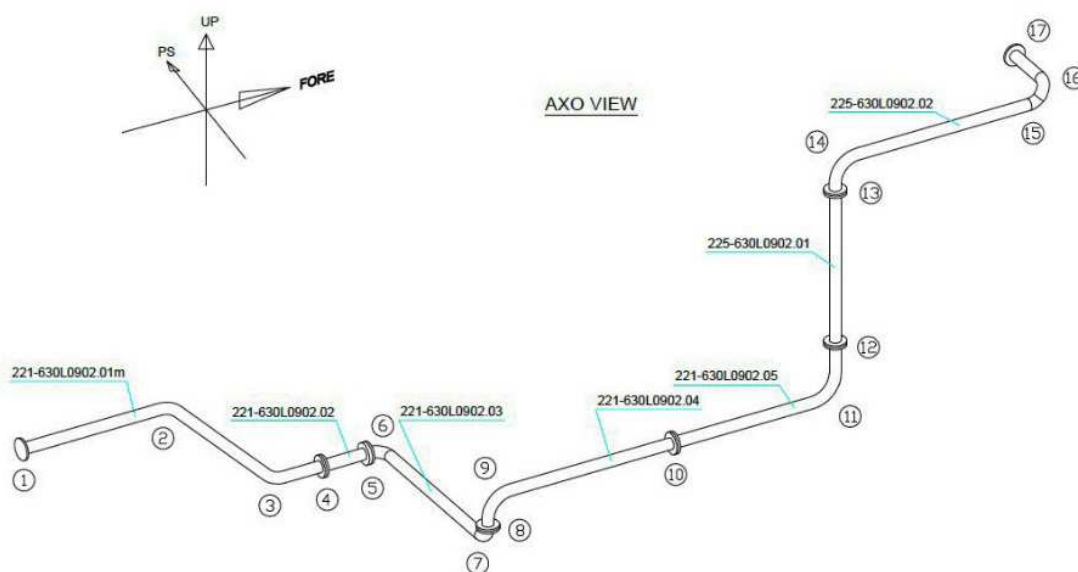


Рис. 2. Расчетная трасса
Fig. 2. The calculated route

Координатные размеры расчетной трассы, состоящей из семи труб, показаны в табл. 2.

Таблица 2. Координатные размеры расчетной трассы
 Table 2. The coordinate sizes of the calculated route

Номер точек	$X(FORE)$	$Y(PS)$	$Z(UP)$
1	0	0	0
2	1 800	0	0
3	1 800	-2 000	0
4	2 310	-2 000	0
5	2 797	-2 000	0
6	2 956	-2 000	0
7	2 956	-3 990	0
8	2 956	-3 990	159
9	2 956	-3 990	477
10	4 956	-3 990	477
11	6 711	-3 990	477
12	6 711	-3 990	1 057
13	6 711	-3 990	2 691
14	6 711	-3 990	3 014
15	8 869	-3 990	3 014
16	9 021	-3 990	3 166
17	9 021	-3 340	3 166

Номера точек свободного соединения: 1, 4, 5, 8, 10, 12, 13, 17. Точки 4 и 5 расположены на одном прямом участке трассы и равнозначны при выборе мест вращения. Чтобы не дублировать расчет, в качестве точки свободного соединения выбираем только одну точку 4; аналогично – для точек 12 и 13. Окончательно определяем номера точек свободного соединения: $s = \{1, 4, 8, 10, 12, 17\}$.

Далее необходимо проверить параллельность участков трассы. Для этого найдем векторы прямых участков, которые начинаются с точек свободного соединения. В результате определены четыре пары параллельных участков: 1–2 и 5–6, 1–2 и 10–11, 4–5 и 10–11, 8–9 и 12–13.

Так как точка 10 лежит между двумя парами параллельных участков 8–9 и 12–13, вращение трассы в месте свободного соединения 10 будет нарушать параллельность пары участков 8–9 и 12–13. Вращения пар 1–2 и 5–6, 1–2 и 10–11, 5–6 и 10–11 совместно компенсируют отклонение в направлении Z , а вращение пары 8–9 и 12–13 компенсирует отклонение в направлении Y . Поэтому для данной трассы можно не рассматривать перемещение трассы в месте свободного соединения 10, т. е. самыми оптимальными парами параллельных участков будут 1–2 и 5–6, 8–9 и 12–13.

