

## РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ВДУВАЕМОЙ МАССЫ СМАЗОЧНО-ДЕЗОКСИДИРУЮЩЕГО МАТЕРИАЛА

**В.И. Кузнецов**<sup>1</sup>, [kuznetcovvi@rosniti.ru](mailto:kuznetcovvi@rosniti.ru)  
**Д.К. Соколов**<sup>1,2</sup>, [sokolov@rosniti.ru](mailto:sokolov@rosniti.ru)  
**А.А. Кривошеев**<sup>1</sup>, [krivosheev@rosniti.ru](mailto:krivosheev@rosniti.ru)  
**Е.Ю. Пашнина**<sup>1</sup>, [pashnina@rosniti.ru](mailto:pashnina@rosniti.ru)  
**В.С. Гладких**<sup>1</sup>, [Gladkih@rosniti.ru](mailto:Gladkih@rosniti.ru)  
**О.А. Панасенко**<sup>3</sup>, [PanasenkoOA@stw.ru](mailto:PanasenkoOA@stw.ru)  
**В.Л. Нерозников**<sup>4</sup>, [NeroznikovVL@tagmet.ru](mailto:NeroznikovVL@tagmet.ru)  
**А.В. Красиков**<sup>5</sup>, [krasikovAV@vtz.ru](mailto:krasikovAV@vtz.ru)

<sup>1</sup> АО «Русский научно-исследовательский институт трубной промышленности» (АО «РусНИТИ»), Челябинск, Россия

<sup>2</sup> Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

<sup>3</sup> АО «Северский трубный завод», Полевской, Россия

<sup>4</sup> АО «Таганрогский металлургический завод» (АО «ТАГМЕТ»), Таганрог, