

УДК 621.643.4-238.7:006.354

Х. К. Кадеров, канд. техн. наук, доцент, **С. О. Киреев**, д-р. техн. наук, проф.,
А. А. Громов, магистрант, **Е. Ю. Куцаева**, ассистент.
Донской государственный технический университет
Россия, г. Ростов-на-Дону
Тел: +7(989)6234146; E-mail: spu-45.2@donstu.ru

РАСЧЕТЫ НА ГЕРМЕТИЧНОСТЬ СОЕДИНЕНИЙ ТРУБОПРОВОДОВ И РУКАВОВ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ ПРИ УПЛОТНЕНИИ ВРЕЗАЮЩИМИСЯ КОЛЬЦАМИ

В статье изложено определение максимально допустимого давления в соединениях трубопроводах с уплотнениями врезающимися кольцами по аналогии расчета силы среза поверхностного слоя металла при наружном протягивании. Найдена глубина врезки кромки врезающегося кольца в наружную поверхность трубы. Выполнена оценка принятых стандартами требований к резьбовым соединениям.

Ключевые слова: кромка, глубина врезки, сила среза, допускаемое давление, запаса прочности.

H. K. Kaderov, S. O. Kireev, A. A. Gromov, E. Y. Kuzaeva

CALCULATIONS FOR THE SEAL OF PIPELINE CONNECTIONS AND HIGH PRESSURE HOSES WHEN SEALING WITH CROSSING RINGS

The article describes the definition of the maximum permissible pressure in the pipeline connections with seals cutting rings by analogy to the calculation of the shear force of the metal surface layer during external stretching. The depth of penetration of the edge of the cutting ring into the outer surface of the pipe was found. The evaluation of the requirements to threaded connections accepted by the standards is carried out.

Keywords: edge, depth of cut, power cut, allowable pressure, the safety margin

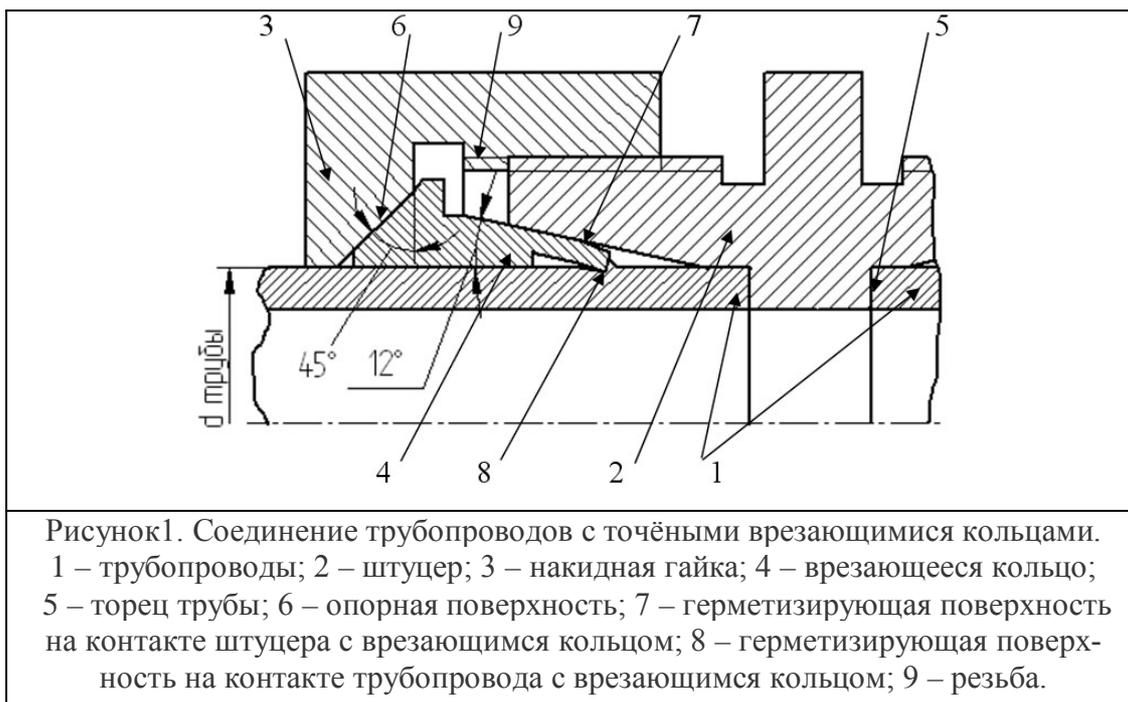
Трубопроводы являются одними из самых распространенных продуктов деятельности человечества. Их применяют для транспортировки продуктов в разнообразном состоянии, передачи движения и силового воздействия [1]. В нефтегазовой отрасли они имеют широкое применение для выполнения указанных функций: в нефтедобывающем оборудовании – гидроприводы для станков-качалок, различных типов насосов, перераспределения или смещения потока газа или жидкости с помощью манифольдов.

