

УДК 621.6.036

А. О. Хомутов^а, А. П. Усачев^б, А. В. Рулев^б

^а АО «Гипрониигаз»

^б Саратовский государственный технический университет им. Ю. А. Гагарина

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКИ ЦЕЛЕСООБРАЗНОГО ФАКТОРА ФОРМЫ ФИЛЬТРА ДЛЯ ЖИДКИХ И ГАЗООБРАЗНЫХ ТОПЛИВ С КОМПОНОВКОЙ ФИЛЬТРУЮЩИХ КАССЕТ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ И ТОНКОЙ ОЧИСТКИ ВНУТРИ ОДНОГО КОРПУСА

Предложена математическая модель по расчету экономически целесообразного значения независимой переменной, т. е. формфактора $\Phi = H/D$, для цилиндрического двухступенчатого фильтра, устанавливаемого в обогреваемом помещении. Предложенная модель впервые позволяет определять оптимальное значение независимой переменной, т. е. оптимальную форму цилиндрического двухступенчатого фильтра (оптимальное отношение высоты к его диаметру), учитывать долю площади наружных ограждений и утеплителя в помещении, отводимого для установки цилиндрического двухступенчатого фильтра, количество теплоты для его теплоснабжения.

Ключевые слова: двухступенчатый цилиндрический фильтр, экономически целесообразный, формфактор, очистка, природный газ, отапливаемое помещение.

Введение

Пункты очистки жидких и газообразных топлив от механических примесей являются важнейшими структурными элементами систем снабжения сетевым и сжиженным газом, нефтью и печным жидким топливом, которые обеспечивают надежность, безопасность и экономичность функционирования основных потребителей [1—5]. Для обеспечения требуемого качества эксплуатации используются цилиндрические двухступенчатые фильтры (ЦДФ) очистки с размещением фильтрующих цилиндрических кассет (ФЦК) предварительной и тонкой очистки в отдельных корпусах¹ [6, 7]. При этом в качестве первой ступени наибольшее применение получили установки предварительной очистки из металлической сетки [8—10], а в качестве второй ступени — установки тонкой очистки, выполненные из нетканых материалов [11—13]. Фильтрующее оборудование, эксплуатируемое в климатических условиях РФ, рекомендуется устанавливать в отапливаемых помещениях² [1].

Для уменьшения материалоемкости ЦДФ предварительной и тонкой очистки, работающих при высоких давлениях и имеющих значительные толщины стенок цилиндрических обечаек и фланцев, предложено размещать их внутри одного корпуса [14]. В этом случае отпадает необходимость в дополнительных площадях для размещения двух отдельных корпусов ЦДФ, а также в расходах на отопление и вентиляцию дополнительного объема помещения для их установки [15].

¹ Справочник промышленного газового оборудования. URL: <https://gazovik-gaz.ru/spravochnik.html>.

² ГОСТ Р 54960—2012. Системы газораспределительные. Пункты газорегуляторные блочные и пункты редуцирования шкафные. Общие технические требования. М. : Росстандарт, 2012. 65 с.

Важным параметром цилиндрического фильтрующего оборудования высокого и среднего давления, характеризующего его металлоемкость, является соотношение высоты H к диаметру D , обозначаемое как формфактор (фактор формы), т. е. $\Phi = H/D$. Результаты исследований по оптимизации величины Φ при размещении фильтров очистки газа в отдельном корпусе приведены в работах [15—17]. Вместе с тем при размещении ФЦК предварительной и тонкой очистки внутри одного корпуса значение диаметра будет всегда больше по сравнению с расположением ФЦК предварительной и тонкой очистки в отдельных корпусах при одинаковой их пропускной способности. Это приводит к уменьшению величины Φ . В существующей технической литературе нет рекомендаций по выбору экономически целесообразных величин Φ при расположении ФЦК предварительной и тонкой очистки внутри одного корпуса. Отсюда следует, что актуальной задачей является выбор экономически целесообразных величин Φ при совместной установке ФЦК предварительной и тонкой очистки в едином корпусе.

1. Математическая модель выбора экономически целесообразного значения фактора формы ЦДФ

Расчетная схема ЦДФ с компоновкой ФЦК предварительной и тонкой очистки внутри одного корпуса показана на рис. 1.

Независимой переменной математической модели (1)—(12) принят формфактор $\Phi = H/D$, учитывающий его противоположно направленное влияние на стоимость изготовления различных элементов ЦДФ ($x = 1 \dots 4$, рис. 1) и наружные ограждения ($x = 5$, рис. 2), необходимые для размещения, а также эксплуатационные расходы на отопление технологического помещения.

Уменьшение диаметра D обуславливает увеличение формфактора Φ и уменьшение капитальных затрат в элементы ЦДФ, равные $x = 1 \dots 4$ (рис. 1). В то же время увеличение фактора Φ приводит к возрастанию высоты помещения и затрат на утепление его ограждающих конструкций, а также эксплуатационных затрат на отопление ($x = 5$, рис. 2). При таком противоположно направленном влиянии нельзя сделать вывод об оптимальной величине формфактора Φ без выполнения вычислений в соответствии с предлагаемой математической моделью.

Согласно методическим рекомендациям³, критерий оптимума целевой функции принимается при минимуме интегральных затрат в ЦДФ:

$$И = \sum_{x=1}^{x=5} Z_x(\Phi) + \sum_{t=1}^T (1 + E)^{-t} \sum_{n=1}^{n=3} \Psi_{xn} \sum_{x=1}^{x=5} Z_x(\Phi) + \sum_{t=1}^T (1 + E)^{-t} \Theta_{m=4}(\Phi) = \min, \quad (1)$$

где t — год эксплуатации ЦДФ $t=1, \dots, T$; $\sum_{x=1}^{x=5} Z_x(\Phi)$ — суммарная стоимость ЦДФ и помещения для его установки, руб.; x — номер основных составляющих стоимости: $x = 1$ — корпуса ЦДФ; $x = 2$ — комплексного покрытия его наружной поверхности; $x = 3$ — ФЦК тонкой очистки; $x = 4$ — ФЦК предварительной очистки; $x = 5$ — строительных ограждений и тепловой изоляции по-

³ Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов // Минэкономики РФ, Минфин РФ, Госстрой РФ, от 21.06.1999 № ВК 477. М., 1999. 201 с.

мещения для установки ЦДФ; $\sum_{t=1}^T (1 + E)^{-t}$ — интегральный параметр дискон-

тирования, лет; E — величина кредитной ставки, 1/год; ψ_{xn} — годовые отчисления на обслуживание, текущий и капитальный ремонт элемента x , 1/год; n — номер элемента эксплуатационных расходов ЦДФ: $n = 1$ — обслуживание; $n = 2$ — текущий ремонт; $n = 3$ — капитальный ремонт; $n = 4$ — обогрев ЦДФ; $\Theta_{n=4}(\Phi)$ — эксплуатационные затраты на обогрев ЦДФ, руб/год.

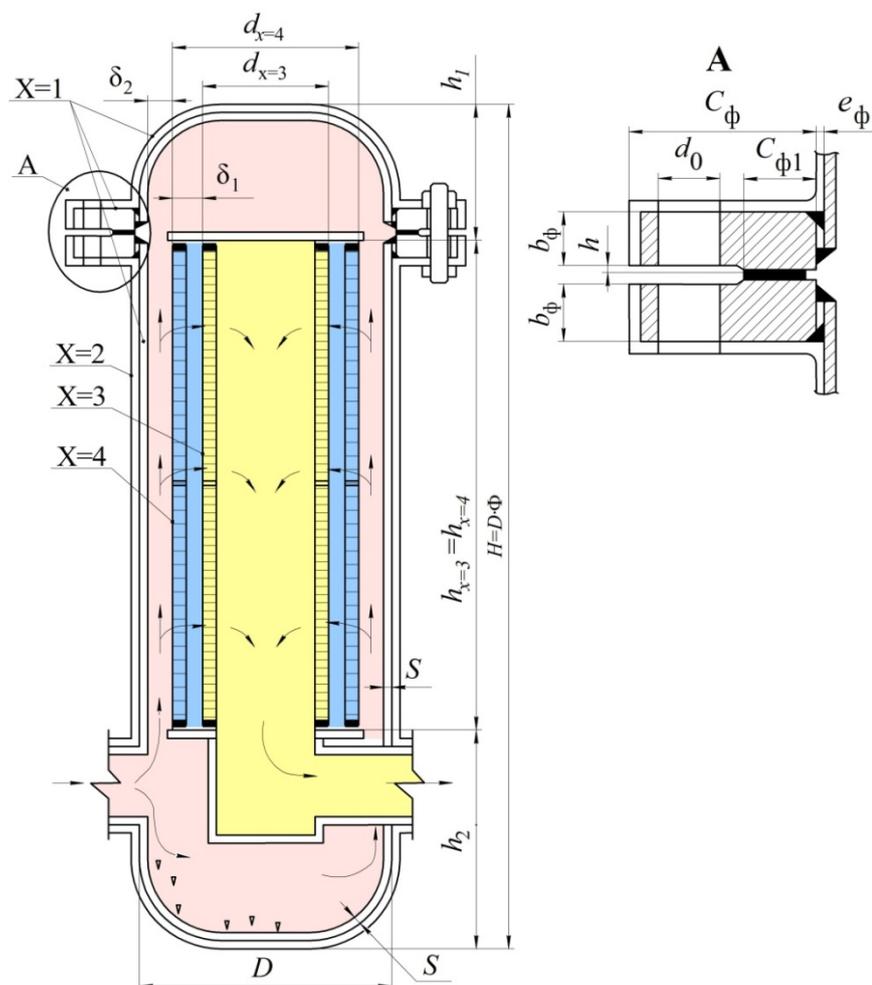


Рис. 1. Расчетная схема ЦДФ с компоновкой ФЦК предварительной и тонкой очистки внутри одного корпуса: $x = 1$ — корпус ЦДФ; $x = 2$ — комплексное покрытие на наружной поверхности корпуса ЦДФ; $x = 3$ — ФЦК тонкой очистки; $x = 4$ — ФЦК предварительной очистки; $d_{x=3}$, $d_{x=4}$ — соответственно диаметры ФЦК тонкой и предварительной очистки; корпуса, м; D , H , S — соответственно диаметр, высота и толщина стенки корпуса ЦДФ, м; δ_1 — расстояние между наружными поверхностями ФЦК предварительной $x = 4$ и тонкой $x = 3$ очистки, м; δ_2 — расстояние между наружными поверхностями ФЦК предварительной очистки и корпуса $x = 1$, м; h_1 — расстояние от верхнего торца ФЦК предварительной и тонкой очистки до верха эллиптической крышки корпуса $x = 1$; $h_{x=3} = h_{x=4}$ — высота ФЦК предварительной и тонкой очистки; h_2 — расстояние от нижнего торца ФЦК предварительной и тонкой очистки до низа эллиптического днища корпуса $x = 1$

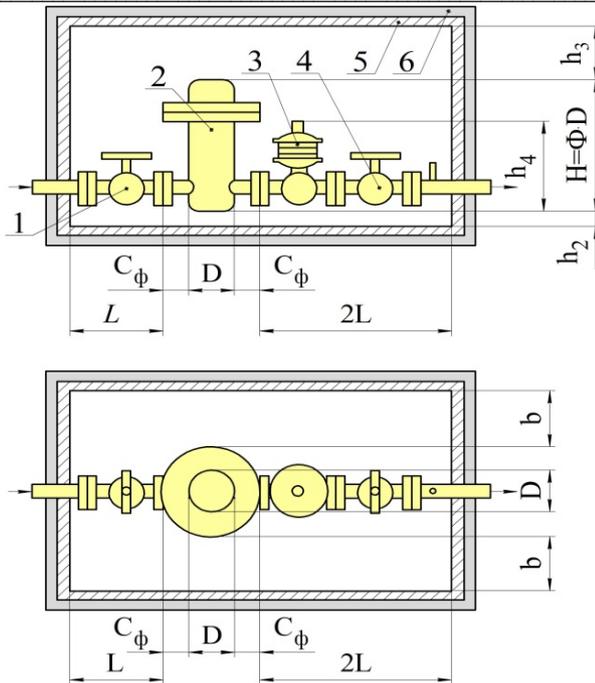


Рис. 2. Расчетная схема компоновки ЦДФ в отапливаемом помещении:
 1, 4 — отключающие входные и выходные шаровые краны; 2 — ЦДФ для предварительной и тонкой очистки топлива; 3 — регулирующее, защитное и предохранительное оборудование;
 5 — несущие строительные ограждения; 6 — тепловая изоляция отапливаемого помещения

Стоимость изготовления корпуса ЦДФ определяют с учетом значений массы обечайки и фланцев [13] на основе рис. 1:

$$\begin{aligned}
 Z_{x=1}(\Phi) = & \left(2\pi z_{x=1\text{фс}} \frac{\rho_{\text{ст}}}{4} \right) \left\{ b_{\text{ф}} \left[(D + 2e_{\text{ф}} + 2C_{\text{ф}})^2 - (D + 2e_{\text{ф}})^2 - nd_o^2 \right] + \right. \\
 & + h \left[(D + 2e_{\text{ф}} + 2C_{\text{ф}1})^2 - (D + 2e_{\text{ф}})^2 \right] + \\
 & \left. + \pi z_{x=1\text{од}} \rho_{\text{ст}} D^2 (\Phi + 0,69) \left(\frac{PD}{2\sigma_{\text{од}}} + C_1 \right) \right\}, \quad (2)
 \end{aligned}$$

где $z_{x=1\text{фс}}$ — удельная стоимость изготовления стальных фланцев, руб./кг;
 $z_{x=1\text{од}}$ — удельная стоимость изготовления стальной обечайки и эллиптических днищ, руб./кг; $\rho_{\text{ст}}$ — плотность стали, кг/м³; $C_{\text{ф}}$ — ширина фланца, м;
 $b_{\text{ф}}$ — толщина фланца, м; $e_{\text{ф}}$ — зазор между фланцем и обечайкой, м; $C_{\text{ф}1}$ — ширина соединительного выступа фланца, м; h — толщина выступа фланца, м; P — рабочее давление в корпусе ЦДФ, МПа; n, d_o — количество и диаметр отверстий во фланце; $\sigma_{\text{од}}$ — допускаемое напряжение, МПа; C_1 — запас толщины стенки на коррозию стали, м.

