

А. О. ХОМУТОВ
А. П. УСАЧЕВ
А. В. РУЛЕВ

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПОСТОЯННОГО МОНИТОРИНГА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ДВУХСТУПЕНЧАТОГО ФИЛЬТРА С РАЗМЕЩЕНИЕМ В ОДНОМ КОРПУСЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ФИЛЬТРУЮЩИХ КАССЕТ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ И ТОНКОЙ ОЧИСТКИ

**DEVELOPMENT OF A METHOD FOR CONTINUOUS MONITORING
OF THE PERFORMANCE OF A TWO-STAGE FILTER WITH THE PLACEMENT
OF CYLINDRICAL FILTER CASSETTES OF PRELIMINARY
AND FINE CLEANING IN ONE HOUSING**

Существующая газовая практика не располагает данными постоянного мониторинга производительности двухступенчатого фильтра с размещением в одном корпусе цилиндрических фильтрующих кассет предварительной и тонкой очистки. В результате этого снижается безопасность работы газового оборудования, установленного за регулятором давления. В работе получены расчетные выражения по определению предельных величин потерь давления и производительности двухступенчатых фильтров с размещением в одном корпусе цилиндрических фильтрующих кассет предварительной и тонкой очистки. При достижении этих предельных величин производится автоматическое переключение подачи газа на фильтр, расположенный на резервной секции редуцирования. Предложена схема постоянного мониторинга предельных величин потерь давления и производительности на двухступенчатых фильтрах с размещением в одном корпусе цилиндрических фильтрующих картриджей предварительной и тонкой очистки. Разработанная схема автоматически включает подачу газа на резервный фильтр и информирует диспетчерскую службу и обслуживающих работников по беспроводной связи при достижении предельных величин потерь давления и производительности.

Ключевые слова: метод автоматического контроля, предельный перепад давления, пропускная способность, двухступенчатый фильтр, размещение в одном корпусе, цилиндрический фильтрующий картридж, предварительная и тонкая очистка

The existing gas practice does not have data on continuous monitoring of the performance of a two-stage filter with cylindrical filter cartridges of preliminary and fine cleaning placed in one housing. As a result, the safety of the gas equipment installed behind the pressure regulator is reduced. The calculated expressions for determining the limiting values of pressure losses and productivity of two-stage filters with placement of cylindrical filter cassettes of preliminary and fine cleaning in one housing are obtained. When these limits are reached, the gas supply is automatically switched to the filter located on the backup reduction section. The paper also proposes a scheme for constant monitoring of the limiting values of pressure losses and productivity on two-stage filters with the placement of cylindrical filter cartridges of preliminary and fine cleaning in one housing. The developed scheme automatically turns on the gas supply to the backup filter and informs the dispatching service and maintenance workers wirelessly when the maximum values of pressure losses and productivity are reached.

Keywords: automatic control method, limit, pressure drop, throughput two-stage filter, placement in one housing, cylindrical filter cartridge, preliminary and fine cleaning

Введение. В последние десятилетия растет объем применения пунктов регулирования газа (ПРГ) высокой производительности. Современные ПРГ имеют в своем составе не менее

двух одинаковых линий редуцирования – рабочей и резервной, каждая из которых оснащена фильтрами предварительной и тонкой очистки газа, рабочим и резервным регуляторами дав-

ления, запорной и предохранительной арматурой, отключающими устройствами [1].

С ростом объемов использования таких ПРГ увеличивается потребность в фильтрах высокой производительности с малой металлоемкостью. Однако в существующей технической литературе отсутствуют рекомендации по данному вопросу [2–8]. В целях устранения этого недостатка разработана конструкция установки в объем корпуса 1 (рис. 1) кассет фильтрующих (КФ) предварительной 6 и тонкой 7 очистки на минимально допустимом удалении $\delta_{\min}$ друг от друга. При этом удалении сетка 6 не засоряется больше, чем когда $\delta_{\phi} > \delta_{\min}$ [9].

Результаты испытаний фильтров двухступенчатых (ФД) при степени засорения 70 % для фильтров предварительной очистки и 65 % для фильтров тонкой очистки свидетельствуют о росте δ_{ϕ} до величины $\delta_{\phi} = 8,4$ мм, после чего потери давления становятся постоянными и уже не реагируют на рост δ_{ϕ} [10, 11].