Неизбежным составляющим и одновременно уязвимым местом трубопроводов являются соединения. Главная проблема в них – это герметичность. Существует огромное количество способов и конструкций, разработанных для уплотнения соединений трубопроводов и рукавов высокого давления (РВД). В настоящее время наибольшее распространение имеют быстро разъемные соединения (БРС) – в основном резьбовые.

Как сказано, главное требование к соединениям трубопроводов и РВД является герметичность. Одним из наиболее надежных считают уплотнения с помощью врезающихся колец. Размеры и требования к ним регламентирован ГОСТ 23354-78 [2]. На рис.1. представлена конструкция соединения с врезающимися кольцами, полученными механической обработкой из прутковой стали.

Сборка соединения осуществляется следующим образом (см. рис.1). Сначала на трубопровод надевают накидную гайку, а затем врезающееся кольцо. После этого в штуцер вставляют трубопровод и продвигают его до тех пор, пока он своим торцом не упрётся в ступень штуцера. Далее навинчивают накидную гайку на штуцер. В это время опорная поверхность накидной гайки взаимодействует с врезающимся кольцом и

перемещает его во внутрь конической поверхности штуцера. Вследствие этого происходит обжатие врезающегося кольца, которое своей кромкой врежется в трубопровод и образует в нём герметизирующий буртик 8.



Однако точёные кольца имеют ряд недостатков:

1. Они достаточно дороги, так как более 60% металла при их изготовлении уходит в стружку.

2. Наличие резких переходов и перерезанные волокна металла при механической обработке негативно влияют на их стойкость, так как в процессе эксплуатации кольца переносят знакопеременные и вибрационные нагрузки.

3. Кроме того, точёные врезающиеся кольца требуют высокой точности изготовления сопрягаемых деталей и тщательности при сборке, что почти невозможно выполнить при необходимости установки их в полевых условиях.

Альтернативой точёным являются штампованные кольца из трубного или листового проката. По сравнению с точёными кольцами штампованные обладают меньшей металлоёмкостью и трудоёмкостью вследствие чего они дешевле точёных колец в несколько раз. При этом штампованные кольца не имеют резких переходов, усталостная прочность, как известно у них гораздо выше, чем у точёных колец, и они менее капризны при установке их в полевых условиях. На рис. 2 представлена конструкция соединения трубопроводов со штампованным кольцом [3] – Патент РФ № 2180067. Преимущество штампованного кольца заключается ещё и в том, что оно способно аккумулировать большую, чем у точёных колец потенциальную энергию.

Вместе с тем давление в соединениях с врезающимися кольцами ограничено в зависимости от соотношения наружного диаметра трубы и толщины стенки значением 63 МПа в соответствии с ГОСТ 15763-91.

Настоящий стандарт распространяется на резьбовые соединения трубопроводов общемашиностроительного применения и их детали, работающие в условиях неагрессивных сред при температуре от минус 50 до плюс 120 град. С и номинальном (услов -

