

## ЗДЕСА – ПРОГРЕССИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПЫЛЕУЛАВЛИВАНИЯ РУКАВНЫМИ ФИЛЬТРАМИ

В.В.Чекалов,

ООО "ДЕСА",

152025, Ярославская область, г. Переславль-Залесский, пл. Менделеева, д. 2, помещение 6.

Тел./факс (48535) 3-18-36 [E-mail: info@3desa.ru](mailto:info@3desa.ru)

Теоретические исследования микропроцессов взаимодействия микрочастиц с волокнами фильтрующего материала позволяют понять механизмы осаждения пыли. Для этого определена сила сопротивления газовой прослойки между частицей и препятствием путем решения уравнения Больцмана и построения газокинетической теории смазки [1].

$$\begin{aligned} \frac{h^2 \eta}{3} \Delta v - \frac{h}{2} (\eta + 1) \left[ \frac{\partial}{\partial x} \left( h \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( h \frac{\partial v}{\partial y} \right) \right] = \\ = \frac{V'}{1 + \eta^{-1}} \frac{\partial h}{\partial y} + \frac{U_2' - U_1'}{1 + \eta^{-1}} \frac{\partial h}{\partial x} + 2(W_1' - W_2'), \quad \eta = \frac{h}{2\lambda} \end{aligned} \quad (1.10)$$

Это уравнение является уравнением газокинетической теории смазки без учета сжимаемости газа.

Такое теоретическое исследование ясно показывает - основное пылеулавливание происходит на волокнах материала.

- Решение уравнения (1.10) для сферы, осаждающейся в воздухе дает время  $t$  осаждения аэрозоля радиуса  $r$  под действием силы  $P$  с расстояния  $d$  на тело, например, волокно
- $t = 6 \pi \mu r^2 [3/2 + 2 \ln(6Kn^{-1})]/P$ ,
- где  $\mu$  - вязкость газа,  $Kn = \lambda/d$  число Кнудсена, рассчитанное по длине свободного пробега молекул  $\lambda$ .
- В частности пылинка глинозёма с высоты 15 мкм
- радиуса 100 мкм осядет за 0,01 сек,
- а радиуса 10 мкм – за 0,1 сек.
- 

Этот тезис подтвержден экспериментально путем анализа срезов фильтровального рукава, запыленного цементной пылью [2].



*Рис. 1 Лицевая сторона*



*Рис. 2 Изнанка*

В пылеулавливании широко применяются т.н. рукавные (тканевые) фильтры, в которых стремятся разместить максимальную фильтрующую площадь в минимальном объеме. Нам удалось решить эту проблему путем гофрирования фильтровального материала [3].

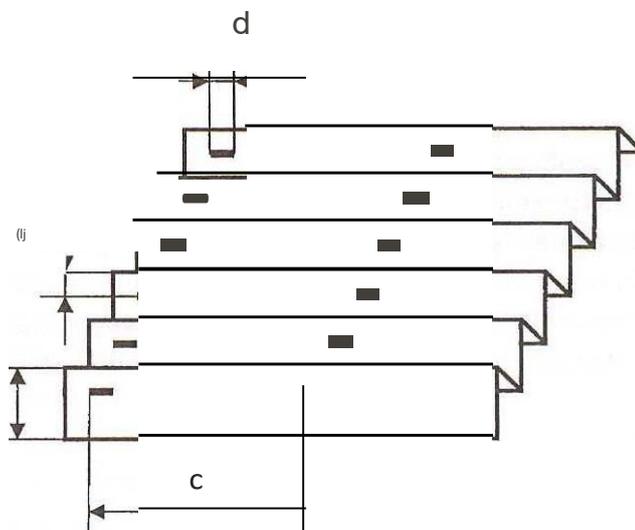


Рис. 4

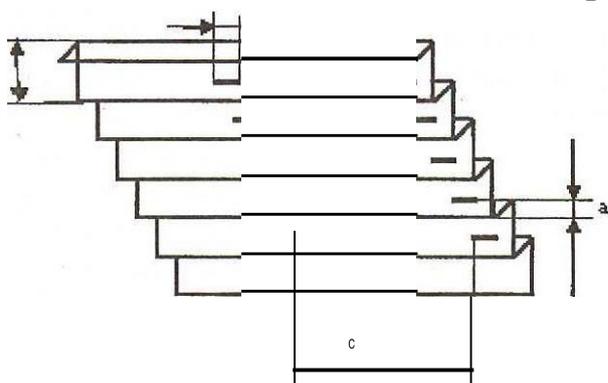


Рис.5

Прочностные характеристики представлены в таблице 1

таблица 1

Прочность закрепок рукавов 3DESA				
Зона сварки	Усилие на разрыв закрепки в поперечном направлении, Н			
	1	2	3	4
Требования ТУ	12,8	12,8	12,8	12,8
Образец 1, 2018 г	20	20	25	25
Образец 2, 2018 г	20	20	2,5	2,5
Образец 3, 2019 г	45	40	40	40
Образец 4, 2019 г	45	45	40	40
Образец 5, 2024 г. Верх	54		67	
Образец 5, 2024 г. Низ	40		71	
Образец 6, 2024 г. Верх	81		84	
Образец 6, 2024 г. Низ	157		101	

Разрывное усилие продольного сварного шва 124,74 Н				

Специалисты ООО «РУСАЛ ИТЦ» [4] обратили практическое внимание на перспективы широкого промышленного применения в России гофрированных фильтровальных рукавов:

«ОК РУСАЛ» расширила область исследования, установив на один из трех модуль-фильтров СГОУ 19-1 гофрированными фильтровальными рукавами отечественной компании, оснащенные фильтровальным материалом импортного производителя и российского завода, одного из лидера по производству в РФ нетканого материала.

По итогам 6-ти месячных испытаний пропускная способность СГОУ увеличилась на 20% при уменьшении токовой нагрузки на дымососные установки. (таблице 2 ).

### Сравнительные данные по эксплуатации СГОУ 19-1

Таблица 2 .

	Фильтр №1	Фильтр №2	Фильтр №3 (гофрированные)	Фильтр №3 (цилиндрические)
Температура, С <sup>0</sup>	57	55	58	54
Скорость, м/с	18,2	15,6	22,4	18,9
Объёмный расход, нм <sup>3</sup> /ч	50280	43490	61610	53220

Это решение, в виде 3-х мерного текстиля, открыло возможность создания разнообразных конструкций фильтровальных рукавов.

Одновременно, наличие множества вариантов поставило задачи выбора определяющих параметров рукавного фильтра. Мы выделили 5 таких безразмерных параметров [5]

### Критерии подобия течений в рукавном фильтре

Разнообразие конструкций рукавных фильтров, различные способы их модернизации ставит

задачу формулировки ясных критериев подобия течений в рукавных фильтрах. Необходимо определить

минимальный набор параметров, не зависящих от габаритов установки, определяющих течение

пылегазового потока в рукавном фильтре. Для этого удобно применить П-теорему.

Параметры, определяющие течения в рукавном фильтре

$C_v$  – входная запыленность;

$C$  - выходная запыленность;

Q – расход газа;

Sф – площадь фильтрации;

Fp – межрукавная площадь;

Vвит – скорость витания пыли;

dPвент – перепад давления на фильтре;

qфм – воздухопроницаемость фильтровального материала;

dРимп – давление импульса (в ресивере);

w - частота импульса сжатого воздуха;

D – средний размер частиц пыли.

В безразмерных параметрах:

C/ Cv = c – степень очистки;

$Cv Q q_{фм} / dP_{вент} S_{ф} = Gof$  – пылевое сопротивление комплекта рукавов (изменение пылевой

нагрузки на материал рукавов  $Cv Q / S_{ф}$ , отнесенное к изменению давления на материал рукавов

$dP_{вент} / q_{фм}$ );

$S_{ф} / Fp = Sof$  – степень компактности фильтра;

$Q / Fp V_{вит} = V_{can}$  – число межрукавной скорости;

$Cv w q_{фм} D / dP_{имп} = Bag$  – пылевое давление на рукава в отношении к давлению импульса;

$S_{ф} D w / Q = Reg$  – показатель регенерации материала рукавов (Скорость регенерации D w отнесенная к скорости фильтрации Q/ Sф).

Пять критериев подобия течений в рукавных импульсных фильтров:

$$Gof = Cv Q q_{фм} / dP_{вент} S_{ф} = \text{item (1)}$$

$$Sof = S_{ф} / Fp = \text{item (2)}$$

$$V_{can} = Q / Fp V_{вит} = \text{item (3)}$$

$$Bag = Cv w q_{фм} D / dP_{имп} = \text{item (4)}$$

$$Reg = S_{ф} D w / Q = \text{item (5)}$$

Результаты правильного применения технологии ЗДЕСА впечатляющие, как в конструировании новых аппаратов, так и в реконструкции действующих: увеличение производительности, снижение выбросов, увеличение срока службы и т.д.. [6]

Например, на одном из алюминиевых заводов фильтровальными элементами «ЗДЕСА-фильтрпатрон» длиной 5 м (всего 5376 шт.) была укомплектована ГОУ из 14 фильтров. Обычно, на гладких фильтровальных рукавах межимпульсный интервал на этой ГОУ составляет 50 сек. После комплектации новыми рукавами всех 14 фильтров этом

межимпульсный интервал увеличился до 600 с для рукавов с «3DESA-фильтрпатрон». Это так неожиданно, что служба эксплуатации заглушила 2 фильтра. Для оставшихся 12 фильтров межимпульсный интервал, составил до (в среднем) 200 с и более (рис. 3).

Рукава отработали 4 года,

Пример модернизации рукавного фильтра по технологии 3DESA [3]. Его состав и изначальные условия эксплуатации в производстве минерального порошка были следующие:

- дымосос ДН-12,5 мощностью 75 кВт, 1500 об/мин;
- группа циклонов – 6 шт. производительностью 35–40 тыс. м<sup>3</sup>/ч;
- относительная влажность сырья – 4–12 %;
- температура на выходе из сушильного барабана – 160–200 °С;
- цилиндрические фильтрующие рукава (длина – 2000 мм, диаметр – 160 мм, расстояние между рукавами – 70 мм). Всего 80 рукавов. Площадь фильтрации – 90 м<sup>2</sup>;
- расход газа – 25–40 тыс. м<sup>3</sup>/ч. Газовая нагрузка – 5–9 м/мин;
- межрукавная скорость – 3,64 м/с;
- давление импульса – 12 атм.

Проблемы заключались в том, что рукава рвались, дымосос работал на максимальной производительности, горелка горела наполовину своей мощности, а межимпульсный интервал составлял всего 12 с. В результате фильтр был перегружен, и производство остановилось. ...

После модернизации площадь фильтрации увеличилась с 90 до 320 м<sup>2</sup> (!) при тех же количестве рукавов и расходе газа (25–40 тыс. м<sup>3</sup>/ч) (рис. 2). Снизились газовая нагрузка (с 5,0–9,0 до 1,3–2,0 м/мин) и межрукавная скорость (с 3,64 до 2,1–3,4 м/с). В результате производство заработало на полную мощность (горелка – на максимуме), и при этом дымосос справлялся со своей задачей, работая лишь на половину своей максимальной производительности.



Рис. 6. Рукавный фильтр после модернизации

Вывод. Разработана промышленная прогрессивная технология пылеулавливания рукавными фильтрами, обеспечивающая импортозамещение в этой отрасли.

#### Литература:

1. В.В. Чекалов О газокинетической теории смазки. Изв. АН СССР, Механика жидкости и газа. № 1, 1984 с.161-166. V. V. Chekalov Gas-kinetic theory of lubrication. [Fluid Dynamics Volume 19, Number 1 / Январь 1984 г.](#) pp. 140-145 МАИК Nauka/Interperiodica distributed exclusively by Springer Science+Business Media LLC. Translated from Izvestiya Akademii Nauk SSSR, Mekhanika Zhidkosti i Gaza, No. 1, pp. 161–166, January–February, 1984.
2. [ivancovs](#) Цементная пыль Рукавный фильтр под микроскопом. <https://www.youtube.com/watch?v=NX4hY58yOuw>
3. В.В. Чекалов Фильтрующий материал. Патент РФ № 2404840,
4. А.С. Жердев, Ю.В. Богданов, С.Ю. Павлов , А.Г. Берняцкий, А.И. Чащин, С.В. Белоусов Модернизация систем сухой газоочистки в производстве алюминия электролизом за счет применения рукавов с дифференцируемой площадью фильтрации. **Цветные металлы и минералы - 2017** [Электронный ресурс] : Сборник докладов Девятого международного конгресса (Красноярск, 11-15 сентября, 2017). – Электрон. текстовые дан. – Красноярск: Научно-инновационный центр, 2017 с. 353 – 360
5. В.В. Чекалов Модернизация рукавного фильтра с использованием рукавов из гофрированного иглопробивного полотна. (ООО «ДЕСА»). Сборник докладов и каталог XV международной конференции «ПЫЛЕГАЗООЧИСТКА-2022», с.46-50.
6. В.В. Чекалов О модернизации рукавного фильтра и электрофильтра в гибридный с использованием рукавов из гофрированного иглопробивного полотна. (ООО «ДЕСА») Сборник докладов и каталог XVI международной конференции «ПЫЛЕГАЗООЧИСТКА-2023», с. 98 - 102

### 3DESA - PROGRESSIVE TECHNOLOGY FOR DUST COLLECTION WITH BAG FILTERS

V.V. Chekalov

DESA Co. Ltd

Mendeleeva sq.2, room 6, 152025, Pereslavl-Zalessky, Yaroslavl region, Russian federation  
Tel./fax +7 (48535) 3-18-36 [E-mail: info@3desa.ru](mailto:info@3desa.ru)

It is possible to understand the mechanic of the dust sedimentation by theoretical study microprocess of interaction microparticles with the fibers of the filter media. The force or the resistant of the gas layer between dust particle and the body was determinate by solution of the Boltzman aqutation and by construction gas-kinetic theory of the lubrication [1]. This theoretical study show clear that the general dust filtration spring from the surface of the fibers of filter media.

Experimental tested of this thesis was make by microscope analyze of the cuttings the filter bags with cement dust [2].

$$\begin{aligned} & \frac{h^2 \eta}{3} \Delta v - \frac{h}{2} (\eta + 1) \left[ \frac{\partial}{\partial x} \left( h \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( h \frac{\partial v}{\partial y} \right) \right] = \\ & = \frac{V'}{1 + \eta^{-1}} \frac{\partial h}{\partial y} + \frac{U_2' - U_1'}{1 + \eta^{-1}} \frac{\partial h}{\partial x} + 2(W_1' - W_2'), \quad \eta = \frac{h}{2\lambda} \end{aligned} \quad (1.10)$$

Это уравнение является уравнением газокинетической теории смазки без учета  
вязкости газа.

Such a theoretical study clearly shows that the main dust collection occurs on the fibers of the material.

The solution of equation (1.10) for a sphere deposited in air gives the time  $t$  of deposition of an aerosol of radius  $r$  under the action of a force  $P$  from a distance  $d$  on a body, for example, a fiber

$$t = 6 \pi \mu r^2 [3/2 + 2 \ln(6Kn^{-1})] / P,$$

where  $\mu$  is the viscosity of the gas,  $Kn = \lambda/d$  is the Knudsen number calculated from the free path of the molecules  $\lambda$ . In particular, a speck of alumina from a height of 15 microns radius of 100 microns will settle in 0.01 seconds, and a radius of 10 microns – in 0.1 seconds.

This thesis has been confirmed experimentally by analyzing of the cross sections the filter bag dusted with cement dust [2].

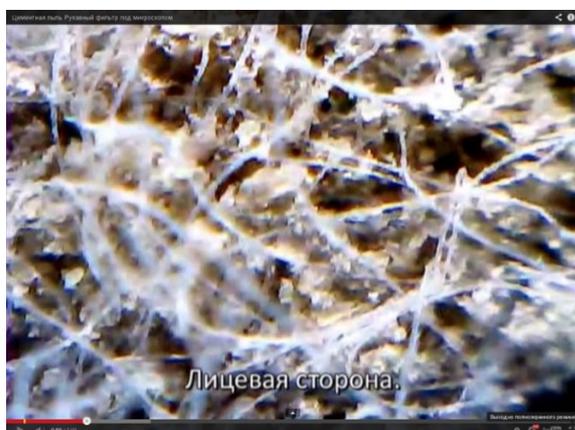


Fig. 1 Front side



Fig. 2 Inside out

In many industries use bag filters (fabric filters), in that try to have maximal filtering square in the minimal volume. We solve this problem by the way to goffered the filter media [3].

