

УДК 621.6.036

**РАЗРАБОТКА ЦЕЛЕВОЙ ФУНКЦИИ, УСТАНОВЛИВАЮЩЕЙ  
ТРЕБОВАНИЯ ПО ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ РАЗРУШЕНИЯ  
ФИЛЬТРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ В УСТАНОВКАХ ОЧИСТКИ  
ПРИРОДНОГО ГАЗА**

Усачев А.П., Густов С.В.

*Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А.,*

Шурайц А.Л., Шерстюк П.В.  
*ОАО «Гипрониигаз», г. Саратов*

*e-mail: usachev-ap@mail.ru*

***Аннотация.** В статье приведена целевая функция, устанавливающая требования по предотвращению разрушения фильтрующих элементов в устройствах по очистке природного газа.*

*Целевая функция позволяет определить диаметр отверстий в опорной обечайке, при значении которого обеспечивается необходимая прочность и целостность с одной стороны корпуса самой опорной перфорированной обечайки, нагруженной предельным наружным давлением, а с другой стороны полностью засоренных участков фильтрующей сетки, в местах их прижатия предельным наружным давлением к круглым отверстиям опорной обечайки. Установлено, что при повышении наружного давления выше предельного происходит полное складывание продольных гофр вокруг опорной цилиндрической обечайки. В этом случае на каждую единицу поверхности опорной обечайки приходится не менее пяти рядов сетки, уложенных одна на другую, что обеспечивает дополнительный запас прочности фильтрующего элемента.*

***Ключевые слова:** природный газ, твердые частицы, установка очистки, регулирующая, защитная и предохранительная арматура, газорегуляторный пункт, предотвращение, разрушение, целевая функция, плетеная металлическая сетка, фильтрующий элемент, целевая функция.*

Широкие масштабы применения газорегуляторных пунктов (ГРП) в комплексе с установками грубой очистки (УГО) природного газа (ПГ) высокой пропускной способности 200-500,0 тыс. м<sup>3</sup>/ч в газораспределительных системах России, потребовали введения в действие новых нормативных документов [1,2,3], согласно которым на этих объектах следует обеспечивать высокую степень надежности и безопасности.

В тоже время выпускаемые установки грубой очистки, применяемые в составе таких ГРП, не обеспечивают требуемый уровень безопасности и, в том

числе, не имеют устройств защиты, предотвращающих разрушение фильтрующих элементов (ФЭ) при повышении перепада давления на нем до предельного значения.

С целью предотвращения разрушения ФЭ и, таким образом, исключения распространения отвердевших скоплений твердых частиц и обломков фильтрующих сеток за пределы установки очистки были предложены соответствующие технические решения [4], приведенные на рис. 1.

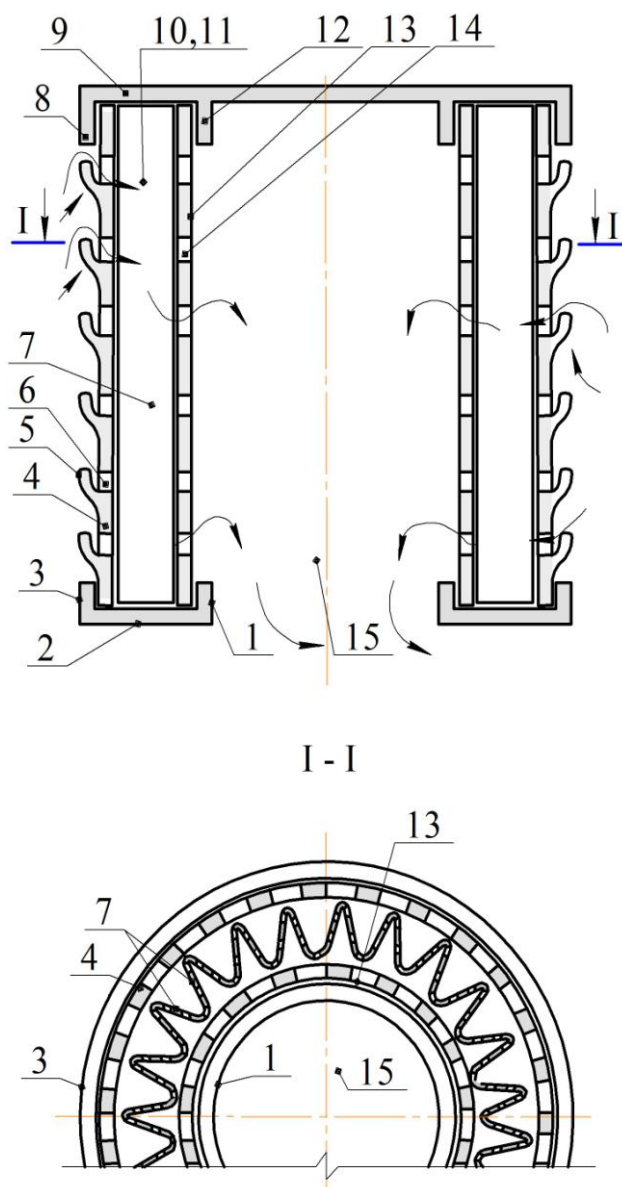


Рис. 1. Схема предлагаемой конструкции защитной оболочки фильтрующего элемента сетчатого типа: 1,3 - внутренняя и наружная кольцеобразные стенки основания; 2 - основание; 4- наружная защитная цилиндрическая обечайка; 5 - лепесток-отбойник наружной защитной цилиндрической обечайки; 6 - отверстия в наружной защитной обечайке; 7 - фильтрующий элемент; 8, 12 - наружная и внутренняя кольцеобразные стенки крышки; 9 - крышка; 10 - ячейка фильтрующей сетки; 11 - фильтрующая сетка; 13- внутренняя опорная обечайка (ВОО); 14 - отверстия во внутренней защитной цилиндрической обечайке; 15 - отверстие в основании для выхода очищенного газа.