Полученные экспериментальные данные указывают на целесообразность регенерации ФД предварительной очистки при степени их засорения 70 %. Замена ФД тонкой очистки целесообразна при степени засорения 65 % [11].

Проведенное экономическое сравнение свидетельствует, что раздельное размещение ФД предварительной и тонкой очистки в 1,65 раза увеличивает интегральные затраты по сравнению с установкой кассет 6 и 7 в одном корпусе на минимально допустимом удалении $\delta_{\min}$ друг от друга [12].

Учитывая, что такие фильтры следует устанавливать как на рабочих, так и на резервных линиях редуцирования [1], экономия интегральных затрат пропорционально увеличивается. Данное техническое решение защищено патентом № 174446 [9].

В то же время использование ФД большой производительности повышает вероятность убытков эксплуатационных организаций вследствие недопоставок газа, обусловленных засорением КФ раньше назначенного срока.

Сокращение поставок газа потребителю может быть вызвано преждевременным засорением КФ, обусловленным ростом в нем механических примесей. Это в свою очередь обуславливает потери давления на нем сверх максимально допустимого $\Delta P_{\text{м.д.}}$, а затем и предельного $\Delta P_{\text{пр}}$ значений и приводит к сокращению производительности КФ ниже расчетной.

Здесь под максимально допустимыми потерями $\Delta P_{\text{м.д.}}$ на КФ понимается величина, при достижении которой должна проводиться процедура удаления механических примесей из ФД согласно [1].

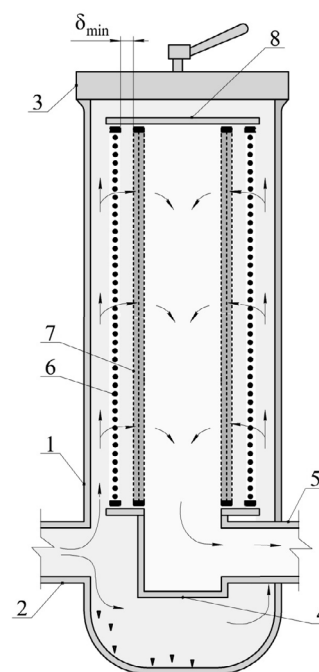


Рис. 1. Схематическое устройство ФД с размещенными в объеме одного корпуса КФ предварительной и тонкой очистки: 1 – корпус; 2, 5 – вход и выход газа; 3 – крышка; 4 – стакан; 6, 7 – КФ предварительной и тонкой очистки; 8 – общая крышка для КФ

Fig. 1. Schematic TF device with pre- and fine cleaning FC placed in the volume of one housing: 1 – housing; 2, 5 – gas inlet and outlet; 3 – lid; 4 – glass; 6, 7 – FC of preliminary and fine cleaning; 8 – general cover for FC

Под предельными потерями $\Delta P_{\text{пр}}$ на КВ предварительной и тонкой очистки понимается величина, при превышении которой производительность сокращается до предельной $V_{\text{пр}}$ из-за засорения КФ. Предельное значение производительности $V_{\text{пр}}$ следует принимать не менее максимального расчетного расхода газа V_{max} устанавливаемого [1].

В целях совершенствования мониторинга фильтрации газа [13] предложено осуществлять предварительное оповещение эксплуатационного персонала об очередном удалении механических примесей. При этом необходимо обеспечить запас дальнейшего падения давления на цилиндрических ФК (ЦФК) предварительной и тонкой очистки [14, 15], достаточный по продолжительности для подготовки к операции очистки до момента достижения перепада давления $\Delta P_{\text{м.д.}}$.

Однако производительность фильтрации может опуститься сверх предельного значения $V_{\text{пр}}$ еще до времени достижения $\Delta P_{\text{м.д.}}$ и $\Delta P_{\text{пр}}$. Это вызвано тем, что расчетная площадь кассет в существующей газовой практике [1] определяется для пропуска максимального расхода газа V_{max} .

когда она еще не засорена механическими примесями. Если произойдет преждевременное засорение, КФ с такой расчетной поверхностью не обеспечит максимальный расход газа $V_{\max}$. Учитывая это, расчет максимального расхода газа $V_{\max}$ и расчетной площади целесообразно проводить в момент достижения на фильтре предельного значения $\Delta P_{\text{пр}}$.