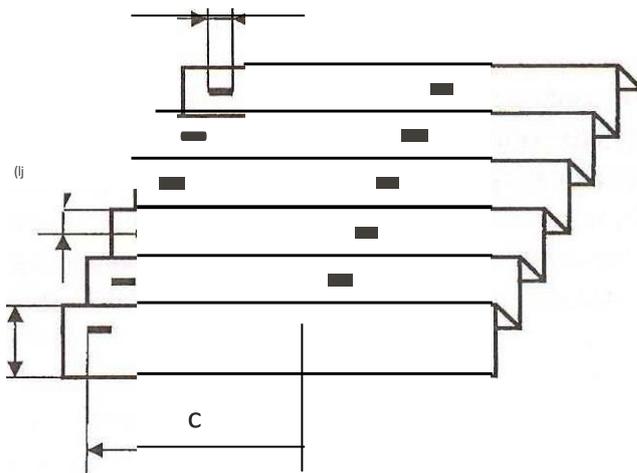


Fig. 4

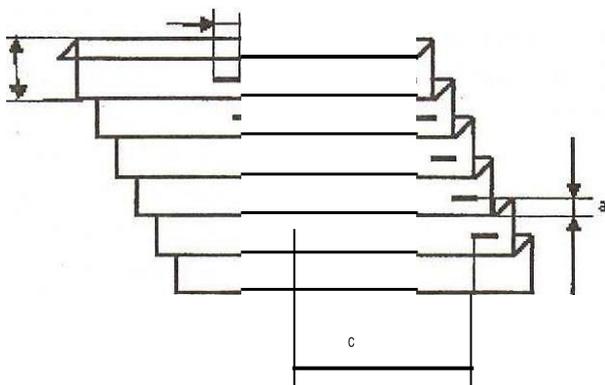


Fig.5

The engineers of RUSAL ITC Co. ltd [4] was one of the first who was see the perspective of the wide industrial applications goffered filter bags in the Russia.

"UC RUSAL" has expanded the field of research by installing on one of the three CGO 19-1 filter modules corrugated filter sleeves of a domestic company equipped with filter material from an imported manufacturer and a Russian factory, one of the leaders in the production of non-woven materials in the Russian Federation. According to the results of 6-month tests, the throughput of the CGO increased by 20% with a decrease in the current load on the smoke extraction plants. (Table 1).

Comparative data on the operation of GO 19-1

Table 1

	Filter No. 1	Filter No.2	<b>Filter No.3 (corrugated)</b>	Filter No.3 (cylindrical)
Temperature, C <sup>0</sup>	57	55	<b>58</b>	54
Speed, m/s	18.2	15.6	<b>22.4</b>	18.9
Volumetric flow rate, nm <sup>3</sup> /h	50280	43490	<b>61610</b>	53220

This 3D textile solution was open new opportunity for constructions new different types of the filter bags.

At the same time this many variants bring the problem to elect determinate parameters of the flow in the filter house. We find 5 dimensionless parameters [5].

### **Criteria for the similarity of currents in a bag filter**

The variety of bag filter designs and various ways of their modernization poses

the task of formulating clear criteria for the similarity of flows in bag filters. It is necessary to determine the minimum set of parameters that do not depend on the dimensions of the installation, which determine the flow of the dust and gas flow in the bag filter. To do this, it is convenient to apply the II -theorem.

Parameters determining the flow in the bag filter

Cv-input dustiness;

C-output dustiness;

Q-gas flow;

SF-filtration area;

Fp-inter-bags area;

Vbit - the sedimentation speed of the dust;

dPvent-differential pressure on the filter;

QPM-breathability of filter material;

dPumn-pulse pressure (in receiver);

w-pulse frequency of compressed air;

D is the average size of the dust particles.

In dimensionless parameters:

$C / C_v = C$ -degree of purification;

$C_v Q_{qfm} / dP_{vent} SF = Gof$ -dust resistance of bag set (change dust resistance filtering material loads  $C_v Q / SF$  related to change in pressure on sleeve material  $dP_{vent} / QPM$ );

$SF / F_p = Sof$ -the degree of compactness of the filter;

$Q / F_p V_{bit} = V_{can}$  - number of inter bags speed;

$C_v w QPM D / dP_{umn} = Bag$ -dust pressure on the bags in relation to the pulse pressure;

$SF D w / Q = Reg$ -the regeneration rate of the filtering material (regeneration rate  $D w$  relative to the filtration rate  $Q / SF$ ).