*Защита* от повреждения сетки со стороны входа в фильтрующий элемент неочищенного газа осуществляется путем установки наружной защитной цилиндрической обечайки 4 из металлического листа с отверстиями, оснащенными отбойниками 5, отогнутыми в сторону входа неочищенного газа таким образом, чтобы размеры сечения для прохода газа были меньше размеров обломков, при значениях которых возможно повреждение фильтрующей сетки, находящейся за наружной обечайкой 4 по ходу течения газа.

Опорная защитная обечайка 13 предназначена для переноса на нее предельного наружного давления, оказываемого на полностью засоренную гофрированную сетку фильтрующего элемента и для предотвращения ее разрушения. Все поверхности обечайки 13, как и других элементов ФЭ следует покрывать антикоррозионными составами с таким же сроком службы, как и для корпуса УГО. За величину предельного наружного давления, согласно [5] принимается 20,0 кПа.

В условиях эксплуатации защитная оболочка из двух обечаек работают следующим образом. Неочищенный ПГ через отверстия 6 (рис. 1) в наружной обечайке 4 поступает в фильтрующий элемент 7. Соударяясь с наружной поверхностью обечайки 4 и ее лепестков - отбойников 5 твердые частицы и крупные твердые обломки частично оседают на них и затем падают вниз в накопитель УГО. Очищенный природный газ проходит из фильтрующего элемента 7 в отверстия 14 внутренней опорной обечайки 13 и затем через отверстие 16 в основании 2 поступает в выходной патрубок УГО. В результате постепенного засорения, фильтрующая сетка 7 превращается в сплошную поверхность, нагруженную наружным перепадом давления. При повышении перепада давления сверх предельного значения фильтрующая сетка 7 деформируется, прогибается внутрь, прижимается к внутренней обечайке 13, принимает ее конфигурацию, полностью перенося на нее действие перепада давления. Кольцевые ребра 1 и 12 ограничивают перемещения внутренней цилиндрической обечайки 13 под действием перепада давления.

Анализ показывает, что для успешного применения предлагаемой конструкции ВОО ФЭ необходимо знать основные расчетные параметры, обеспечивающие безопасную эксплуатацию и в первую очередь диаметр отверстий в боковой поверхности опорной обечайки, при значении которых достигается ее необходимая прочность и целостность. В настоящее время отсутствуют методы и функциональные зависимости по определению диаметра отверстий опорной обечайки в зависимости от параметров, обеспечивающих укрепление стенок и прочность ВОО.

*Исходя из назначения опорной обечайки и условий применения, целью данной работы является разработка целевой функции по определению диаметра отверстий в ее боковой поверхности, при значении которых обеспечивается необходимая прочность и целостность:*

- с одной стороны корпуса самой опорной перфорированной обечайки, нагруженной предельным наружным давлением;

- с другой стороны полностью засоренных участков фильтрующей сетки, в местах их прижатия к круглым отверстиям опорной обечайки предельным наружным давлением.

Схема цилиндрической перфорированной обечайки, с плотно прижатой к ней сеткой ФЭ приведена на рис. 2.

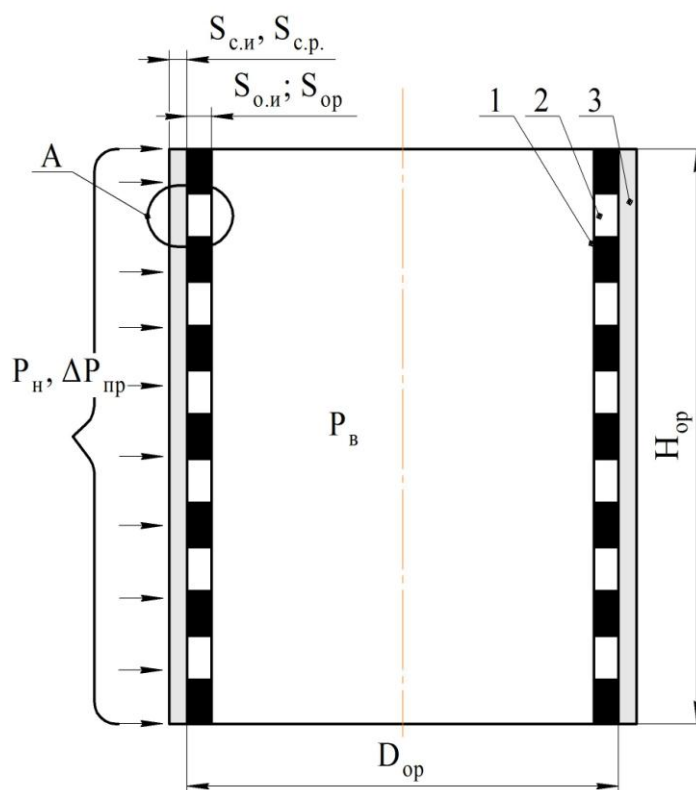


Рис. 2. Расчетная схема опорной цилиндрической обечайки с плотно прижатой к ней сеткой фильтрующего элемента в условиях его полного засорения.

1 – стенка опорной обечайки; 2 – круглое отверстие; 3 – одна или ряд сеток фильтрующего элемента.

В экстремальных условиях на боковую цилиндрическую поверхность действует наружное избыточное давление, численно равное предельно допустимому перепаду давления.