В настоящее время рекомендации по определению и постоянному контролю величин $\Delta P_{\text{пр}}$ и $V_{\text{пр}}$ на ФД отсутствуют [16–20]. Это заставляет разрабатывать:

- расчетные зависимости по вычислению $\Delta P_{\text{пр}}$ и $V_{\text{пр}}$;
- системы постоянного мониторинга $\Delta P_{\text{пр}}$ и $V_{\text{пр}}$.

Рассмотрим отдельно каждую из указанных задач.

Получение расчетных формул по вычислению предельных потерь давления и производительности на двухступенчатых газовых фильтрах

Расчетная зависимость по определению предельных потерь давления на двухступенчатых газовых фильтрах будет иметь следующий вид:

$$\Delta P_{\text{пр}} = \Delta P_{\text{м.д}} + \Delta P_{\text{с.мах}}. \quad (1)$$

В данном выражении значение максимальной суммарной плюсовой поправки $\Delta P_{\text{с.мах}}$ к максимально допустимым потерям давления $\Delta P_{\text{м.д}}$ включает в себя: ошибки измерения давления, погрешности прибора постоянного контроля и телеметрических устройств.

По заранее известной величине $\Delta P_{\text{пр}}$, полученной по формуле (1), можно в автоматическом режиме переключать подачу газа на резервную линию редуцирования, если уменьшится производительность до $V_{\text{пр}}$ в случае засорения кассет.

Расчетная зависимость по определению предельного значения пропускной способности на двухступенчатых газовых фильтрах, согласно требованиям [1], будет иметь следующий вид:

$$V_{\text{пр}} + \Delta V_{\text{с.мах}} \geq \left(\frac{2 \cdot g \cdot \Delta P_{\text{пр}} \cdot F_{\text{р.з}}^2}{\zeta_{\text{Фр.з}} \cdot \rho_{\text{г}}} \right)^{0,5} + \Delta V_{\text{с.мах}}, \quad (2)$$

где $V_{\text{пр}}$ – предельное значение производительности двухступенчатых газовых фильтров с размещением в одном корпусе цилиндрических фильтрующих кассет предварительной и тонкой очистки; $\text{м}^3/\text{с}$; $\rho_{\text{г}}$ – плотность газа, $\text{кг}/\text{м}^3$; g – ускорение свободного падения, $\text{м}/\text{с}^2$; $F_{\text{р.з}}$ –

расчетная площадь свободного сечения КФ, м^2 ; $\zeta_{\text{Фр.з}}$ – коэффициент местных сопротивлений КФ; $\Delta V_{\text{с.мах}}$ – максимальное значение суммарной плюсовой поправки к $V_{\text{мах}}$.

Значение $V_{\text{пр}}$ в формуле (2), согласно [1], принимается равным максимальному расходу газа $V_{\text{мах}}$, а значение $V_{\text{мах}}$ принимается согласно техническим характеристикам газовых приборов и оборудования. Величина $F_{\text{р.з}}$ в формуле (2) принимается при максимальном расходе газа и при предельных потерях давления на КФ. Коэффициент $\zeta_{\text{Фр.з}}$ принимается при достижении предельных потерь давления согласно [21].

Анализ формулы (2) показывает следующее:

1. С приближением перепада давления к величине $\Delta P_{\text{пр}}$ значение $F_{\text{р.з}}^2$ – квадрата площади свободного сечения КФ, по мере его засорения механическими примесями быстро уменьшается. В этом случае для сохранения постоянного темпа роста величины $\Delta P_{\text{пр}}$ следует сокращать пропускную способность, что недопустимо, с учетом основного требования к выбору ФД – производительность принимается равной максимальному расходу газа $V_{\text{мах}}$.

2. Из выражения (2) следует, что значение предельных потерь давления на фильтрующей кассете предварительной очистки принимается равным $\Delta P_{\text{пр}}$ [1] при выполнении следующих условий:

- фильтр, засоренный механическими примесями в период перед очередным техническим обслуживанием, следует рассчитывать на подачу максимального расхода газа $V_{\text{мах}}$;
- величина фильтрующей площади $F_{\text{р.з}}$ должна учитывать возможность ее засорения в момент перед очередным техническим обслуживанием;
- скорость фильтрации газа через сетки ЦФК, определяемая как $V_{\text{мах}} / F_{\text{р.з}}$, должна обеспечивать качественный процесс осаждения твердых частиц без деформации фильтрующего картриджа.