Диаметр корпуса ЦДФ определяется согласно рис. 1:

$$D = d_{x=3} + 2\delta_1 + 2\delta_2 + 2S. \quad (3)$$

Высота единого корпуса ЦДФ определяется:

$$H = \Phi D. \quad (4)$$

Стоимость комплексного покрытия корпуса ЦДФ (рис. 1) определяется:

$$\begin{aligned} Z_{x=2}(\Phi) &= Z_{x=2\pi} (F_{x=1\text{од}} + F_{x=1\text{фс}}) = \\ &= Z_{x=2\pi} \pi \left\{ D^2 (\Phi + 0,69) + 2\pi \frac{(D + 2e_\phi + 2C_\phi)^2 - (D + 2e_\phi)^2 - nd_o^2}{4} + \right. \\ &\quad \left. + 2\pi b_\phi (D + 2e_\phi + 2C_\phi) \right\}, \end{aligned} \quad (5)$$

где $Z_{x=2\pi}$ — удельная стоимость в нанесение комплексного покрытия, руб./м²; $F_{x=1\text{од}}$, $F_{x=1\text{фс}}$ — расчетные площади корпуса ЦДФ и соединения из фланцев, м².

Стоимость изготовления ФЦК тонкой очистки газового и жидкого топлива (по рис. 1):

$$\begin{aligned} Z_{x=3}(\Phi) &= Z_{x=3} F_{x=3} = Z_{x=3} \pi d_{x=3} h_{x=3} = \\ &= Z_{x=3} \pi (D - 2S - 2\delta_1 - 2\delta_2) (\Phi D - h_1 - h_2), \end{aligned} \quad (6)$$

где D — диаметр корпуса ЦДФ; $Z_{x=3}$ — удельная стоимость изготовления ФЦК тонкой очистки газового и жидкого топлива, рассчитанная на единицу его боковой поверхности, руб./м²; $F_{x=3}$ — величина наружной боковой поверхности ФЦК тонкой очистки газового и жидкого топлива, м².

Стоимость изготовления ФЦК предварительной очистки газового и жидкого топлива (по рис. 1):

$$\begin{aligned} Z_{x=4}(\Phi) &= Z_{x=4} F_{x=4} = Z_{x=4} \pi d_{x=4} h_{x=4} = \\ &= Z_{x=4} \pi (D - d_{x=3} - 2\delta_2) (\Phi D - h_1 - h_2 - 2S), \end{aligned} \quad (7)$$

где $Z_{x=4}$ — удельная стоимость изготовления ФЦК предварительной очистки газового и жидкого топлива, рассчитанная на единицу его боковой поверхности, руб./м²; $F_{x=4}$ — величина наружной боковой поверхности ФЦК предварительной очистки газового и жидкого топлива, м²; $d_{x=4}$, $h_{x=4}$ — значения наружного диаметра и высоты ФЦК предварительной очистки газового и жидкого топлива, м.

Значения диаметра $d_{x=4}$ (по рис. 1) определяются как:

$$d_{x=4} = d_{x=3} + 2\delta_1. \quad (8)$$

Стоимость изготовления стального наружного ограждения и утеплителя из слоя базальтовых волокон, заключенного между внутренним и наружным стальным профилированным листом определяется по рис. 2 для самого распространенного случая — при высоте H корпуса ЦДФ меньше высоты h_4 , установленного рядом с ним газового оборудования в первом интервале изменения H (сокращенно $1_H H \leq h_4$), и при высоте ЦДФ больше высоты h_4 во втором интервале изменения H (сокращенно $2_H H \geq h_4$):