#### **Five criteria for the similarity of currents in bag pulse filters:**

$Gof = C_v Q_{qfm} / dP_{vent} SF = \text{item (1)}$

$Sof = SF / F_p = \text{item (2)}$

$V_{can} = Q / F_p V_{bit} = \text{item (3)}$

$Bag = C_v w_{qfm} D / dP_{umn} = \text{item (4)}$

$Reg = SF D w / Q = \text{item (5)}$

The results of right use of the technology 3DESA (3D Economical System of Aspiration) are impress as in in constructions new filter house that in the reconstruction that:

increase the volume of gas, increase the live time and so... [6]

For example, at one of the aluminum plants, the filter elements "3DESA-

filtratron" with a length of 5 m (total 5376 pcs.) were equipped with a GO of 14 filters. Usually, on smooth filter bags, the pulse interval on this GO is 50 seconds. After completing all 14 filters with new bags, the pulse interval increased to 600 s for bags with a "3DES filter patrone". It's so unexpected that the maintenance service has turned off 2 filters. For the remaining 12 filters, the pulse interval was up to (on average) 200 seconds or more (fig. 3).

The sleeves have worked for 4 years,

An example of upgrading a bag filter using 3DESA technology [3]. Its composition and initial operating conditions in the production of mineral powder were as follows:

- smoke ventilator DN-12.5 with a capacity of 75 kW, 1500 rpm;
- cyclone group – 6 units with a capacity of 35-40 thousand m<sup>3</sup>/h;
- relative humidity of raw materials – 4-12 %;

- the temperature at the outlet of the drying drum is 160-200 °C;
- cylindrical filter sleeves (length – 2000 mm, diameter – 160 mm, distance between bags – 70 mm). There are 80 bags in total. Filtration area – 90 m<sup>2</sup>;
- gas consumption – 25-40 thousand m<sup>3</sup>/h. Gas load – 5-9 m/min;
- inter bags speed - 3.64 m/s;
- Pulse pressure – 12 atm.

The problems were that the bags were torn, the smoke ventilator was working at maximum capacity, the burner was burning at half its capacity, and the pulse interval was only 12 seconds. As a result, the filter was overloaded and production stopped. ...

After modernization, the filtration area increased from 90 to 320 m<sup>2</sup> (!) with the same number of hoses and gas consumption (25-40 thousand m<sup>3</sup>/h) (Fig. 6). The gas load decreased (from 5.0–9.0 to 1.3–2.0 m/min) and the inter bags speed (from 3.64 to 2.1–3.4 m/s). As a result, production started at full capacity (the burner was at maximum), and at the same time the smoke pump coped with its task, working only at half of its maximum productivity.



Fig. 6. Bag filter after modernization

### Conclusion:

**An industrial progressive dust extraction technology with bag filters has been developed, which ensures import substitution in this industry.**

### REFERENCES

1. V. V. Chekalov Gas-kinetic theory of lubrication. [e. Volume 19, Number 1 / Январь 1984 г.](#) pp. 140-145 MAIK Nauka/Interperiodica distributed exclusively by Springer Science+Business Media LLC. Translated from Izvestiya Akademii Nauk SSSR, Mekhanika Zhidkosti i Gaza, No. 1, pp. 161–166, January–February, 1984.
2. [ivancovs](#) Cement dust. Filter bag on the microscope. <https://www.youtube.com/watch?v=NX4hY58yOuw>
3. V.V. Chekalov Filtering material. Patent RF № 2404840,
4. *A.S. Zherdev, Yu.V. Bogdanov, S.Yu. Pavlov, A.G. Bernyatsky, A.I. Chashchin, S.V. Belousov* BAGS WITH DIFFERENTIABLE FILTERING AREA TO UPGRADE DRY

GAS SCRUBBING SYSTEMS FOR ELECTROLYTIC PRODUCTION OF ALUMINUM. Non-Ferrous Metals & Minerals - 2017: Book of Papers of the Ninth International Congress (Krasnoyarsk, Russia, September 11-15, 2017). – Krasnoyarsk: Science and Innovation Center Publishing House, 2017. pp. 353 – 360

5. V.V. Chekalov Modernization of a Baghouse Filter Using Filter Bags Made of Pleated Nonwoven. (DESA Co. ltd). Reports and catalog XV international conference «Pilegazoochistka-2022», pp.46-50.
6. V. V. Chekalov Retrofitting an electrostatic precipitator into a hybrid electrostatic precipitator by filter bags made of pleated nonwoven. (DESA Co. ltd) Reports and catalog XVI international conference «Pilegazoochistka -2023», pp. 98 - 102