3. Расчет потерь давления ΔP по формуле (2) в зависимости от производительности V в эксплуатационной практике осуществляется с помощью таблиц или графиков. Предприятие, изготавливающее ФД, прилагает их к руководству по эксплуатации. Однако их применение приводит к ошибкам при определении фильтрующей площади $F_{\text{р.з}}$, поскольку указанные таблицы и графики не учитывают засорение фильтрующих сеток перед очередным удалением загрязнений.

Площадь $F_{\text{р.з}}$ для пропуска производительности $V = V_{\text{мах}}$ при потерях давления на ДФ, равной $\Delta P_{\text{пр}}$, предприятия по изготовлению газового оборудования не осуществляют.

В сложившейся ситуации эксплуатационные организации не располагают данными по производительности V существующих фильтров при $\Delta P_{пр}$. При этом весьма вероятным является сценарий, когда потери давления на КФ еще не достигли величины $\Delta P_{пр}$, а производительность уже снизилась и стала ниже $V_{пр}$.

Создавшаяся ситуация при снижении производительности ниже предельного значения $V_{пр}$ заставляет изыскивать методы непрерывного мониторинга, при которых достигается отключение газа на рабочую линию редуцирования и одновременная подача газового топлива на резервную линию редуцирования.

Для реализации методов обеспечения предельной производительности $V_{пр} = V_{max}$, приведенных в выражениях (1) и (2), следует изыскивать

схемы непрерывного мониторинга $\Delta P_{пр}$ и $V_{пр}$, компенсирующие недостатки существующих графиков производительности, прилагаемых предприятиями по изготовлению газового оборудования.

Разработка схемы постоянного мониторинга предельных значений потерь давления и производительности двухступенчатого фильтра с размещением в одном корпусе цилиндрических фильтрующих кассет предварительной и тонкой очистки

С целью устранения роста потерь давления сверх $\Delta P_{пр}$ и сокращения производительности ниже $V_{пр}$ разработано устройство непрерывного контроля (рис. 2). Направления течения газа и движение электрических сигналов показаны стрелками.