$$\begin{aligned}
 Z_{x=5}(\Phi) &= (Z_{x=5\text{ст}}\rho_{\text{ст}}S_{x=5\text{ст}} + Z_{x=6\text{ут}}\rho_{\text{ут}}S_{x=6\text{ут}}) \left\{ (2F_{x=5\text{бк}} + 2F_{x=5\text{тр}} + \right. \\
 &+ F_{x=5\text{пл}}) \Big|_{1_u, H \leq h_4} + \left. (2F_{x=5\text{бк}} + 2F_{x=5\text{тр}} + F_{x=5\text{пт}}) \Big|_{2_u, H \geq h_4} \right\} = \\
 &= (Z_{x=5\text{ст}}\rho_{\text{ст}}S_{x=5\text{ст}} + Z_{x=6\text{ут}}\rho_{\text{ут}}S_{x=6\text{ут}}) \left\{ 2(D + 2C_\phi) \cdot (h_3 + h_4) + \right. \\
 &+ 2[(D + 2C_\phi) + 2b]\xi(h_3 + h_4) + (D + 2C_\phi)[(D + 2C_\phi) + 2b] \Big|_{1_u, H \leq h_4} + \\
 &+ \left. \{ 2[(D + 2C_\phi) + 3L](\Phi D - h_4 + h_5) + 2[(D + 2C_\phi) + 2b](\Phi D - h_4 + h_5) + \right. \\
 &+ \left. (D + 2C_\phi)[(D + 2C_\phi) + 2b] \Big|_{2_u, H \geq h_4} \right\}, \tag{9}
 \end{aligned}$$

где $Z_{x=5\text{ст}}$ — удельная стоимость наружных несущих стальных ограждений 5 (см. рис. 2), руб./кг; $S_{x=5\text{ст}}$ — средняя толщина наружного ограждения 5, м; $\rho_{\text{ст}}$, $\rho_{\text{ут}}$ — плотность стали и утеплителя из базальтовых волокон, кг/м³; $Z_{x=6\text{ут}}$ — удельная стоимость утеплителя 6 (см. рис. 2) из базальтовых матов, руб./кг; $S_{x=6\text{ут}}$ — общая толщина утеплителя 6 на основе матов из базальтовых волокон, м; $F_{x=5\text{бк}}$, $F_{x=5\text{тр}}$, $F_{x=5\text{пл}}$, $F_{x=5\text{пт}}$ — боковые, торцевые, напольные и потолочные площади наружных ограждений помещения, м²; h_2 — расстояние от чистой поверхности пола технологического помещения до нижней части оборудования, м; h_3 — расстояние от чистой поверхности потолка технологического помещения до верхней части оборудования, м; h_4 — высота корпуса ЦДФ, м; C_ϕ — длина патрубка ЦДФ, м; $3L$ — длина помещения, предназначенная для установки оборудования, расположенного рядом с ЦДФ, м; b — расстояние от поверхностей боковых стен помещения до газового оборудования, м; $\xi = (D + 2C_\phi) / [(D + 2C_\phi) + 3L]$ — доля площади помещения, для размещения корпуса ЦДФ, д. е.

Эксплуатационные затраты в (1) в части техобслуживания ($n = 1$), текущего ($n = 2$) и капитального ($n = 3$) ремонтов для корпуса ЦДФ ($x = 1$), комплексного покрытия его наружной поверхности ($x = 2$), ФЦК тонкой очистки ($x = 3$), ФЦК предварительной очистки ($x = 4$), строительных ограждений и тепловой изоляции помещения ($x = 5$) находятся по выражению:

$$\sum_{n=1}^{n=3} \Psi_{x\text{э}n} \sum_{x=1}^{x=5} Z_p(\Phi). \tag{10}$$

Затраты по эксплуатации в (1) в части обогрева помещения, предназначенного для установки ЦДФ, находятся согласно рис. 2:

$$\begin{aligned}
 \mathcal{E}_{n=4}(\Phi) &= \tau k_{x=5}(C_t / \eta_t)(t_b - t_{\text{с.о}})(1 + \beta) \left\{ 2(D + 2C_\phi)(h_3 + h_4) + \right. \\
 &+ 2[(D + 2C_\phi) + 2b]\xi(h_3 + h_4) + (D + 2C_\phi)[(D + 2C_\phi) + 2b] \Big|_{1_u, H \leq h_4} + \\
 &+ \left. \{ 2[(D + 2C_\phi) + 3L](\Phi D - h_4 + h_5) + 2[(D + 2C_\phi) + 2b](\Phi D - h_4 + h_5) + \right. \\
 &+ \left. (D + 2C_\phi)[(D + 2C_\phi) + 2b] \Big|_{2_u, H \geq h_4} \right\}, \tag{11}
 \end{aligned}$$

где τ — время эксплуатации ЦДФ в течение года, ч; $k_{x=5}$ — коэффициент теплопередачи через наружные ограждения, Вт/м²К, определяемый согласно [15], °С; C_t — стоимость энергии в пункте ее отпуска в местные системы

энергоснабжения, руб./Втч; η_t — КПД системы теплоснабжения, д. е; t_v — значение температуры внутреннего воздуха в помещении ЦДФ, °С; t_{co} — значение средней температуры наружного воздуха за холодный период (ниже и равно 0) [6], °С; β — суммарная надбавка на тепловые потери [4].

