

С. Г. Головлев

**Развертки элементов
аппаратуры и трубопроводов**

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 030
ББК 92
С11

С. Г. Головлев
С11 Развертки элементов аппаратуры и трубопроводов / С. Г. Головлев – М.: Книга по Требованию, 2013. – 214 с.

ISBN 978-5-458-45512-1

В книге рассматриваются аналитические методы определения размеров, необходимых для построения разверток элементов аппаратуры котельного типа и различных фасонных частей трубопроводов. В книге приводятся расчетные уравнения и серии таблиц. Во многих случаях таблицы книги позволяют определять все размеры разверток многочисленных фасонных элементов простым умножением коэффициентов на заданный диаметр выполняемого изделия. Книга предназначена для конструкторов проектных организаций, связанных с разработкой фасонных частей трубопроводов и аппаратуры, а также для инженеров, техников и рабочих-разметчиков котельных цехов машиностроительных заводов. Приводимые в книге таблицы в большинстве случаев доступны для пользования непосредственно рабочими-разметчиками.

ISBN 978-5-458-45512-1

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2013

© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2013

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первоизданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.



Серия Книжный Ренессанс

www.samizday.ru/reprint

ПРЕДИСЛОВИЕ

Современная химическая, котельная и другая аппаратура, а также разнообразные внутрицеховые и межцеховые коммуникации ее часто содержат всевозможные фасонные элементы, выполняемые из листового металла или из различных стандартных труб.

Изготовление этих фасонных элементов, иногда имеющих сложные геометрические формы, требует тщательной разметки и построения разверток всех частей, из которых состоит готовое изделие.

Во всех отраслях машиностроения разметка деталей является одной из самых трудоемких и ответственных операций, а в производствах, связанных с изготовлением аппаратуры котельного типа, она особенно ответственна и сложна.

Это объясняется прежде всего тем, что определение размеров, необходимых для построения котельных разверток, производится главным образом графически, путем выполнения целого ряда геометрических построений разметчиком в цехе, или проектировщиком в конструкторском бюро.

Графический метод определения размеров котельных разверток очень кропотлив, требует высокой квалификации разметчиков и поэтому является малопроизводительным и неэкономичным.

Вследствие трудоемкости разметочный процесс почти не подвержен техническому контролю, и, следовательно, качество произведенной разметки целиком зависит от квалификации разметчика.

В настоящем труде приводятся аналитические методы определения всех размеров разверток широко применяемых в практике фасонных элементов трубопроводов и аппаратуры.

Книга содержит выводы уравнений для расчета размеров разверток и серии таблиц, содержащих значения этих размеров для рассматриваемых фасонных элементов.

В таблицах приводятся относительные размеры разверток в зависимости от диаметров или других параметров проектируемых изделий.

При изготовлении фасонных элементов из готовых стандартных труб или из труб, сваренных из листового металла, размет-

ка присоединительных контуров элементов производится по шаблонам, накладываемым на наружную поверхность труб. Поэтому в этом случае при расчете размеров разверток по приводимым в книге уравнениям и таблицам в качестве диаметра D следует принимать наружный диаметр.

При изготовлении фасонных элементов из листового металла путем вальцовки и последующей сварки размеченных и вырезанных заготовок расчет размеров разверток производится с учетом толщины листового металла, т. е. в уравнениях и таблицах в качестве диаметра принимается средний диаметр выполняемого фасонного элемента $D_{cp} = D - \delta$, где D_{cp} — средний диаметр, D — наружный диаметр и δ — толщина листового металла.

В уравнениях и таблицах все величины измеряются в миллиметрах (*мм*).

Размеры разверток, получаемые по уравнениям и таблицам книги, не учитывают припуски на резку, разделку кромок под сварку и т. п.

В каждом разделе книги, рассматривающем тот или иной тип фасонных элементов, приводятся примеры их наиболее рациональных форм, а также примеры форм с минимально-возможными габаритами.

Автор надеется, что материалы книги будут полезны соответствующим проектным организациям, конструкторским бюро и котельным цехам машиностроительных заводов, а также проектировщикам и строителям различных трубопроводов, вентиляционных систем, рекуперационных установок и т. п.

МНОГОЗВЕННЫЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ КОЛЕНА

§ 1. КЛАССИФИКАЦИЯ КОЛЕН

Все применяемые в промышленной практике сварные многозвенные цилиндрические колена трубопроводов можно классифицировать по следующим признакам:

1) по углу β изгиба колена — на прямоугольные и косоугольные; в настоящем разделе рассматриваются колена с углом β от 90° до 15° с интервалом 15° ;

2) по числу звеньев, составляющих колена, — на двухзвенные, трехзвенные и вообще многозвенные; в настоящем разделе рассматриваются колена до пятизвенных включительно;

3) по размерам и форме — на колена рациональных габаритов, имеющих размеры и форму, отвечающие гидродинамическим и конструктивным требованиям, и на колена минимально возможных габаритов; последние не могут быть рекомендованы к применению при проектировании новых промышленных объектов, но в них часто возникает необходимость при реконструкции существующих заводов, цехов и т. п., где проектант располагает только уже имеющимися, заранее заданными размерами производственных помещений или монтажных площадок;

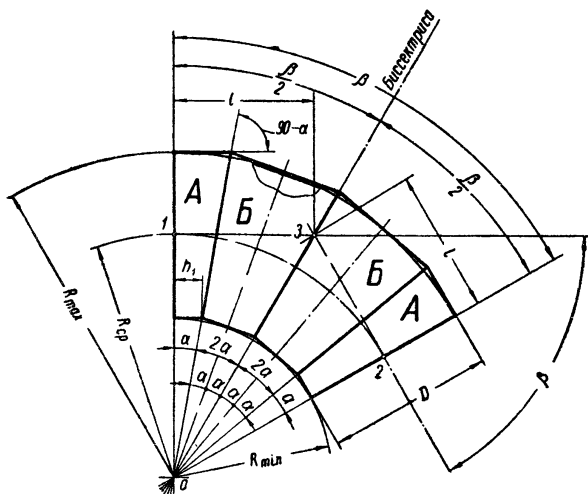
4) по способу присоединения к трубопроводу — на фланцевые и приварные.

Все рассматриваемые здесь колена рациональных габаритов могут присоединяться к трубопроводу как с помощью фланцев, так и привариваться. Колена минимально возможных габаритов рассматриваются только для последнего случая.

§ 2. ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ ПОСТРОЕНИЕ

Геометрическое построение колена с некоторым углом изгиба β приведено на фиг. 1, из которой следует, что звенья колена представляют собой круговые цилиндры одинакового диаметра, усеченные плоскостями, наклоненными под углом $90 - \alpha$ к их осям.

Наружные и внутренние образующие звеньев колена являются сторонами правильных многоугольников, описанных вокруг окружностей радиуса R_{\min} и R_{\max} равных соответственно



Фиг. 1. Колено четырехзвенное косоугольное.

$R_{\min} = R_{cp} - 0,5D$; $R_{\max} = R_{cp} + 0,5D$, где R_{cp} — средний радиус изгиба колена, а D — его наружный диаметр. Из свойств правильного описанного многоугольника вытекает, что

$$\alpha = \frac{\beta}{2(N-1)}, \quad (1)$$

где N — число звеньев колена, считая и половинчатые концевые.

Построение колена производится в следующей последовательности: наносят горизонтальную и наклонную оси колена, пересекающиеся под углом β ; из точки 3 пересечения осей откладывают вдоль последних размер

$$l = R_{cp} \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}. \quad (2)$$

В полученных точках 1 и 2 восставляют перпендикуляры к проведенным ранее осям. Пересечение этих перпендикуляров дает центр o окружностей радиуса R_{cp} , R_{\min} и R_{\max} . Центральный угол β делят на $2(N-1)$ равных частей, затем из его вершины o проводят дуги радиусом R_{\min} и R_{\max} в границах угла β и строят стороны описанных многоугольников на участках этих дуг, принимая центральный угол, соответствующий сторо-

нам правильного многоугольника, равным $2a$. При этом концевые звенья колена образуются половинами сторон правильных описанных многоугольников, и, следовательно, длины их образующих будут вдвое короче образующих средних звеньев.

§ 3. УРАВНЕНИЯ И ТАБЛИЦА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГАБАРИТОВ КОЛЕН

Рациональные размеры сварных многозвенных колен трубопроводов определяются несколькими условиями. С одной стороны, колена должны обладать возможно меньшими гидравлическими сопротивлениями потоку протекающей по ним газовой или жидкой среды, т. е. должны иметь по возможности плавные очертания своего контура.

Согласно данным гидродинамики¹ сопротивления колена потоку протекающей среды уменьшаются с ростом отношения $\frac{R_{cp}}{D}$ радиуса кривизны колена к его диаметру (фиг. 1). Однако при больших значениях $\frac{R_{cp}}{D}$ и значительных диаметрах колена габариты их получаются чрезмерно большими, что затрудняет и удорожает их изготовление и монтаж. Поэтому при проектировании колена желательно принимать некоторые средние значения отношения радиуса кривизны к диаметру, что по данным практики соответствует $\frac{R_{cp}}{D} = 1$, т. е. $R_{cp} = D$. При этом гидравлические сопротивления колена еще не велики, а габариты достаточно конструктивны и экономичны.