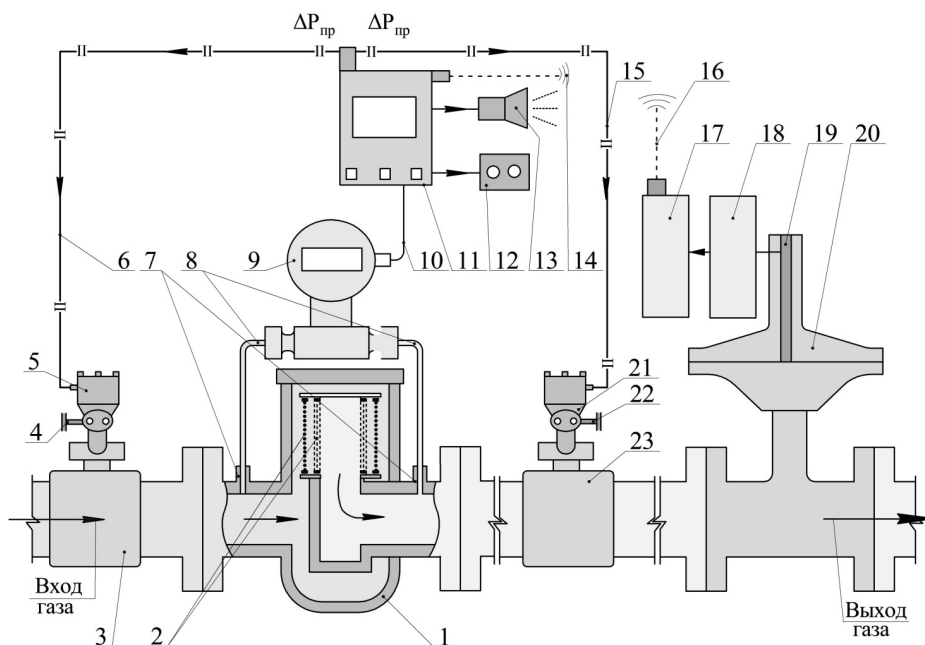


Рис. 2. Схема постоянного мониторинга предельных значений потерь давления и производительности двухступенчатого фильтра: 1 – фильтр двухступенчатый с размещением в одном корпусе КФ предварительной и тонкой очистки; 2 – кассеты фильтрующие предварительной и тонкой очистки; 3, 23 – краны запорно-регулирующие; 4, 22 – устройства ручной регулировки кранов 3 и 23; 5, 21 – устройства электромеханической регулировки кранов 3 и 23; 6, 10, 15 – провода электрические; 7 – патрубки; 8 – трубки подачи импульсов давления газа; 9 – манометр-преобразователь дифференциального типа; 11 – прибор постоянного мониторинга предельных значений потерь давления двухступенчатого фильтра; 12, 13 – устройства для подачи светового и звукового сигналов; 14, 16 – устройства обеспечения беспроводной связи с диспетчерским пунктом; 17 – прибор непрерывного мониторинга производительности; 18 – блок управления электронный; 19 – датчик вертикального перемещения, встроенный в регулятор давления 20

Fig. 2. The scheme of constant monitoring of the limit values of pressure losses and performance of a two-stage filter: 1 – a two-stage filter with pre- and fine cleaning in one housing; 2 – filter cassettes for pre- and fine cleaning; 3, 23 – shut-off valves; 4, 22 – devices for manual adjustment of cranes 3 and 23; 5, 21 – devices for electromechanical adjustment of cranes 3 and 23; 6, 10, 15 – electric wires; 7 – nozzles; 8 – tubes for supplying gas pressure pulses; 9 – differential type pressure gauge converter; 11 – a device for constant monitoring of the limit values of pressure losses of a two-stage filter; 12, 13 – devices for supplying light and sound signals; 14, 16 – devices for providing wireless communication with the control room; 17 – a continuous performance monitoring device; 18 – an electronic control unit; 19 – a vertical displacement sensor built into the pressure regulator 20

Работа предлагаемого устройства по постоянному мониторингу предельных значений производительности двухступенчатого фильтра осуществляется следующим образом. Из распределительного газопровода в двухступенчатый газовый фильтр 1 поступает газовое топливо с находящимися в нем механическими примесями. В период работы фильтр 1 засоряется и потери давления на КФ поднимаются до значения $\Delta P_{пр}$. Указанные потери давления на штуцерах 7, установленных на фильтрующих кассетах 2, по трубкам 8 поступают на манометр 9, где преобразуются в пропорциональный электрический сигнал, после чего поступают через трубку 10 на прибор непрерывного контроля 11, который посредством световых и звуковых сигналов 12 и 13 и мобильной связи 14 оповещает диспетчерский службу и обслуживающих работников.

Для предупреждения повышения потерь давления на двухступенчатом фильтре 1 при достижении предельных величин $\Delta P_{пр}$ прибор 11 через провода 6 и 15 и устройства 5 и 21 перекрывает запорно-регулирующие краны 3 и 23.

В случае уменьшения производительности ниже предельного значения $V_{пр} = V_{max}$ датчик перемещения 19, встроенный в регулятор давления 20, передает пропорциональный сигнал на электронный блок управления 18. Принцип работы штока клапана 19 основан на его вертикальном перемещении, преобразуемом затем в непрямо значение расхода газа с помощью электронного блока управления 18. После этого сигнал от блока управления 18 поступает в прибор непрерывного мониторинга 17, который передает этот сигнал 16 в диспетчерский пункт. Диспетчерский пункт, получив данные по снижению производительности ФД ниже значения V_{max} , посылает сигнал 14 на прибор 11, который через электрические провода 6 и 15 и устройства электромеханической регулировки 5, 21 закрывают краны запорно-регулирующие 3 и 23.

Таким образом, применение предлагаемых устройств контроля $\Delta P_{пр}$ и $V_{пр}$ повышает надежность и безопасность работы КФ предварительной и тонкой очистки, установленных в объеме одного корпуса двухступенчатого фильтра, и предотвращает риск возникновения аварийных ситуаций, связанных с отклонением падения давления и производительности сверх предельных значений.