Величина независимой переменной Φ в целевой функции (1) изменяется в диапазоне:

$$\Phi_{\min} \leq \Phi \leq \Phi_{\max}. \quad (12)$$

Таким образом, предложена математическая модель для расчета экономически целесообразного значения независимой переменной — формфактора $\Phi = H/D$ для ЦДФ, устанавливаемого в обогреваемом помещении. Основными элементами предложенной модели являются: расчетная схема (рис. 1, 2); функция интегральных затрат (1); уравнения (2)—(9) стоимости изготовления ЦДФ и помещения; уравнения эксплуатационных затрат (10)—(11); уравнение ограничения независимой переменной (12). Предложенная модель (1)—(12) впервые позволяет учитывать влияние независимой переменной (отношения высоты ЦДФ к его диаметру), долю площади наружных ограждений и утеплителя в помещении, предназначенном для установки ЦДФ, количество теплоты для его теплоснабжения.

2. Расчет экономически целесообразного значения величины формфактора Φ_{opt}

Целевая функция (1) может быть представлена выражением следующего вида⁴ $I = f(\Phi)$ [18, 19]. Оптимальное значение формфактора Φ_{opt} соответствует варианту с минимальными затратами I_{\min} .

Минимальное и максимальное значение независимой переменной Φ определены на основе анализа технически возможного изменения высоты и диаметра ЦДФ и равны: $\Phi_{\min} = (H/D)_{\min} = 1,5$; $\Phi_{\max} = (H/D)_{\max} = 8,0$.

Согласно математической модели (1)—(12) проведены вычисления независимой переменной Φ_{opt} для ЦДФ геометрическим объемом 0,004 м³, результаты которых представлены на рис. 3.

Оптимальное значение независимой переменной $\Phi_{\text{opt}} = 3,3$, полученное в соответствии с разработанной математической моделью (1)—(12), сильно отличается (в 1,57 раза) от усредненной величины $\Phi = 2,1$ для конструкций, выпускаемых в настоящее время с одной фильтрующей кассетой в корпусе фильтров, что объясняется игнорированием зависимости диаметра фильтра от затрат на его фланцевое соединение, цилиндрическую обечайку, эллиптические крышку и днище.

Выводы

1. Значительное влияние на величину интегральных затрат и экономичность эксплуатации ЦДФ, устанавливаемого в отапливаемом помещении, оказывает величина формфактора. Поэтому независимой переменной математической модели (1)—(12) принят формфактор $\Phi = H/D$, учитывая его противоположно направленное влияние на стоимость изготовления различных элементов ЦДФ ($x = 1 \dots 4$, рис. 1) и наружные ограждения ($x = 5$, рис. 2), необходимые для размещения, а также эксплуатационные расходы для отопле-

⁴ Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов / Минэкономики РФ, Минфин РФ, Госстрой РФ, от 21.06.1999 N ВК 477. М., 1999. 201 с.

ния технологического помещения. Уменьшение диаметра D обуславливает увеличение фактора формы Φ и уменьшение капитальных затрат на элементы ЦДФ $x = 1 \dots 4$ (рис. 1). Увеличение фактора Φ приводит к возрастанию высоты помещения и капитальных затрат на утепление ограждающих конструкций, а также эксплуатационных затрат на отопление ($x = 5$, рис. 2).