На основании математических описаний определяем расчетные параметры окружностей, полученных вращением труб с параллельными участками (табл. 3). Вращение этих пар параллельных участков на определенный угол поворота образует дуги 1 и 2, необходимые для построения области компенсации (рис. 3).

Таблица 3. Параметры окружностей, полученных вращением параллельных участков трассы
 Table 3. The parameters of the circles obtained by rotation of parallel sections of the route

№ п/п	Пара параллельных участков	R , мм	\vec{u}	\vec{e}
1	1–2 и 4–5	2 000	(0; 0; -1)	(0; -1; 0)
2	8–9 и 12–13	3 755	(0; 1; 0)	(1; 0; 0)

Дуга 1 перемещается посредством параллельного переноса по направлению дуги 2, образуя криволинейную поверхность S_2 (рис. 3):

$$\begin{aligned}
 x &= 3\,755 \cos(t_2) - 3\,755, \\
 y &= -2\,000 \cos(t_1) + 3\,755 \sin(t_2) + 2\,000, \\
 z &= -2\,000 \sin(t_1), \\
 -\frac{\pi}{36} &\leq t_1 \leq \frac{\pi}{36}, \quad -\frac{\pi}{36} \leq t_2 \leq \frac{\pi}{36}.
 \end{aligned}$$

В результате расчета определяем координаты области компенсации (в мм):

$$\begin{aligned}x &\in \{-14 \div 0\}, \\y &\in \{-327 \div 335\}, \\z &\in \{-174 \div 174\}.\end{aligned}$$

Область компенсационных возможностей трассы является изогнутой поверхностью, предоставляет возможность компенсации отклонений, возникающих в направлениях Y и Z . Значения поверхности в направлении X от -14 до 0 мм характеризуют кривизну дуги 2.

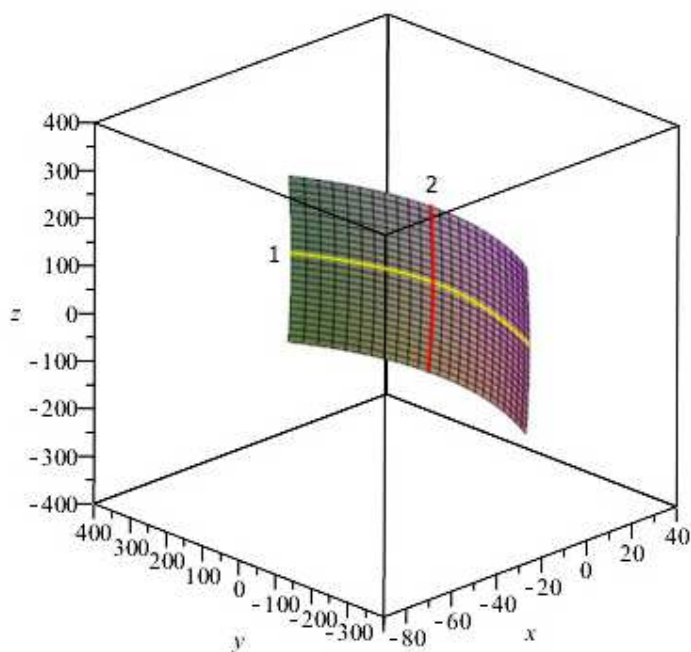


Рис. 3. Поверхность S_2
Fig. 3. The S_2 surface

Для компенсации параллелепипеда отклонений следует расширять область S_2 в направлении X , чтобы область компенсации стала объемной. Необходимое расширение области S_2 в направлении X осуществляется посредством назначения припуска на участке трассы, лежащем в направлении X ; появляется оптимальная возможность монтажа трасс трубопроводов. Для этой трассы можно назначить припуск на конце труб 221-630L0902.02, 221-630L0902.04 или 221-630L0902.05, и монтаж будет осуществляться с двух сторон, но самый оптимальный вариант – назначить припуск на концевом участке трубы 221-630L0902.01м и монтаж осуществлять со стороны трубы 225-630L0902.02.