Выводы. 1. В существующей газовой практике отсутствуют рекомендации постоянного мониторинга предельных величин потерь давления $\Delta P_{пр}$ и производительности $V_{пр}$ для предложенной конструкции фильтрующих кассет предварительной и тонкой очистки, расположенных внутри одного двухступенчатого фильтра на минимальном расстоянии друг от друга.

2. Получены выражения, устанавливающие предельные значения потерь давления $\Delta P_{пр}$ (формула 1) и производительности $V_{пр}$ (формула 2), при достижении которых осуществляется переключение поступления газа на резервную линию редуцирования в автоматическом режиме и одновременно отключение поступления газа на засоренный двухступенчатый фильтр.

3. Разработана система постоянного мониторинга для фильтрующих кассет предварительной и тонкой очистки, установленных внутри двухступенчатых фильтров, переключающая поступление газа на резервную линию редуцирования в автоматическом режиме и одновременно отключающая поступление газа на засоренный двухступенчатый фильтр, если они достигнут предельных значений потерь давления $\Delta P_{пр}$ и производительности $V_{пр}$.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- СП 42-101-2003. Общие положения по проектированию и строительству газораспределительных систем из металлических и полиэтиленовых труб. М.: ГУП ЦПП, 2003. 168 с.
- Промышленное газовое оборудование: справочник. 6-е изд., перераб. и доп. Саратов: Газовик, 2013. 1125 с.
- Биргер М. И., Вальдберг А. Ю., Мягков Б. И. Справочник по пыле- и золоулавливанию. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1983. 312 с.
- Mokhtab S., Poe W.A. Handbook of Natural Gas Transmission and Processing. Second Edition. Elsevier Inc. 2012. 802 p.
- Guo B., Ghalambor A. Natural Gas Engineering Handbook: 2nd edition. Gulf Publishing Company. Houston. Texas. 2012. 472 p.
- Sutherland K. Filters and Filtration Handbook – 5 edition. Elsevier Science. 2008. 523 p.
- Шур И. А. Газорегуляторные пункты и установки. Л.: Недра, 1985. 288 с.
- Trevor S. Filters and Filtration Handbook – 5 edition. Elsevier Butterworth Heinemann. 2016. 444 p.
- Устройство для очистки от твердых частиц природного газа высокого давления: пат. на полезную модель 174446 Российская Федерация, МПК B01D 46/24 / Шурайц А.Л., Усачев А.П., Хомутов А.О., Рулев А.В.; заявитель и патентообладатель АО «Головной научно-исследовательский и проектный институт по распределению и использованию газа (АО «Гипрониигаз»)). № 2017111708; заявл. 06.04.17; опубл. 13.10.17, Бюл. № 29. 4 с.
- Обоснование применения и разработка газовых фильтров с цилиндрическими фильтрующими элементами предварительной и тонкой очистки, размещаемыми в одном корпусе / А.П. Усачев, А.Л. Шурайц, А.О. Хомутов и др. // Региональная архитектура и строительство. 2017. № 3 (32). С. 165–171.
- Разработка принципов повышения эффективности газовых фильтрующих картриджей грубой

и тонкой очистки большой пропускной способности / А.П. Усачев, А.Л. Шурайц, А.О. Хомутов и др. // Газовая промышленность. 2018. № 52 (770). С. 14–22.

12. Техничко-экономическое моделирование цилиндрических фильтрующих элементов предварительной и тонкой очистки на основе их размещения в одном корпусе установки газовой очистки / А.П. Усачев, А.Л. Шурайц, А.О. Хомутов и др. // Нефтегазовое дело. 2018. Т. 16, № 2. С. 114–122.

13. Густов С.В. Высокотехнологичные ГРП – путь к повышению надежности газораспределительных сетей // Газ России. 2010. № 41. С. 56–60.

14. Устройство для очистки от твердых частиц природного газа высокого давления: пат. на полезную модель 117566 Российская Федерация, МПК F17D 3/00 / Усачев А.П., Шурайц А.Л., Густов С.В., Желанов В.П., Рулев А.В., Усачев М.А., Шерстюк П.В.; заявитель и патентообладатель Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А. (RU). № 2011147260; заявл. 21.11.11; опубл. 27.06.12, Бюл. № 20. 4 с.