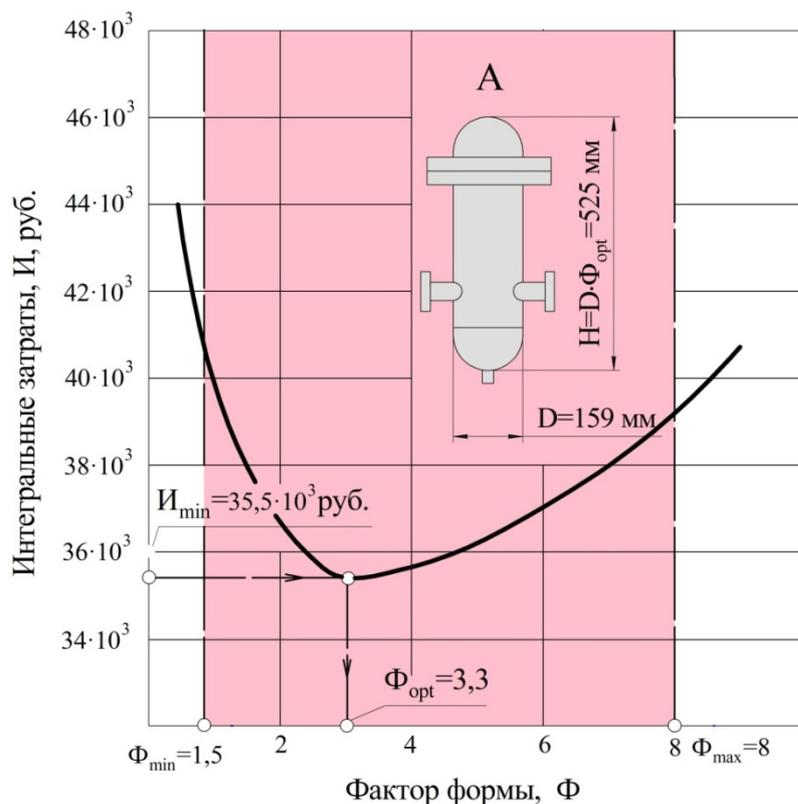


Рис. 3. Оптимальное значение Φ_{opt} для ЦДФ объемом 0,004 м³, эксплуатируемого в отапливаемом помещении

2. Предложена математическая модель для расчета экономически целесообразного значения независимой переменной Φ для ЦДФ, устанавливаемого в обогреваемом помещении. Основными элементами предложенной модели являются: расчетная схема, изображенная на рис. 1, 2; функция интегральных затрат (1); уравнения (2)—(9) стоимости изготовления ЦДФ и помещения; уравнения эксплуатационных затрат (10)—(11); ограничение независимой переменной (12). Предложенная модель (1)—(12) впервые позволяет определять оптимальное значение независимой переменной, т. е. оптимальную форму ЦДФ (отношение высоты к его диаметру), учитывать долю площади наружных ограждений и утеплителя в помещении, предназначенном для установки ЦДФ, количество теплоты для его теплоснабжения.

3. Оптимальное значение независимой переменной $\Phi_{\text{opt}} = 3,3$, полученное в соответствии с математической моделью (1)—(12), в 1,57 раза отличается от усредненной величины $\Phi = 2,1$ для конструкций с одной фильтрующей кассетой в корпусе фильтров, выпускаемых в настоящее время, что объясня-

ется игнорированием зависимости диаметра фильтра от затрат на его фланцевое соединение, цилиндрическую обечайку, эллиптические крышку и днище.

4. Предложенная математическая модель (1)—(12) по определению экономически целесообразного значения величины фактора формы для ЦДФ, устанавливаемого в отапливаемом помещении, рекомендуется к использованию в инженерной газовой практике.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Павлов С. И. Повышение стабильности и надежности работы ГРП за счет модернизации оборудования // Газовая промышленность. 2019. №. S3. С. 78—80.
2. Mokhatab S., Poe W. A., Mak J. Y. Handbook of natural gas transmission and processing: principles and practices. Gulf professional publishing, 2018. 827 p.
3. Sutherland K. Filters and Filtration Handbook. Elsevier Science, 2008. 523 p.
4. Speight J. G. Natural gas: a basic handbook. Gulf Professional Publishing, 2018. 449 p.
5. Еремкин А. И., Зиганшин М. Г., Беляева Г. И., Гимранов И. Р. Разработка и инновационный менеджмент очистных технологий систем газоснабжения // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2013. Вып. 31(50). Ч. 2. Строительные науки. С. 485—491.
6. Stephens B., Maynard A., Hopke P. K. Control of Airborne Particles: filtration. Handbook of Indoor Air Quality. Singapore : Springer Nature Singapore, 2022. Pp. 1715—1736.
7. Усачев А. П., Шурайц А. Л., Хомутов А. О., Бирюков А. В. Разработка математической модели расчета динамики засорения двухступенчатых фильтрующих картриджей природного газа механическими примесями в зависимости от изменения в них газодинамических потерь // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2018. Вып. 53(72). С. 100—112.
8. Каракеян В. И., Кольцов В. Б., Кондратьева О. В. Технология очистки газов. М. : Юрайт, 2024. 184 с.
9. Trevor S. Filters and Filtration Handbook. Elsevier Butterworth Heinemann, 2016. 444 p.
10. Hutten I. M. Handbook of Nonwoven Filter Media. Butterworth Heinemann, 2016. 660 p.
11. Ахмедов И. Г., Умаров И. И., Дадаханов Ф. А. Принципы выбора газоочистного оборудования // Journal of new century innovations. 2023. Vol. 43. Iss. 1. Pp. 153—165.
12. Russell S. J. Handbook of nonwovens. Woodhead Publishing, 2022. 627 p.
13. Thomas D., Charvet A., Bardin-Monnier N., Appert-Collin J-C. Aerosol Filtration. ISTE Press, Elsevier, 2016. 218 p.
14. Шурайц А. Л., Усачев А. П., Хомутов А. О., Рулев А. В. Устройство для очистки от твердых частиц природного газа высокого давления: патент на полезную модель, 174446, Российская Федерация, МПК B01D 46/24 /; заявитель и патентообладатель АО «Головной научно-исследовательский и проектный институт по распределению и использованию газа (АО «Гипрониагаз»)). No 2017111708; заявл. 06.04.17; опубл. 13.10.17.
15. Усачев А. П., Густов С. В., Шурайц А. Л. Теоретические и прикладные основы повышения эффективности и безопасности эксплуатации установок грубой очистки природного газа от твердых частиц в системах газораспределения: монография. Саратов: СГТУ, 2013. 172 с.
16. Шурайц А. Л., Густов С. В. Определение капитальных вложений в элементы фильтра, устанавливаемого в обогреваемом помещении // Энергоэффективность. Проблемы и решения: мат-лы XIV всерос. науч.-практ. конф. Уфа : ИПТЭР, 2014. С. 240—242.
17. Шурайц А. Л., Густов С. В. Определение расходов в эксплуатацию газового фильтра, размещаемого в обогреваемом помещении // Энергоэффективность. Проблемы и решения: мат-лы XIV всерос. науч.-практ. конф. Уфа : ИПТЭР, 2014. С. 243—244.
18. Слабнов В. Д. Численные методы и программирование. СПб. : Лань, 2021. 460 с.
19. Коваленко Т. А., Солодов А. Г. Вычислительная техника и языки программирования. Самара : ПГУТИ, 2021. 220 с.