После анализа и определения значения припусков необходимо скорректировать чертежи трасс трубопроводов с указанием значения и направления этих припусков, а также участков труб, на которых следует назначить припуски. Таким образом, трубы могут изготавливаться по чертежам, не требуется снимать размеры по месту.

В ходе экспериментальных исследований были определены и обработаны 107 трасс трубопроводов судовых систем. Результаты расчета трасс трубопровода водяной противопожарной системы представлены в табл. 4. Трубопровод состоит из 10 трасс, ограниченных жесткими соединениями.

Трассы 8, 9 имеют более трех прямых взаимно параллельных участков, обладающих возможностью полной компенсации вращением пар параллельных участков.

Трассы 1, 3, 4, 6, 7 обладают возможностью компенсации отклонений в двух направлениях; необходимо назначить припуск в оставшемся направлении для полной компенсации отклонений. При этом трассы 3, 4, 7 имеют две пары прямых взаимно параллельных участков, вращение которых образует две дуги, лежащие в плоскостях, параллельных двум координатным плоскостям. Область компенсации является изогнутой двухмерной поверхностью, обладающей возможностью компенсации только в двух направлениях. Трасса 1 имеет три пары прямых взаимно параллельных участков, вращение которых образует три дуги, лежащие в трех разных координатных плоскостях. Область компенсации является объемной,

но не поглощает параллелепипед отклонений по направлению Z . Остальные трассы имеют более трех пар прямых взаимно параллельных участков, вращение которых образует дуги, лежащие в плоскостях с одинаковыми базисными векторами. Область компенсации таких трасс является сложной поверхностью, обладающей возможностью компенсации только в двух направлениях.

Трассы 2, 5, 10 обладают возможностью компенсации отклонений в одном направлении; необходимо назначить припуски в двух оставшихся направлениях для полной компенсации отклонений.

Таблица 4. Компенсационные возможности трасс трубопроводов
Table 4. The compensation capabilities of pipeline routes

Обозначение трассы	Координаты конца трассы, мм		Количество пар параллельных участков	Расчетная область компенсации, мм	Назначение припусков, мм
1-313L0101	X	-3 021	3	-165 ÷ 193	0
	Y	583		-335 ÷ 321	0
	Z	9 082		0	50
2-313L0116	X	6 330	4	-76 ÷ 16	34
	Y	8 624		0	50
	Z	5 050		-488 ÷ 488	0
3-313L0130	X	1 333	2	-136 ÷ 140	0
	Y	1 783		-50 ÷ 58	0
	Z	4 837		0	50
4-313L0123	X	-9 649	6	0	100
	Y	5 024		-138 ÷ 116	0
	Z	358		-107 ÷ 107	0
5-313L0113	X	16 600	2	0	
	Y	320		-34 ÷ 34	
	Z	1 200		-28 ÷ 28	
6-313L0121	X	-5 092	4	0	50
	Y	1 905		-109 ÷ 108	0
	Z	1 796		-336 ÷ 329	0
7-313L0122	X	-5 000	2	0	100
	Y	176		-161 ÷ 156	0
	Z	1 335		-86 ÷ 86	0
8-313L0128	X	3 086	5	-400 ÷ 387	0
	Y	4 270		-891 ÷ 844	0
	Z	3 681		-847 ÷ 785	0
9-313L0137	X	1 048	4	-526 ÷ 533	0
	Y	6 005		-229 ÷ 136	0
	Z	-3 279		-53 ÷ 53	0
10-330L1077	X	1 520	1	0	50
	Y	3 756		0	50
	Z	1 200		-22 ÷ 22	28

По результатам теоретических расчетов в зависимости от компенсационных возможностей можно разделить 107 трасс на 5 групп (рис. 4):

1) 11 трасс имеют возможность полной компенсации отклонений в трех координатных направлениях, что составляет 10,3 % от общего количества трасс трубопроводов;

2) 43 трассы имеют возможность компенсации отклонений в двух направлениях; необходимо назначить припуск в оставшемся направлении для полной компенсации отклонений, что составляет 40,2 % от общего количества трасс трубопроводов;

3) 30 трасс имеют возможность компенсации отклонений только в одном направлении; следует назначить припуски в остальных двух направлениях для полной компенсации отклонений, что составляет 28,1 % от общего количества трасс трубопроводов;

4) 2 трассы, что составляет 1,8 % от общего количества трасс трубопроводов, не имеют возможность компенсации отклонений ни в одном направлении, но имеют более двух погибов, которые дают возможность назначения припусков в трех координатных направлениях;

5) 21 трасса не имеет возможности компенсации отклонений, что составляет 19,6 % от общего количества трасс трубопроводов. Область компенсации этих трасс не образовалась или не поглотила параллелепипед отклонений и не имеет возможности расширяться назначением припусков.