15. Густов С. В., Шурайц А.Л. Разработка рекомендаций по автоматическому контролю значений падения давления на сетчатых газовых фильтрах // Нефтегазовое дело. 2014. № 4. С. 302–323.

16. Белоусов В. В. Теоретические основы процессов газоочистки. М.: Металлургия, 1988. 256 с.

17. Коузов П.А., Мальгин А.Д., Скрыбин Г.М. Очистка газов и воздуха в химической промышленности. СПб.: Химия, 1993. 320 с.

18. Мазус М.Г., Мальгин А.Д., Моргулис М.Л. Фильтры для улавливания промышленных пылей. М.: Машиностроение, 1985. 240 с.

19. Tien Ch. Principles of Filtration. Elsevier, Oxford, 2013. 360 p.

20. Hutten I.M. Handbook of Nonwoven Filter Media 2nd Edition. Butterworth Heinemann, 2016. 660 p.

21. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. М.: Машиностроение, 1975. 559 с.

6. Sutherland K. Filters and Filtration Handbook – 5 edition. Elsevier Science. 2008. 523 p.

7. Shur I. A. *Gazoreguljatornye punkty i ustanovki* [Gas control points and installations]. Leningrad, Nedra, 1985. 288 p.

8. Trevor S. Filters and Filtration Handbook – 5 edition. Elsevier Butterworth Heinemann. 2016. 444 p.

9. Shuraitis A.L., Usachev A.P., Khomutov A.O., Rulev A.V. *Ustrojstvo dlja ochistki ot tverdyh chastic prirodnogo gaza vysokogo davlenij* [A device for cleaning high-pressure natural gas from solid particles]. Patent RF, no. 2017111708, 2017.

10. Usachev A.P., Shuraitis A.L., Khomutov A.O., etc. Justification of the use and development of gas filters with cylindrical pre- and fine filtration elements placed in one housing. *Regional'naja arhitektura i stroitel'stvo* [Regional architecture and Construction], 2017, no. 3 (32), pp. 165–171. (in Russian)

11. Usachev A.P., Shuraitis A.L., Khomutov A.O., etc. Development of principles for improving the efficiency of coarse and fine gas filter cartridges with high throughput. *Gazovaja promyshlennost'* [Gas Industry], 2018, no. 52 (770), pp. 14–22. (in Russian)

12. Usachev A.P., Shuraitis A.L., Khomutov A.O., etc. Technical and economic modeling of cylindrical filter elements of preliminary and fine purification based on their placement in one housing of a gas purification plant. *Neftegazovoe delo* [Oil and gas business], 2018, vol. 16, no. 2, pp. 114–122. (in Russian)

13. Gustov S.V. High-tech gas control points – the way to improve the reliability of gas distribution networks. *Gaz Rossii* [Russian gas], 2010, no. 41, pp. 56–60. (in Russian)

14. Usachev A.P., Shuraitis A.L., Gustov S.V., Zhelanov V.P., Rulev A.V., Usachev M.A., Sherstyuk P.V. *Ustrojstvo dlja ochistki ot tverdyh chastic prirodnogo gaza vysokogo davlenija* [A device for cleaning high-pressure natural gas from solid particles]. Patent RF, no. 2011147260, 2012.

15. Gustov S. V., Shuraitis A.L. Development of recommendations for automatic control of pressure drop values on mesh gas filters. *Neftegazovoe delo* [Oil and gas business], 2014, no. 4, pp. 302–323. (in Russian)

16. Belousov V. V. *Teoreticheskie osnovy processov gazoochistki* [Theoretical foundations of gas purification processes]. Moscow, Metallurgy, 1988. 256 p.

17. Kouzov P.A., Malgin A.D., Scriabin G.M. *Ochistka gazov i vozduha v himicheskoj promyshlennosti* [Gas and air purification in the chemical industry]. St. Petersburg, Khimiya, 1993. 320 p.

18. Mazus M.G., Malgin A.D., Morgulis M.L. *Fil'try dlja ulavlivaniya promyshlennykh pylej* [Filters for capturing industrial dusts]. Moscow, Mashinostroenie, 1985. 240 p.