С другой стороны, размеры концевых частей и габариты многозвенных колена, при прочих равных условиях, должны допускать размещение фланцев по концам колена и обеспечивать возможность проведения необходимых сварочных работ как при соединении звеньев колена между собой, так и при присоединении фланцев.

Этот второй фактор оказывается существенным в основном при малых диаметрах колена, при которых размер h_1 минимальной образующей концевых звеньев колена (фиг. 1) при $\frac{R_{cp}}{D} = 1$ не велик и лимитирует размещение фланцев и сварных швов.

Из рассмотрения размеров стандартных фланцев можно заключить, что для всех диапазонов давлений и условных проходов плоских приварных и свободно вращающихся фланцев по ГОСТу 1255-54, 1268-54 и 1272-54 размещение их на концевых участках колена, а также размещение сварных швов достижимо при значении h_1 не менее 90—100 мм. Исходя из этих соображений найдем уравнения, которые определяют значения $\frac{R_{cp}}{D}$ и

¹ Евреинов В. Н., Гидравлика, 1947.

R_{cp} , удовлетворяющие вышеуказанным требованиям. Из фиг. 1 следует

$$h_1 = (R_{cp} - 0,5D) \operatorname{tg} \alpha, \quad (3)$$

следовательно,

$$R_{cp} = \frac{h_1}{\operatorname{tg} \alpha} + 0,5D. \quad (4)$$

Поделив обе части этого уравнения на D , получим

$$\frac{R_{cp}}{D} = \frac{h_1}{D \operatorname{tg} \alpha} + 0,5. \quad (5)$$

При $h_1 = 100$

$$\frac{R_{cp}}{D} = 0,5 \left(\frac{200}{D \operatorname{tg} \alpha} + 1 \right), \quad (6)$$

$$R_{cp} = 0,5 \left(\frac{200}{\operatorname{tg} \alpha} + D \right). \quad (7)$$

Приравняв правую часть уравнения (6) единице и решив его относительно D , найдем минимальное значение диаметра колена, при котором допустимо принимать $\frac{R_{cp}}{D} = 1$, т. е. $R_{cp} = D$

$$D = \frac{200}{\operatorname{tg} \alpha}. \quad (8)$$

Для всех диаметров колен, больших найденного по уравнению (8), следует принимать $R_{cp} = D$, а для всех диаметров колен, меньших найденного по уравнению (8), значения R_{cp} определяются по уравнению (7). В последнем случае $\frac{R_{cp}}{D}$ будет всегда больше единицы, т. е. эти колена будут обладать минимальными гидравлическими сопротивлениями. Для колен минимально-возможных габаритов значения среднего радиуса кривизны находятся по уравнению (7) при любых значениях их диаметров.

В табл. 1 приводятся относительные значения средних радиусов кривизны и размеров l колен рациональных и минимально-возможных габаритов в зависимости от их диаметра, числа звеньев и угла изгиба. Таблица составлена по уравнениям (2), (7), (8) для шести значений углов изгиба β (от 90° до 15° с интервалом 15°) и для четырех значений числа звеньев колен N (от двух до пяти).

Для каждого значения N в левых вертикальных столбцах таблицы приводятся выражения для определения R_{cp} и l колен рациональных габаритов при $R_{cp} > D$ и указываются макси-

Таблица 1

Относительные значения средних радиусов кривизны R_{cp} и размеров l колен рациональных и минимально-возможных габаритов (к фиг. 1)