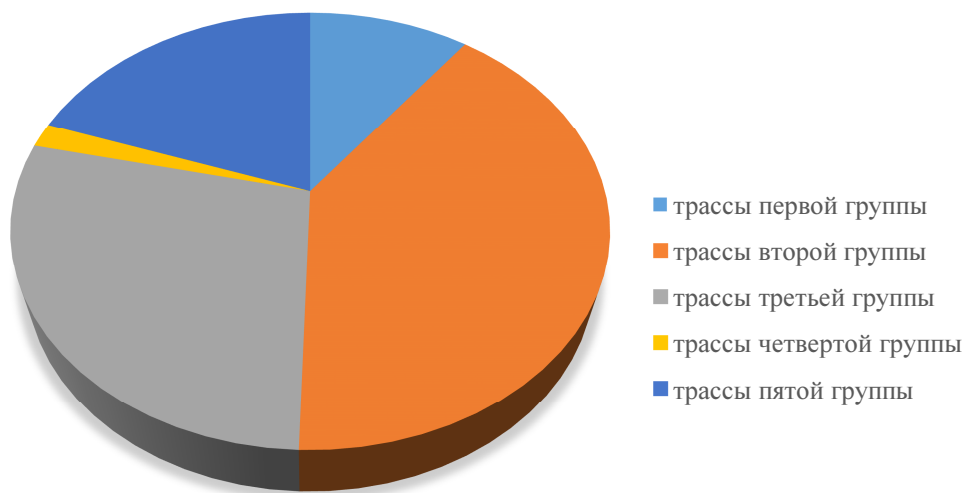


Рис. 4. Классификация трасс трубопроводов по компенсационным возможностям
Fig. 4. The classification of pipelines by the compensation capabilities

Заключение

В ходе расчета определены цель, задачи и разработан план эксперимента, а также подготовлены необходимые исходные данные.

По результатам экспериментального расчета можно сделать следующие выводы:

- подтверждены теоретические прогнозы компенсационных возможностей трасс трубопроводов на этапе проектирования;
- подтверждены концептуальные основы компенсации суммарных отклонений посредством перемещения трасс трубопроводов;
- разработан порядок компенсации отклонений трасс трубопроводов с использованием взаимно параллельных участков с соединениями труб и дополнительными припусками;
- созданы предпосылки для разработки методики повышения технологичности трубопроводов на стадии проектирования.

Библиографический список

1. Нго Жа Вьет, Сахно К. Н. Исследование компенсационных возможностей проектной трассировки трубопроводов судовых систем // Вестник Государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. 2017. Т. 9, № 1. С. 157–164.
2. Сахно К. Н., Нго Жа Вьет, Во Чунг Куанг. Актуальность использования компенсационных возможностей прямых труб при проектировании, изготовлении и монтаже трубопроводных систем // Вестник Астраханского государственного технического университета. Сер. Морская техника и технология. 2015. № 2. С. 22–26.
3. Сахно К. Н., Нго Ж. В. Исследование компенсационных возможностей прямых труб в трассах с погибами // Вестник Астраханского государственного технического университета. Сер. Морская техника и технология. 2016. № 1. С. 29–37.
4. Горелик Б. А. Общая технология специальных соединений судовых трубопроводов : дис. ... д-ра техн. наук. СПб., 2000. 268 с.
5. Ando Y., Kimura H. An automatic piping algorithm including elbows and bends // International Conference on Computer Applications in Shipbuilding (ICCAS2011). Trieste, Italy, 20–22 September 2011. V. 3. P. 153–158.
6. Fan X., Lin Y., Ji Z. Multi ant colony cooperative co-evolution for optimization of ship multi pipe parallel routing // Journal of Shanghai Jiaotong University. 2009. V. 43 (2). P. 193–197 (in Chinese).