Диаметр отверстий в опорной обечайке является целевой функцией от исполнительных и расчетных толщин стенки  $S_{о.и}$ ,  $S_{о.р}$ , диаметра  $D_{о.р}$ , высоты  $H_{о.р}$  обечайки, толщин фильтрующей сетки  $S_{с.и}$  и определяется следующим образом:

$$d(S_{о.и}, S_{о.р}, D_{о.р}, H_{о.р}, S_{с.и}) = \min \left\{ \begin{array}{l} 2 \left( \frac{S_{о.и} - C_o}{S_{о.р} (H_{о.р})} - 0,8 \right) \sqrt{D_{о.р} (S_{о.и} - C_o)}; \\ \frac{S_{с.и} - C_c}{K_c \cdot K_o \sqrt{P / [\sigma_c]}} \end{array} \right\} \quad (1),$$

где:  $S_{0,и}$ ,  $S_{0,р}$  – соответственно, фактическая (исполнительная) и расчетная толщина цилиндрической стальной обечайки, мм;

$C_0$  – суммарная поправка к толщине стальной обечайки, обусловленная коррозией и эрозией, технологией изготовления и минусовым допуском на тонкий стальной лист, мм;

$D_{0,р}$ ,  $H_{0,р}$  – расчетные наружные диаметр и высота цилиндрической опорной обечайки, мм;

$S_{с.и}$  – фактическая (исполнительная) толщина фильтрующей сетки из нержавеющей стали, мм;

$C_c$  – суммарная поправка к толщине сетки, обусловленная коррозией и эрозией, технологией изготовления и минусовым допуском на тонкий лист из нержавеющей стали, мм;

$K_c$  – коэффициент, зависящий от конструкции плоской пластины (полностью засоренной фильтрующей сетки), прижатой к отверстию опорной обечайки;

$K_0$  – коэффициент ослабления прочности плоской пластины, имеющей ряд отверстий, расположенных в коридорном порядке;

$[\sigma_c]$  – допускаемое напряжение нержавеющей стали, из которой изготовлена сетка ФЭ при расчетной температуре, МПа.

Диаметр отверстий опорной обечайки в целевой функции (1), рассчитывается отдельно по каждой из двух формул, входящих в нее, после чего выбирается минимальное значение из двух полученных, согласно (1).

Рассмотрим определение диаметра отверстий по каждой из двух формул, составляющих целевую функцию (1), более подробно.

### **1. Определение диаметра отверстий в цилиндрической стальной обечайке, в зависимости от ее геометрических и конструктивных параметров.**

Полый перфорированный цилиндр из стального листа представим как цилиндрическую стальную обечайку, имеющую ряд круглых отверстий и нагруженную предельным наружным давлением (рис. 3). При этом, высота обечайки  $H_{0,р}$ , в соответствии с [6], будет больше чем  $D_{0,р}$ , то есть  $H_{0,р} > D_{0,р}$ .

Круглые отверстия 2 в цилиндрической стальной обечайке 1 диаметром  $d$  (рис. 3), расположенные в коридорном порядке, примем согласно [7], как «одиночные» и, не имеющие дополнительного укрепления.

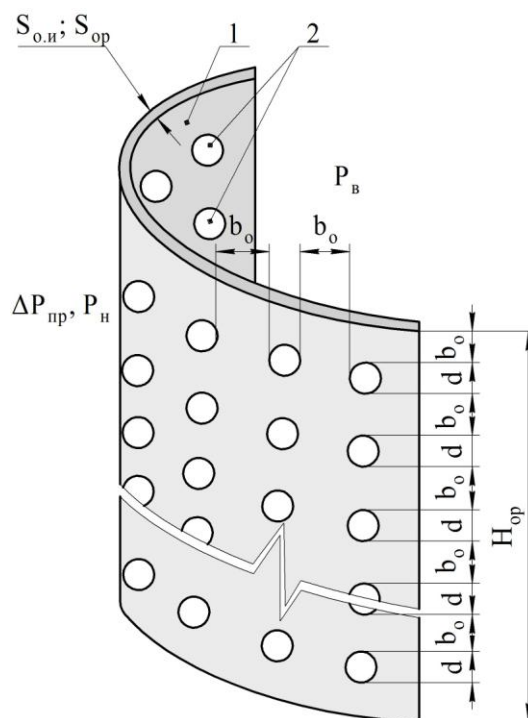


Рис. 3. Опорная цилиндрическая обечайка с рядом круглых отверстий, расположенных в коридорном порядке

1- опорная цилиндрическая оболочка; 2 – круглое отверстие для прохода газа.

Если величина диаметра отверстий, определенная в этом случае, будет удовлетворять необходимой пропускной способности установки очистки, то полученное значение диаметра можно принять как окончательное.

Согласно [7,8], отверстие считается «одиночным», если ближайшее к нему отверстие не ослабляет прочность обечайки, что имеет место, когда расстояние между краями всех отверстий (рис. 3) удовлетворяет условию:

$$b_0 \geq 2\sqrt{d(S_{o.н} - C_o)}. \quad (2)$$

Следует отметить, что отсутствие дополнительного укрепления отверстий в выражении целевой функции (1), предусматривает наличие избыточной фактической (исполнительной) толщины  $S_{o.н}$  обечайки 1 (рис. 3), по сравнению с расчетной  $S_{o.р}$ . Дополнительное укрепление отверстий осуществляется, как правило, путем устройства вокруг них накладок определенной толщины [9,10,11]. В данном случае, такой конструктивный прием мало приемлем, вследствие частого расположения отверстий с шагом  $b_0$ . Поэтому, более предпочтительным, здесь, является устройство обечайки с избыточной фактической толщиной  $S_{o.н}$ .

Диаметр цилиндрической стальной обечайки, имеющей ряд «одиночных» круглых отверстий, не требующих дополнительного укрепления в выражении целевой функции (1), определяемый согласно [7]

$$d = 2 \left( \frac{S_{o,и} - C_o}{S_{o,p}} - 0,8 \right) \sqrt{D_{o,p} (S_{o,и} - C_o)}, \quad (3)$$

существенно зависит от исполнительной толщины ее стенки  $S_{o,и}$ , которая в этом случае принимается с запасом по сравнению с расчетной  $S_{o,p}$ .

Анализ показывает, что в случае воздействия наружного давления, когда прочность обечайки определяется не только прочностью стенок, но и устойчивостью конструкции в пределах упругости, при  $H_{o,p} > D_{o,p}$ , ее расчетная толщина определяется согласно [8,10], по формуле:

$$S_{o,p} = 1,06 \frac{10^{-2} D_{o,p}}{0,47 \left( \frac{P}{10^{-5} E} \right)^{0,067} \left( \frac{H_{o,p}}{D_{o,p}} \right)^{0,4}} \left( \frac{\Delta P_{пр} H_{o,p}}{10^{-5} E D_{o,p}} \right)^{0,4}, \quad (4)$$

где:  $\Delta P_{пр}$  – предельный перепад давления, оказываемый на опорную обечайку, МПа;

$E$  – модуль продольной упругости материала обечайки, то есть стали, при расчетной температуре, МПа.