β°	R, l	Число N звеньев колен									
		2		3		4		5			
		при D		при D		при D		при D			
90	—	менее 200	более 200	менее 485	более 485	менее 750	более 750	менее 1000	более 1000		
	R_{cp}	$0,5D+100$	D	$0,5D+241$	D	$0,5D+373$	D	$0,5D+503$	D		
	l	$0,5D+100$	D	$0,5D+241$	D	$0,2D+373$	D	$0,5D+503$	D		
75	—	менее 260	более 260	менее 590	более 590	менее 900	более 900	менее 1170	более 1170		
	R_{cp}	$0,5D+130$	D	$0,5D+295$	D	$0,5D+451$	D	$0,5D+605$	D		
	l	$0,384D+160$	$0,767D$	$0,384D+226$	$0,767D$	$0,384D+346$	$0,767D$	$0,384D+465$	$0,767D$		
60	—	менее 352	более 352	менее 750	более 750	менее 1140	более 1140	менее 1500	более 1500		
	R_{cp}	$0,5D+173$	D	$0,5D+373$	D	$0,5D+567$	D	$0,5D+759$	D		
	l	$0,289D+100$	$0,577D$	$0,289D+215$	$0,577D$	$0,289D+327$	$0,577D$	$0,289D+438$	$0,577D$		
45	—	менее 485	более 485	менее 1000	более 1000	менее 1500	более 1500	менее 2000	более 2000		
	R_{cp}	$0,5D+241$	D	$0,5D+503$	D	$0,5D+759$	D	$0,5D+1014$	D		
	l	$0,207D+100$	$0,414D$	$0,207D+208$	$0,414D$	$0,207D+314$	$0,414D$	$0,207D+420$	$0,414D$		
30	—	менее 750	более 750	менее 1500	более 1500	менее 2280	более 2280	менее 3000	более 3000		
	R_{cp}	$0,5D+373$	D	$0,5D+759$	D	$0,5D+1143$	D	$0,5D+1527$	D		
	l	$0,134D+100$	$0,268D$	$0,134D+203$	$0,268D$	$0,134D+306$	$0,268D$	$0,134D+409$	$0,268D$		
15	—	менее 1520	более 1520	менее 3000	более 3000	менее 4600	более 4600	менее 6000	более 6000		
	R_{cp}	$0,5D+759$	D	$0,5D+1527$	D	$0,5D+2288$	D	$0,5D+3040$	D		
	l	$0,0659D+100$	$0,132D$	$0,0659D+201$	$0,132D$	$0,0659D+301$	$0,132D$	$0,0659D+400$	$0,132D$		

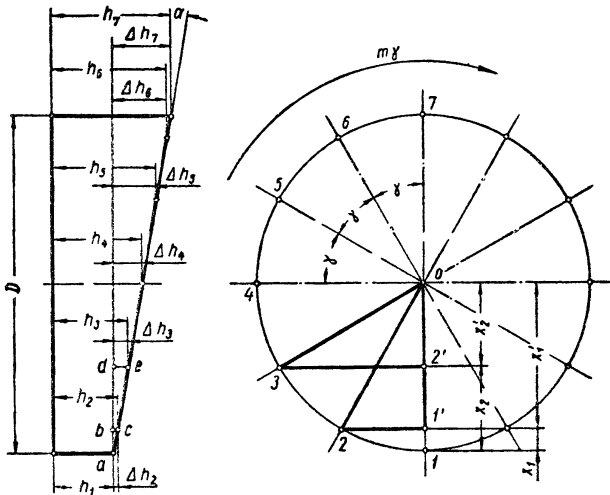
мальные значения диаметров колен, до которых применимы эти выражения.

В правых вертикальных столбцах приводятся выражения для определения R_{cp} и l колен рациональных габаритов при $R_{cp} = D$ и указываются значения диаметров колен, свыше которых они применяются.

По выражениям, содержащимся в левых столбцах таблицы, определяются также средние радиусы кривизны R_{cp} и размеры l для колен минимально-возможных габаритов всех диаметров.

§ 4. УРАВНЕНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗМЕРОВ РАЗВЕРТОК КОЛЕН

Для построения разверток надо определить длины образующих каждого цилиндрического звена. Число n этих образующих выбирается в зависимости от требуемой точности построения развертки.



Фиг. 2. Концевое звено четырехзвенного колена (к выводу уравнения, определяющего размеры разверток многозвенных колен).

На фиг. 2 изображены две проекции концевой звена (А) колена (фиг. 1). Окружность, представляющая собой проекцию цилиндра на плоскость, перпендикулярную к его оси, разделена на 12 равных частей. Точки деления являются проекциями образующих цилиндра, необходимых для построения развертки. Длины образующих обозначены буквой h .

Задача сводится к выводу уравнений, определяющих зависимость величины h от заданных значений основных параметров колена.

Величина минимальной образующей концевго звена A определяется по ранее полученному уравнению (3)

$$h_1 = (R_{cp} - 0,5D) \operatorname{tg} \alpha.$$

Длины других образующих равны:

$$h_2 = h_1 + \Delta h_2, \quad h_3 = h_1 + \Delta h_3, \dots, \quad h_i = h_1 + \Delta h_i.$$

Заменяя в последнем уравнении h_1 его выражением из уравнения (3), получим

$$h_i = (R_{cp} - 0,5D) \operatorname{tg} \alpha + \Delta h_i, \quad (9)$$

где h_i — любая ордината развертки, а Δh_i — ее приращение.