References

1. Ngo Zha Vet, Sahnо K. N. Issledovanie kompensatsionnyh vozmozhnostey proektnoy trassirovki truboprovodov sudovyh sistem [Investigation of the compensation capabilities of the project tracing of pipelines of ship systems] // Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S. O. Makarova. 2017. V. 9, N 1. P. 157–164.
2. Sahnо K. N., Ngo Zha Vet, Vo Chung Kuang. Aktualnost ispolzovaniya kompensatsionnyh vozmozhnostey pryamyh trub pri proektirovanii, izgotovlenii i montazhe truboprovodnyh sistem [The urgency of using the compensation capabilities of straight pipes in design, manufacture and installation of pipeline systems] // Vestnik Astrahanskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta. Ser. Morskaya tehnika i tehnologiya. 2015. N 2. P. 22–26.
3. Sahnо K. N., Ngo Zh. V. Issledovanie kompensatsionnyh vozmozhnostey pryamyh trub v trassah s pogibami [Investigation of the compensation capabilities of straight pipes with bends] // Vestnik Astrahanskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta. Ser. Morskaya tehnika i tehnologiya. 2016. N 1. P. 29–37.
4. Gorelik B. A. Obschaya tehnologiya spetsialnyh soedineniy sudovyh truboprovodov [General technology of special connections of ship's pipelines] : dis. ... d-ra tehn. nauk. SPb., 2000. 268 p.
5. Ando Y., Kimura H. An automatic piping algorithm including elbows and bends // International Conference on Computer Applications in Shipbuilding (ICCAS2011). Trieste, Italy, 20–22 September 2011. 2011. V. 3. P. 153–158.
6. Fan X., Lin Y., Ji Z. Multi ant colony cooperative co-evolution for optimization of ship multi pipe parallel routing // Journal of Shanghai Jiaotong University. 2009. V. 43 (2). P. 193–197 (in Chinese).

Сведения об авторах

Нго Жа Вьет – ул. Татищева, 16, г. Астрахань, Россия, 414056; Астраханский государственный технический университет; аспирант; e-mail: ngogiaviet.ast@gmail.com

Ngo G. V. – 16, Tatishcheva Str., Astrakhan, Russia, 414056; Astrakhan State Technical University, Ph. D. Student; e-mail: ngogiaviet.ast@gmail.com

Сахно Константин Николаевич – ул. Татищева, 16, г. Астрахань, Россия, 414056; Астраханский государственный технический университет; д-р техн. наук, доцент, профессор; e-mail: k.sakhno@mail.ru

Sakhno K. N. – 16, Tatishcheva Str., Astrakhan, Russia, 414056; Astrakhan State Technical University, Dr of Tech. Sci., Associate Professor, Professor; e-mail: k.sakhno@mail.ru

G. V. Ngo, K. N. Sakhno

Calculation determination of compensatory capabilities of pipeline routes of ship systems

The paper considers the problem of improving the manufacturability of ship system pipelines at the stage of designing. Some solutions of manufacturing and installation of ship system pipelines without taking dimensions at the place have been presented. During the experimental calculation the purpose and objectives of the experiment have been defined, the plan of experiment has been designed and the necessary initial data have been prepared. The experimental calculation of the compensating capabilities of ship system pipelines in four stages has been made. They are: the choice of routes between two rigidly fixed connections according to the drawing and preparation of data; the determination of the computational domain of compensatory capabilities of traces on the basis of theoretical assumptions within the hypothesis of using pairs of parallel sections of traces to compensate for total deviations; the determination of the fit area with an assigned allowance; the adjustment of drawings by changing the dimensions of the fit areas with allowances. The experimental calculations have confirmed the theoretical predictions of compensatory capabilities of pipelines at the design stage and conceptual basis for compensating for total deviations by moving traces. The algorithm for compensation of pipelines' deviations using the mutually parallel sections with joints of pipes and additional allowances has been developed. Based on the research results prerequisites have been created for developing a methodology for improving the manufacturability of pipelines at the design stage. With regard to more pipelines the opportunity to replace a downhole pipe to an adjustable pipe has been offered, bending of which will be carried out according to project dimensions without clarification in place, contributing to a reduction in the construction of facilities, complex technological systems saturated with pipelines.

Key words: pipelines, design, deflection, area of compensation.