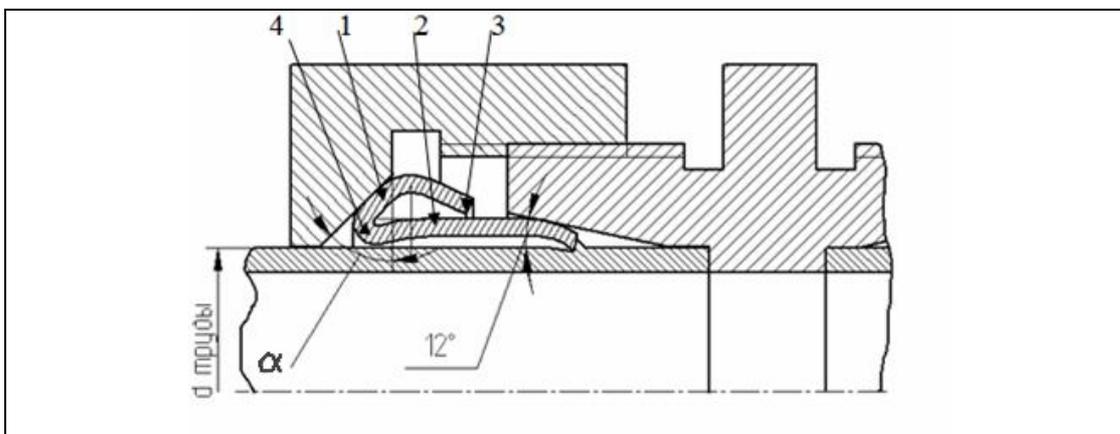


Рисунок.2. Соединение с врезающимся кольцом по патенту РФ № 2180067
 1 – бандаж; 2 – стенка кольца; 3 – внутренняя кромка бандажа; 4 – участок перехода стенки 2 кольца к бандажу 1.

ном) давлении до 63 МПа в зависимости от вида соединения, сортамента труб и применяемых материалов, и может быть использован для сертификации.

В табл. 1 представлена выборка из Приложения 2 ГОСТ 15763-91, в котором указаны допускаемые давления для резьбовых соединений с различными видами уплотнений. Обозначения размеров в мм: D и d – наружный и внутренний диаметры трубы соответственно, s – толщина ее стенки. Указанный в ГОСТ 15763-91 запас прочности $n = 4$.

Таблица 1.

D	d	s	Допускаемое давление, МПа, для стали	
			10	20
6,0	4,4	0,8	27,1	31,6
	4,0	1,0	34,6	40,4
8,0	6,0	1,0	25,2	29,4
	5,0	1,5	39,4	46,0
12,0	10,0	1,0	16,2	24,3
	9,0	1,5	25,2	29,4
20,0	17,0	1,5	14,5	16,9
	16,0	2,0	19,8	23,0

Следует отметить, что в табл. 1 данные не отражают конкретного вида уплотнений. С целью оценки приведенных значений и запаса прочности предложено рассчитывать предельные давления в соединениях трубопроводов с врезающимися кольцами из условия, что осевая сила F_o , возникающая при максимальном давлении, не должна превышать силы F_{cp} , необходимой для среза поверхностного слоя трубы.

$$F_o \leq F_{cp} \tag{1}$$

Осевую силу F_o определим, как функцию давления в трубопроводе p и площади торца трубы A

$$F_o = p \cdot A, \tag{2}$$

где

$$A = \pi \cdot (D^2 - d^2) / 4. \tag{3}$$

Тогда формулу для давления p записать в виде

$$p = F_{cp} / A. \tag{4}$$

Силу среза F_{cp} найдем по аналогии расчета силы среза поверхностного слоя металла – конструктивной подачи на один зуб (лезвие) инструмента (протяжки) [5] – при наружном протягивании

$$F_{cp} = \pi \cdot D \cdot Ps, \tag{5}$$

где Ps – сила резания на 1 мм длины лезвия протяжки.

Допускаемое давление в трубопроводе $[p]$ с учетом коэффициента запаса $n = 4$.

$$[p] = 4 \cdot p. \tag{6}$$

Исходные данные для расчета силы среза отображены в табл. 2 в соответствии с [6].

Таблица 2.

Силы резания на 1мм длины лезвия протяжки Ps , Н/мм

Подача на зуб S_z , мм	Обрабатываемый материал							
	Углеродистая сталь			Легированная сталь			Чугун серый	
	HB<197	HB 197+229	HB>229	HB<197	HB 197+229	HB>229	HB≤180	HB>180
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,010	65	71	85	76	85	91	55	75
0,020	95	105	125	126	136	158	81	89
0,025	109	121	144	142	152	168	93	103
0,030	123	135	151	157	169	186	104	116
0,04	143	158	187	184	198	218	121	134
0,05	163	181	216	207	222	245	140	155
0,06	177	195	232	238	256	282	151	166
0,07	195	217	258	260	282	312	167	184
0,075	202	226	269	270	292	325	173	192
0,080	213	235	280	280	302	335	180	200
0,090	231	255	304	304	328	362	195	216
0,100	247	273	325	328	354	390	207	226
0,110	266	294	350	351	381	420	226	254
0,120	285	315	375	378	407	450	243	268
0,125	294	325	387	390	420	465	250	279
0,130	304	336	398	403	434	480	258	285
0,14	324	357	425	423	457	505	273	303
0,15	342	379	450	445	480	530	290	321
0,16	360	398	472	471	510	560	305	336
0,17	378	416	496	495	536	592	320	353
0,18	395	436	520	525	565	625	334	370
0,19	411	455	540	555	600	662	346	388
0,20	427	473	562	576	620	685	360	402