Рассмотрев треугольники $0-1'-2$ и $0-2'-3$, найдем:

$$x'_1 = 0,5D \cos \gamma, \quad x_1 = 0,5D - 0,5D \cos \gamma = 0,5D(1 - \cos \gamma),$$

$$x'_2 = 0,5D \cos 2\gamma, \quad x_2 = 0,5D - 0,5D \cos 2\gamma = 0,5D(1 - \cos 2\gamma),$$

$$x'_i = 0,5D \cos m\gamma, \quad x_i = 0,5D(1 - \cos m\gamma).$$

Здесь m — число равных углов γ в рассматриваемом углу окружности; $\gamma = \frac{360}{n}$, где n — число образующих, длины которых следует определить для построения развертки (число равных делений окружности на фиг. 2).

Из треугольников abc и ade найдем

$$bc = \Delta h_2 = x_1 \operatorname{tg} \alpha, \quad de = \Delta h_3 = x_2 \operatorname{tg} \alpha,$$

$$\Delta h_i = x_i \operatorname{tg} \alpha = 0,5D(1 - \cos m\gamma) \operatorname{tg} \alpha.$$

Заменяя Δh_i в уравнении (9) его выражением из последнего уравнения, получим

$$h_i = (R_{cp} - 0,5D) \operatorname{tg} \alpha + 0,5D(1 - \cos m\gamma) \operatorname{tg} \alpha.$$

Преобразуя последнюю зависимость, найдем

$$h_i = (R_{cp} - 0,5D \cos m\gamma) \operatorname{tg} \alpha. \quad (10)$$

Последнее уравнение дает возможность определить длину любой образующей концевых звеньев колен с любым углом изгиба β , любым средним радиусом кривизны R_{cp} и любым числом звеньев N . Заменяя R_{cp} в последнем уравнении его выражением из уравнения (7), найдем

$$h_i = 0,5D(1 - \cos m\gamma) \operatorname{tg} \alpha + 100. \quad (11)$$

Это уравнение дает значения размеров разверток концевых звеньев колен с любым углом изгиба, любым числом звеньев и средним радиусом изгиба, соответствующим значению минимальной образующей концевого звена $h_1=100$. Оно служит также для определения размеров разверток колен минимально-возможных габаритов всех диаметров.

Размер наименьшей образующей концевых звеньев колен (100 мм), исходя из которого получено уравнение (11), в случае необходимости может быть увеличен или уменьшен. Тогда при пользовании уравнением (11) постоянное слагаемое 100 мм заменяется вновь принятым увеличенным или уменьшенным размером минимальной образующей.

При $R_{cp}=D$ уравнение (10) принимает следующий вид

$$h_i = D(1 - 0,5 \cos m\gamma) \operatorname{tg} \alpha. \quad (12)$$

Это уравнение применяется, когда диаметры колен превышают значения их, найденные по уравнению (8), т. е. для случая $R_{cp}=D$, при котором минимальная образующая концевых звеньев колен всегда больше 100 мм.

§ 5. ПОСТРОЕНИЕ РАЗВЕРТОК

Из геометрического построения сварных многозвенных колен (см. § 2) следует, что длины образующих средних звеньев колен равны удвоенным длинам образующих концевых звеньев.

Конфигурации разверток концевых звеньев A и средних звеньев B (фиг. 1) приведены в § 6 и 7 (фиг. 4 и 7).

Для построения разверток звеньев на горизонтальной прямой (фиг. 4) откладывают длину окружности. Отложенный отрезок делят на n равных частей. Из точек делений восстанавливают перпендикуляры, на которых откладывают соответствующие длины образующих, найденные по уравнениям или таблицам.

Соединив концы отрезков, отложенных на перпендикулярах, плавной кривой, получают контур требуемой развертки.

Вследствие симметричности контуров разверток большинства фасонных элементов во всех приводимых ниже таблицах размеров образующих приводится число их, равное $0,5n+1$.

§ 6. ДВУХЗВЕННЫЕ КОЛЕНА

Уравнения и таблицы

Уравнения для расчета размеров разверток двухзвенных колен получим из соответствующих уравнений § 4, приняв в них угол α в соответствии с углом изгиба β и числом звеньев колен $N=2$.

Колена рациональных габаритов при $R_{cp} > D$.

Расчетные уравнения найдем из уравнения (11).