*Балансовое уравнение к целевой функции (1)*, обеспечивающее условие прочности и устойчивости опорной цилиндрической обечайки, нагруженной наружным давлением, сформулируем как:

$$[P] \geq \Delta P_{пр}, \quad (5)$$

где:  $\Delta P_{пр}$  – предельный перепад давления на опорной цилиндрической обечайке при полном засорении ФЭ твердыми частицами, МПа, согласно [5] принимается 20,0 кПа;

$[P]$  – Допускаемое наружное давление в пределах прочности и устойчивости, которое должна выдержать конструкция опорной цилиндрической обечайки при  $H_{o,p} > D_{o,p}$ , МПа.

Допускаемое наружное давление, определяемое, исходя из условий прочности и устойчивости опорной цилиндрической обечайки, определяется:

$$[P] = [P]_{п} / \sqrt{1 + ([P]_{п} / [P]_{Е})^2}, \quad (6)$$

где:  $[P]_{п}$  – допускаемое наружное давление из условия прочности опорной цилиндрической обечайки, МПа;

$[P]_{Е}$  – допускаемое наружное давление из условий устойчивости в пределах упругости [8,9], МПа:

Допускаемое наружное давление из условия прочности ВОО[8,9]:

$$[P]_{п} = [2 \cdot [\sigma_o] \cdot (S_{o,и} - C_o) / (D + (S_{o,и} - C_o)), \quad (7)$$



где  $[\sigma_0]$  – допускаемое напряжение стали, из которой изготовлена опорная обечайка ФЭ при расчетной температуре, МПа.

Допускаемое наружное давление из условий устойчивости в пределах упругости опорной цилиндрической обечайки [8,9]:

$$[P]_E = (20,8 \cdot 10^{-6} \cdot E / (B_1 \cdot n_y) \cdot (D_{o,p} / H_{o,p}) \cdot [100 \cdot (S_{o,и} - C_o) / D]^{2,5}; \quad (8)$$

$$B_1 = 9,45 \cdot (D_{o,p} / H_{o,p}) \cdot \sqrt{(D / 100 \times (S_{o,и} - C_o))}. \quad (9)$$

Здесь:  $n_y$  – коэффициент запаса устойчивости ВОО, [8,10].

Допускаемое напряжение при расчете по предельным нагрузкам в уравнении (7) для стальных обечаек определяется по формуле [8,9]:

$$[\sigma_0] = \eta \cdot \min (R_e / n_T ; R_m / n_B), \quad (10)$$

где:  $\eta$  – поправочный коэффициент к допускаемым напряжениям;

$R_e$  – минимальное значение условного предела текучести при расчетной температуре, МПа;

$R_m$  – минимальное значение предела прочности при расчетной температуре, МПа;

$n_T, n_B$  – коэффициенты запаса прочности, соответственно по пределам текучести и временной прочности [8,9].

После подстановки (6)-(9) балансовое уравнение (5), описывающее условие прочности опорной цилиндрической обечайки, принимает следующий вид:

$$\frac{[2 \times [\sigma_0] \times (S_{o,и} - C_o) / (D_{o,p} + (S_{o,и} - C_o))]}{\left\{ \frac{1 + [2 \times [\sigma_0] \times (S_{o,и} - C_o) / (D_{o,p} + (S_{o,и} - C_o))]}{[20,8 \times 10^{-6} \times E / [9,45 n_y \times (D_{o,p} / H_{o,p}) \cdot \sqrt{(D_{o,p} / 100 \times (S_{o,и} - C_o))}] \times (D_{o,p} / H_{o,p}) \cdot [100 \times (S_{o,и} - C_o) / D_{o,p}]^{2,5}} \right\}^2} \geq \Delta P_{пр}. \quad (11)$$

## 2. Определение диаметра отверстий в цилиндрической стальной обечайке, при котором достигается расчетная прочность прилегающих к ним круглых пластин (полностью засоренной сетки) такого же диаметра, способных выдержать предельно - допустимое давление.

Участок металлической фильтрующей сетки из нержавеющей стали, находящийся над круглым отверстием в опорной обечайке и прижатый к его краям наружным избыточным давлением, можно представить как круглую стальную пластину, которая сама содержит ряд отверстий, расположенных в коридорном порядке. Фрагмент одной из плоских пластин диаметром  $d$ , плотно прижатой к опорной обечайке в районе ее круглого отверстия приведен на рис. 4.



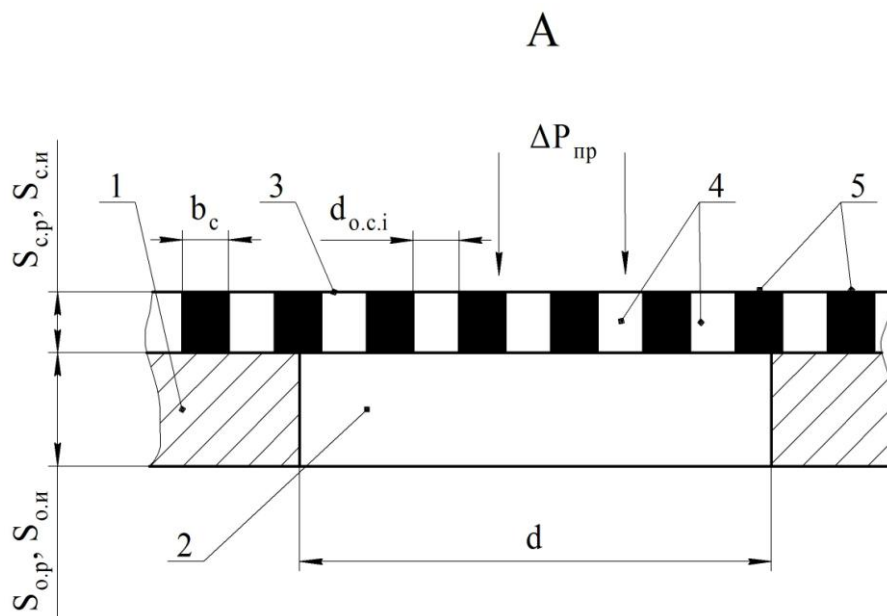


Рис. 4. Фрагмент одной из плоских пластин диаметром  $d$ , плотно прижатой к опорной обечайке в районе ее круглого отверстия диаметром  $d$   
 1 – стенка опорной цилиндрической обечайки; 2 – круглое отверстие обечайки; 3 – плоская круглая пластина; 4 – ряд отверстий в пластине; 5 – стенки пластины 3 между отверстиями 4.