Подача на зуб S_z аналогична глубине врезки кромки врезающегося кольца в наружную поверхность стальной трубы. Выполнив расчеты по формулам (1-6), можно проверить соответствие указанных параметров – глубину врезки и подачу на зуб S_z . Результаты проведенных вычислений с использованием указанных формул отражены в табл. 3. Данные о характеристике трубы при расчетах выбраны для сталей с твердостью $H < 197$ HB и $H = 197 \dots 229$ HB (см. табл. 2).

Анализ результатов вычислений по предложенной расчетной схеме позволяет сделать вывод, что требованиям к допускаемым давлениям p ($p \leq 63$ МПа) для материалов труб – сталей 10 и 20 – соответствует глубина врезки кромки врезающегося кольца в поверхность трубы в пределах 0,05...0,10 мм.

Таблица 3

Диаметр трубы, D , мм	Диаметр отв. трубы, d , мм	Подача на зуб (глубина врезки) $S_z=0,05$ мм				Подача на зуб (глубина врезки) $S_z=0,1$ мм			
		Сталь 10 H<197 НВ		Сталь 20 H=197...229 НВ		Сталь 10 H<197 НВ		Сталь 20 H =197...229 НВ	
		$F_{ср}$, Н	$[p]$, МПа	$F_{ср}$, Н	$[p]$, МПа	$F_{ср}$, Н	$[p]$, МПа	$F_{ср}$, Н	$[p]$, МПа
6,0	4,4	3072	58,77	3411,8	65,3	3468,3	66,3	3713	71
	4,0	3072	48,9	3411,8	54,3	3468,3	55,2	3713	59,1
8,0	6,0	4097	46,5	4549,0	51,7	4624	52,5	4951	56,3
	5,0	4097	33,4	4549,0	37,1	4624	37,7	4951	40,4
12,0	10,0	6145	44,4	6823,5	49,4	6936,6	50,2	7427	53,7
	9,0	6145	31	6823,5	34,5	6936,6	35,0	7427	37,5
20,0	17,0	10242	29,4	11372,5	32,6	11561	33,1	12378	35,5
	16,0	10242	22,6	11372,5	25,1	11561	25,5	12378	27,4

Выводы

1. Предложена расчетная схема для определения допускаемых давлений в соединениях трубопроводов высокого давления и РВД.
2. Результаты вычислений по предложенным формулам позволили определить глубину врезки кромки врезающегося кольца в поверхность трубы.
3. Изложенная методика расчета параметров соединения трубопроводов с врезающимися кольцами позволяют выполнить оценку требований стандарта и одновременно провести их уточнения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кадеров, Х. К. Моделирование формы уплотнительных элементов гидравлических соединений / Х. К. Кадеров, А. С. Юдин // Труды V Международной конференции, г. Ростов-на-Дону, 12-14 октября 1999 г. – Т.2. – Ростов-на-Дону: Издательство СКНЦ ВШ, 2000 г. – С. 115-119.
2. Колесников, Л. П. Соединения трубопроводов: Справочник / Л. П. Колесников, В. Ф. Курочкин, Б. В. Максимовский и др. – Изд-во стандартов, 1988. – Т. 1. – Ч. 1 – 336 с.
3. Соединение трубопроводов (соединение трубопроводов с металлическими кольцами, которые врезаются в стенку трубы) пат. 2374547 РФ F16L19/08 / Кадеров Х. К., Кадеров Ш. Х. – № 2008124037/06; заявл. 11.06.2008; опубл. 27.11.2009.
4. Кирсанов, С. В. Резание материалов и режущий инструмент. Расчет фасонных резцов и протяжек для обработки круглых отверстий: учебно-методическое пособие по курсовому проектированию / С.В. Кирсанов. – Томск: Изд-во томского политехнического университета, 2010. – 79 с.
5. Киреев, Г. И. Расчет и проектирование протяжек. В 2 ч. Ч. 2. Наружные плоские и круглые протяжки: учебное пособие / Г. И. Киреев, В. В. Демидов, М. Ю. Смирнов. – Ульяновск: УлГТУ, 2005. – 78 с.

Поступила в редколлегию 02.05.2018 г.