© Хомутов А. О., Усачев А. П., Рулев А. В., 2024

Поступила в редакцию
в сентябре 2024 г.

Ссылка для цитирования:

Хомутов А. О., Усачев А. П., Рулев А. В. Определение экономически целесообразного фактора формы фильтра для жидких и газообразных топлив с компоновкой фильтрующих кассет предварительной и тонкой очистки внутри одного корпуса // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2024. Вып. 4(97). С. 166—175. DOI: 10.35211/18154360_2024_4_166.

Об авторах:

Хомутов Антон Олегович — канд. техн. наук, зам. генерального директора по научному развитию, АО «Гипрониигаз». Российская Федерация, 410012, г. Саратов, пр-т им. Петра Столыпина, 54; khomutov.anton@gmail.com

Усачев Александр Прокофьевич — д-р техн. наук, проф., проф. каф. теплогазоснабжения и нефтегазового дела, Саратовский государственный технический университет им. Ю. А. Гагарина. Российская Федерация, 410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77; usachev-ap@mail.ru

Рулев Александр Владимирович — д-р техн. наук, доц., проф. каф. теплогазоснабжения и нефтегазового дела, Саратовский государственный технический университет им. Ю. А. Гагарина. Российская Федерация, 410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77; nautech@inbox.ru

Anton O. Khomutov^a, Alexander P. Usachev^b, Alexandr V. Rulev^b

^a JSC Giproiiigas

^b Yuri Gagarin Saratov State Technical University

**DETERMINATION OF AN ECONOMICALLY FEASIBLE FILTER
SHAPE FACTOR FOR LIQUID AND GASEOUS FUELS
WITH AN ARRANGEMENT OF PRE- AND FINE FILTER CARTRIDGES
INSIDE ONE HOUSING**

A mathematical model is proposed for calculating the economically feasible value of an independent variable, that is, the form $\Phi = H/D$, for a cylindrical two-stage filter (CTF) installed in a heated room. The proposed model for the first time makes it possible to determine the optimal value of an independent variable, that is, the optimal shape of the CTF (the optimal ratio of height to its diameter), to take into account the proportion of the area of external fences and insulation in the room allocated for the installation of the CTF, the amount of heat for its heat supply.

Key words: two-stage cylindrical filter, economically feasible, form factor, purification, natural gas, heated room.

For citation:

Khomutov A. O., Usachev A. P., Rulev A. V. [Determination of an economically feasible filter shape factor for liquid and gaseous fuels with an arrangement of pre- and fine filter cartridges inside one housing]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2024, iss. 4, pp. 166—175. DOI: 10.35211/18154360_2024_4_166.

About authors:

Anton O. Khomutov — Candidate of Engineering Sciences, Deputy Director General for Scientific Development, JSC Giproiiigas. 54, Petra Stolypina st., Saratov, 410012, Russian Federation; khomutov.anton@gmail.com

Alexander P. Usachev — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Yuri Gagarin Saratov State Technical University. 77, Politekhnikeskaya st., Saratov, 410054, Russian Federation; usachev-ap@mail.ru

Alexandr V. Rulev — Doctor of Engineering Sciences, Docent, Yuri Gagarin Saratov State Technical University. 77, Politekhnikeskaya st., Saratov, 410054, Russian Federation; nautech@inbox.ru