Диаметр круглой плоской пластины (полностью засоренной фильтрующей сетки) в выражении целевой функции (1), имеющей ряд круглых отверстий, определяется в зависимости от толщины ее стенки по формуле:

$$d = \frac{S_{с.п} - C_c}{K_c \cdot K_o \sqrt{P / [\sigma_c]}}. \quad (12)$$

Значение коэффициента ослабления  $K_o$  для плоских пластин, имеющих ряд отверстий, определяют по формуле:

$$K_o = \sqrt{\frac{1 - \sum \left( \frac{d_{o.c.i}}{d} \right)^3}{1 - \sum \left( \frac{d_{o.c.i}}{d} \right)}}, \quad (13)$$

где  $d_{o.c.i}$  – эквивалентный диаметр  $i$ -того отверстия в плоской пластине, мм;  
 $d$  – расчетный диаметр плоской пластины, мм.

Поскольку фильтрующая сетка (плоская пластина) изготавливается с квадратными отверстиями, эквивалентный диаметр  $i$ -того круглого отверстия составит:

$$d_{o.c.i} = \sqrt{\frac{4F_{o.c.i}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4(a_{o.c.i} \cdot a_{o.c.i})}{\pi}}, \quad (14)$$

где:  $F_{o.c.i}$  – площадь  $i$  - того квадратного отверстия в сетке,  $\text{мм}^2$ ;

$a_{o.c.i}$  – размер стороны  $i$  - того квадратной отверстия в сетке,  $\text{мм}$ .

В целях количественной оценки результатов исследований были проведены расчеты по определению геометрических параметров опорной обечайки, нагруженной предельно допустимым наружным давлением.

Расчеты по определению геометрических параметров опорной обечайки и прижатой к ней плоской пластине (полностью засоренной фильтрующей сетке) проводились при следующих исходных данных.

### Исходные данные для расчета опорной обечайки

1. Наружные диаметр и высота цилиндрической стальной обечайки, соответственно:  $D_{o.p} = 100$   $\text{мм}$ ;  $H_{o.p} = 200$   $\text{мм}$ .

2. Предельно допустимое наружное давление (предельный перепад давления на фильтрующем элементе)  $\Delta P_{пр} = 0,02$   $\text{МПа}$  [5].

3. Фактическая (исполнительная) толщина цилиндрической стальной обечайки,

$S_{o.и} = 0,4$   $\text{мм}$ .

4. Суммарная поправка к толщине стальной обечайки, обусловленная коррозией и эрозией  $C_{o.1} = 0$ , технологией изготовления  $C_{o.1} = 0$  и минусовым допуском на тонкий стальной лист  $C_{o.3} = 0,05$   $\text{мм}$ , составляет  $C_o = C_{o.1} + C_{o.2} + C_{o.3} = 0 + 0 + 0,05 = 0,05$   $\text{мм}$ .

5. Материал цилиндрической опорной обечайки - низколегированная сталь марки 16ГС.

6. Модуль продольной упругости материала обечайки, то есть стали марки 16ГС, при расчетной температуре  $20^\circ\text{C}$  составляет,  $E = 1,99 \cdot 10^5$   $\text{МПа}$ .

7. Поправочный коэффициент к допускаемым напряжениям для стального листа,

$\eta = 1,0$  [8];

8. Минимальное значение условного предела текучести при расчетной температуре  $20^\circ\text{C}$ ,  $R_e = 300,0$   $\text{МПа}$ .

9. Минимальное значение предела прочности при расчетной температуре  $20^\circ\text{C}$ ,

$R_m = 470,0$   $\text{МПа}$ .

10. Коэффициенты запаса прочности, соответственно по пределам текучести  $n_T = 1,5$  и временной прочности  $n_B = 2,4$  [8].

*Исходные данные для расчета плоской пластины (полностью засоренной фильтрующей сетки)*

11. Фактическая (исполнительная) толщина фильтрующей сетки из нержавеющей стали,  $S_{с.и} = 0,055$  мм;

12. Суммарная поправка к толщине сетки, обусловленная коррозией и эрозией  $C_{с.1} = 0$ , технологией изготовления  $C_{с.2} = 0$  и минусовым допуском на сетку из нержавеющей стали  $C_{с.3} = 0,003$  мм, составляет  $C_c = C_{с.1} + C_{с.2} + C_{с.3} = 0 + 0 + 0,003 = 0,003$  мм.

13. Размер стороны  $i$ -того квадратной отверстия в сетке,  $a_{о.с.i} = 0,08$  м.

14. Эквивалентный диаметр  $i$ -того отверстия в плоской пластине согласно формуле (14),  $d_{о.с.i} = 0,09$  мм.

15. Материал плоской пластины (фильтрующей сетки) - нержавеющая сталь марки 12Х18Н10Т.

16. Допускаемое напряжение нержавеющей стали марки 12Х18Н10Т при расчетной температуре  $20^\circ\text{C}$  составляет,  $[\sigma_c] = 184$  МПа [8].

17. Коэффициент, зависящий от конструкции плоской пластины (полностью засоренной фильтрующей сетки), прижатой к отверстию опорной обечайки,  $K_c = 0,41$  [8].