19. Tien Ch. Principles of Filtration. Elsevier. Oxford. 2013. 360 p.

20. Hutten I.M. Handbook of Nonwoven Filter Media 2nd Edition. Butterworth Heinemann. 2016. 660 p.

21. Idelchik I.E. *Spravochnik po gidravlicheskim soprotivlenijam* [Handbook of hydraulic resistance]. Moscow, Mechanical Engineering, 1975. 559 p.

REFERENCES

1. SP 42-101-2003. General provisions on the design and construction of gas distribution systems made of metal and polyethylene pipes. Moscow: GUP CPP, 2003. 168 p. (In Russian)

2. *Promyshlennoe gazovoe oborudovanie: spravochnik. 6-e izd., pererab. i dop* [Industrial gas equipment: a reference book. 6th ed., reprint. and an additional one]. Saratov, Gazovik, 2013. 1125 p.

3. Birger M. I., Waldberg A. Yu., Myagkov B. I. *Spravochnik po pyle- i zoloulavlivaniyu. 2-e izd., pererab. i dop.* [Handbook of dust and ash collection. 2nd ed., reprint. and additional]. Moscow, Energoatomizdat, 1983. 312 p.

4. Mokhatab S., Poe W.A. Handbook of Natural Gas Transmission and Processing. Second Edition. Elsevier Inc. 2012. 802 p.

5. Guo B., Ghalambor A. Natural Gas Engineering Handbook: 2nd edition. Gulf Publishing Company. Houston. Texas. 2012. 472 p.

Об авторах:

ХОМУТОВ Антон Олегович

кандидат технических наук, заместитель генерального
директора по научному развитию
АО «Гипрониигаз»
410012, Россия, г. Саратов,
пр. имени Петра Столыпина, 54
E-mail: khomutov.anton@gmail.com

KHOMUTOV Anton OI.

PhD of Engineering Sciences, Deputy General Director
for Scientific Development
JSC Giproniigas
410012, Russia, Saratov, Petr Stolypin pr., 54
E-mail: khomutov.anton@gmail.com

УСАЧЕВ Александр Прокофьевич

доктор технических наук, профессор, профессор
кафедры теплогазоснабжения
и нефтегазового дела
Саратовский государственный технический
университет имени Гагарина Ю.А.
410054, Россия, г. Саратов, ул. Политехническая, 77
E-mail: usachev-ap@mail.ru

USACHEV Alexander P.

Doctor of Engineering Sciences, Professor, Professor
of the Heat and Gas Supply and Oil and Gas Chair
Saratov State Technical University
named after Gagarin Yu. A.
410054, Russia, Saratov, Polytechnicheskaya st., 77
E-mail: usachev-ap@mail.ru

РУЛЕВ Александр Владимирович

доктор технических наук, доцент,
профессор кафедры теплогазоснабжения
и нефтегазового дела
Саратовский государственный технический
университет имени Гагарина Ю.А.
410054, Россия, г. Саратов, ул. Политехническая, 77
E-mail: nautech@inbox.ru

RULEV Alexander V.

Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor,
Professor of the Heat and Gas Supply
and Oil and Gas Chair
Saratov State Technical University
named after Gagarin Yu. A.
410054, Russia, Saratov, Polytechnicheskaya st., 77
E-mail: nautech@inbox.ru

Для цитирования: Хомутов А.О., Усачев А.П., Рулев А.В. Разработка метода постоянного мониторинга производительности двухступенчатого фильтра с размещением в одном корпусе цилиндрических фильтрующих кассет предварительной и тонкой очистки // Градостроительство и архитектура. 2025. Т. 15, № 1. С. 32–38. DOI: 10.17673/Vestnik.2025.01.05.

For citation: Khomutov A.O., Usachev A.P., Rulev A.V. Development of a method for continuous monitoring of the performance of a two-stage filter with the placement of cylindrical filter cassettes of preliminary and fine cleaning in one housing. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2025, vol. 15, no. 1, pp. 32–38. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2025.01.05.



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЦЕНТР «ГЕОТЕХНИКА»



Инженерные изыскания, обследования зданий и сооружений, судебная экспертиза, консультационные услуги

Андрей Валентинович МАЛЬЦЕВ
кандидат технических наук, директор

443001, Самара, ул. Молодогвардейская, 194, каб. 0304Б
(846) 339-14-69; 8(987)953-46-23
geotecnika@yandex.ru
geotecnika@ya.ru