### Решение

П.1. *Определение диаметра отверстий в цилиндрической стальной обечайке, в зависимости от ее геометрических и конструктивных параметров*

Вначале, для заданного отношения  $H_{о.р}/D_{о.р} = 200/100 = 2$ , по формуле (4) с учетом устойчивости конструкции, определяем расчетную толщину опорной обечайки ФЭ, не имеющей отверстий, нагруженной наружным давлением, которая составила  $S_{о.р} = 0,22$  мм.

Затем принимаем, что опорная обечайка ФЭ имеет избыточную фактическую толщину

$S_{о.и} = 0,4$  мм по сравнению с расчетной, равной  $S_{о.р} = 0,22$  мм. Избыточная толщина

$S_{о.и} - S_{о.р} = 0,4 - 0,22 = 0,18$  мм позволяет считать все отверстия обечайки, как «одиночные», то есть, когда не требуется других укрепляющих мероприятий. В этом случае, расстояние между краями всех «одиночных» отверстий согласно формуле (2) составит  $b_o = 4$  мм, а их диаметр по формуле (3) составит  $d = 8,0$  мм.

Проверка прочности и устойчивости обечайки с параметрами  $S_{о.и} = 0,4$  мм,  $S_{о.р} = 0,22$  мм,  $H_{о.р}/D_{о.р} = 2$ , проведенная согласно балансового уравнения (11) по предельным состояниям, показала, что допускаемое наружное давление, которое может выдержать обечайка, составляет  $[P] = 0,027$  МПа при предельном

давлении на нее в условиях эксплуатации  $\Delta P = 0,02 \text{ МПа}$ , то есть соблюдается условие  $[P] \geq \Delta P_{\text{пр}}$  или  $0,027 \geq 0,02$ .

Таким образом, диаметр отверстий в цилиндрической стальной обечайке, определенный в зависимости от ее геометрических и конструктивных параметров принимается равным  $d = 8,0 \text{ мм}$  при  $b_0 = 4 \text{ мм}$ .

*П.2. Определение диаметра отверстий в цилиндрической стальной обечайке, при котором достигается расчетная прочность прилегающих к ним круглых пластин (полностью засоренной сетки) такого же диаметра, способных выдержать предельно - допустимое давление.*

Вначале, по формуле (12) определялась расчетная толщина круглой пластины (полностью засоренной сетки) нагруженной наружным давлением, не имеющей отверстий, то есть при величине коэффициента ослабления, равном  $K_0 = 1,0$ , которая составила  $S_{c,p} = 0,03 \text{ мм}$ .

Затем, для заданной исполнительной толщины круглой пластины (фильтрующей сетки) из нержавеющей стали  $S_{c,и} = 0,055 \text{ мм}$  задаемся рядом значений ее диаметров  $d$  в формулах (12) и (13) и методом последовательных приближений добиваемся равенства левой и правой частей формулы (12). На первом шаге последовательных приближений можно в левую часть формулы (12) подставить значение диаметра отверстия  $d = 8 \text{ мм}$ , полученное при расчете опорной обечайки ФЭ в пункте П1. Затем, для этого значения диаметра пластины  $d = 8 \text{ мм}$ , при эквивалентном диаметре  $i$  - того отверстия в пластине, равном  $d_{o,c,i} = 0,09 \text{ мм}$  и при шаге между отверстиями  $b_c = 0,055 \text{ мм}$  определяем количество отверстий в диаметральной (наибольшем) сечении, которое составило:

$$n_{o,c} = d / (d_{o,c,i} + b_c) = 8,0 / (0,09 + 0,055) = 55 \text{ отв.} \quad (15)$$

Для полученного значения  $n_{o,c} = 55 \text{ отв.}$  по формуле (13) находим величину коэффициента ослабления отверстий  $K_0 = 1,5$  и подставляем ее в формулу (12). Если, при этих значениях  $n_{o,c}$  и  $K_0$  левая и правая части формулы (12) не сходятся, задаемся другим значением диаметра пластины  $d$ . Для нового значения  $d$  определяем соответствующие величины  $n_{o,c}$  и  $K_0$  и вновь проверяем сходимость левой и правой частей формулы (12). Последовательные приближения проводятся до достижения удовлетворительного схождения левой и правой частей формулы (12), равного 0,2%.

Проведенные расчеты показали, что схождение левой и правой частей формулы (12) с точностью 0,2%, достигается при значении диаметра пластины, равном  $d = 8,5 \text{ мм}$ .

Таким образом, диаметр отверстий в цилиндрической стальной обечайке, при котором достигается расчетная прочность прилегающей к ним круглой пластины (полностью засоренной сетки), принимается равным  $d = 8,5 \text{ мм}$ .

По результатам проведенных расчетов, из двух диаметров отверстий опорной обечайки в целевой функции (1), рассчитанных по П.1 -  $d=8,0$  мм и по П.2 -  $d=8,5$  мм выбираем минимальное значение равное  $d=8,0$  мм.

Следует отметить, что фактическая толщина сетки (пластины) будет намного больше, чем  $S_{с.и} = 0,055$  мм, поскольку конструкция фильтрующего элемента предусматривает возможность складывания продольных гофр с полностью засоренными сетками при повышении наружного давления выше предельного. Характер и направление складывания продольных гофр следуют из рисунка 5. Из рисунка видно, что поперечный разрез каждой гофры представляет собой незамкнутую неравностороннюю трапецию, имеющую длинную 2 и короткую 4 боковые стороны длиной  $L_d$  и  $L_k$  соответственно. Угол наклона длинной боковой стороны по отношению к радиальной линии  $\alpha$  обуславливает направление складывания гофр слева - направо (показано стрелкой), последовательность которого прослеживается по видам а), б) и в) рис. 5.

Из рисунка следует, что при полном складывании продольных гофр вокруг опорной цилиндрической обечайки, на каждую единицу ее периметра приходится  $m_c$  сеток, уложенных последовательно одна на другую:

$$m_c = (D_n - D_b) / (b_r + b_r/2), \quad (16)$$

где:  $D_n, D_b$  – соответственно, наружный и внутренний диаметр гофрированного фильтрующего элемента (рис.5.а)), мм;

$b_r$  – ширина гофры у ее основания, м;

$b_r/2$  – ширина между двумя соседними гофрами у их основания, м.

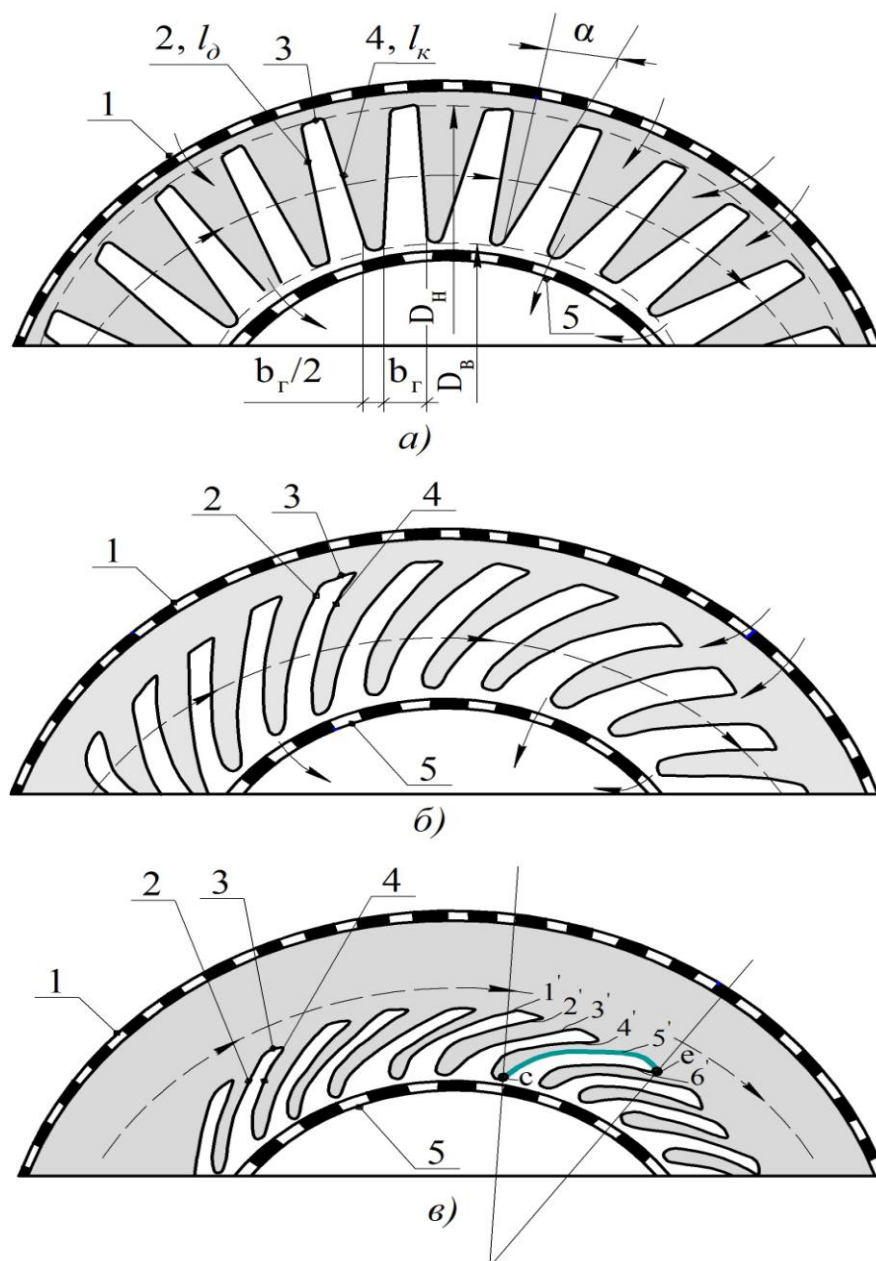


Рис. 5. Схема, показывающая последовательность складывания гофр фильтрующего элемента вокруг опорной обечайки

1 – наружная обечайка; 2, 4 – длинная и короткая боковые стороны продольной гофры;  
3 - торцевая сторона гофры; 5 - внутренняя опорная обечайка.

В этом случае, при значениях

$D_H = 72\text{мм}$ ,  $D_B = 30\text{мм}$ ,  $b_r = 5,0\text{ мм}$  и  $b_r / 2 = 2,5\text{ мм}$  количество сеток, уложенных одна на другую на каждую единицу периметра опорной обечайки согласно (16) составит:

$$m_c = (D_B - D_B) / b + b/2 = (72 - 30) / (5 + 2,5) = 5,6 \text{ шт.}$$

Примем 6 сеток. Иллюстрация к складыванию сеток  $1' \rightarrow 2' \rightarrow 3' \rightarrow 4' \rightarrow 5' \rightarrow 6'$  одна на другую между точками «С» и «Е» показана на рис. 5.в).

Таким образом, возможность складывания продольных гофр при повышении наружного давления выше предельного, когда на каждую единицу периметра опорной обечайки приходится  $m_c=6$  сеток, обеспечивает соответственно шестикратный запас прочности для сетки фильтрующего элемента.

### Выводы

1. Отсутствуют функциональные зависимости по определению диаметра отверстий в опорной обечайке для разработанного технического решения по предотвращению разрушения фильтрующих элементов путем переноса, оказываемого на нее наружного давления, на опорную цилиндрическую обечайку и, исключению тем самым попадания обломков сеток и скоплений твердых частиц в газовое оборудование, расположенное за ФЭ.

2. Предложена целевая функция (1) по определению диаметра отверстий в опорной обечайке, при значении которой обеспечивается необходимая прочность и целостность: с одной стороны корпуса самой опорной перфорированной обечайки, нагруженной предельным наружным давлением; с другой стороны полностью засоренных участков фильтрующей сетки, в месте их прижатия предельным наружным давлением к круглым отверстиям опорной обечайки.

3. Конструкция фильтрующего элемента предусматривает складывание продольных гофр с полностью засоренными сетками при повышении наружного давления выше предельного. Установлено, что при полном складывании продольных гофр вокруг опорной цилиндрической обечайки на каждую единицу ее поверхности приходится количество сеток  $m_c$ , уложенных одна на другую.

### Литература

1. ГОСТ Р 54960-2012. «Системы газораспределительные. Пункты газорегуляторные блочные и пункты редуцирования шкафные. Общие технические требования. М: «Росстандарт», 2012. 65 с.

2. СТО Газпромрегионгаз 7.1-2011. Технические требования к материалам, оборудованию и технологическим схемам блочных газорегуляторных пунктов, шкафных пунктов редуцирования газа / Система стандартизации ОАО «Газпромрегионгаз». СПб.: ОАО «Газпромрегионгаз», 2011. 33 с.



3. СП 62.13330.2011. Газораспределительные системы. Актуализированная редакция СНиП 42-01-2002. М.: Минрегион России, 2010. 66 с.
4. Разработка защитной оболочки фильтрующего элемента в установке очистки природного газа /Усачев А.П. и др. // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов: науч.-техн. журн./ГУП "ИПТЭР".2012. Вып. №3(89). С. 152-162.
5. Промышленное газовое оборудование: справочник. 5-е изд., перераб. и доп./Под ред. Карякина Е.А. Саратов: Газовик, 2010. 992 с.
6. Разработка математической модели оптимизации формы фильтров, размещаемых в шкафных газораспределительных пунктах /Усачев А.П. и др. // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов: науч.-техн. журн./ГУП "ИПТЭР".2010. Вып. 4 (82). С. 145-155.
7. ГОСТ Р52857.3-2007. Нормы и методы расчета на прочность. Укрепление отверстий в обечайках и днищах при внутренних и внешних давлениях. Расчет на прочность обечаек и днищ при внешних статических нагрузках на штуцер. М.: Стандартиформ, 2008. 43 с.
8. ГОСТ Р52857.2-2007. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет цилиндрических и конических обечаек, выпуклых и плоских днищ и крышек. М.: Стандартиформ, 2009. 42 с.
9. РД10-249-98. Нормы расчета на прочность стационарных котлов и трубопроводов пара и горячей воды. Утверждены постановлением Госгортехнадзора России № 50 от 25.08.08.1998г. М., 1999. 172 с.
10. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов/ В.И. Феодосьев. М.: Наука, 1974. 560с.
11. Нерубайло Б.В. Локальные задачи прочности цилиндрических оболочек/ Б.В. Нерубайло. М.: Машиностроение, 1983. 248 с.

**DEVELOPMENT OF TARGET FUNCTION,  
DETERMINING REQUIREMENTS FOR PREVENTION OF DESTRUCTION  
OF FILTERING ELEMENTS IN NATURAL GAS TREATMENT PLANTS**

Usachev A.P., Gustov S.V.  
*Saratovskiy State Technical University named after Yuri Gagarin*

Shuraitis A.L., Sherstyuk P.V.  
*OAO "Giproniigaz", Saratov*

*e-mail: usachev-ap@mail.ru*

**Abstract.** *The article describes target function, determining requirements for prevention of destruction of filtering elements in natural gas treatment plants.*

*Target function allows to define diameter of holes in supporting shell, which value provides required toughness and wholeness of body of supporting perforated shell, loaded with limiting external pressure, on the one hand, and on the other hand – completely littered filtering nets areas, in places of their pressing to round holes of supporting shell by limiting external pressure. It is established that increasing the external pressure above the limit causes the complete folding of longitudinal pleat around supporting cylindrical shell. In this case at least five rows of net, stacked one to another, are necessary for each unit of supporting shell surface. That provides additional safety factor of the filtering element.*

**Keywords:** *natural gas, hard particles, installation peelings, adjusting, defensive and preventative armature, gas regulating posts, prevention, destruction, target function, braided metallic net, filtering element, target function.*

### **References**

1. GOST R 54960-2012. "Systems gas distributing. Posts gas regulating block and posts gas regulating cabinettion. The General specificationses. M: "Rosstandart", 2012. 65 p.
2. SRT Gazpromregiongaz 7.1-2011. The specificationses to material, equipment and technological scheme block gas regulating posts, of posts gas regulating cabinettion / System to standardizations JSC "Gazpromregiongaz". SPB.: JSC "Gazpromregiongaz", 2011. 33 p.
3. SP 62.13330.2011. Systems gas distributing. Aktual editing SNIP 42-01-2002. M.: Minregion Russia, 2010. 66 p.

4. Usachev A.P., Shuraitis A.L., Gustov S.V., Sherstyuk P.V. Development of defensive shell filtering element in installation peelings natural gas // NTZH "Problems of collection, preparation and transport to oils and oil products ", Ufa: GUP "IPTER", issue 3(89), 2012. P. 152-162.

5. Industrial gas equipment: Reference book. 5-e izd., pererab. and dop./ Under editing Karyakin E.A. Saratov: Gazovik, 2010. 992 p.

6. Usachev A.P., Shuraitis A.L., Gustov S.V., Sherstyuk P.V. Development to mathematical model to optimization of form filter, placed in posts gas regulating cabinet // NTZH "Problems of collection, preparation and transport to oils and oil products " / IPTER. Ufa, 2010. drink. 4 (82). P. 145–155.

7. GOST R 52857.3-2007. Rates and methods of calculation on toughness. Fortification hole in обечайках and bilge under internal and external pressures. Calculation on toughness shell and bilge under external steady-state load on carbine. M.: Standartinform, 2008. 43 p.

8. GOST R52857.2-2007. Rates and methods of calculation on toughness. Calculation cylindrical and cone-shaped shell, proturberant and flat bilge and lid. M.: Standartinform, 2009. 42 p.

9. RD 10-249-98. Rates of calculation on toughness stationary caldrons and pipe line pair and hot water. Approved resolution Gosgortehnadzora Russia 50 from 25.08.08.1998г. M., 1999. 172 p.

10. Feodosiev V.I. Resistance material/ V.I. Feodosiev. M.: Science, 1974. 560 p.

11. Nerubaylo B.V. Local problems to toughness cylindrical shell/ B.V. Nerubaylo. M.: Machine building, 1983. 248 p.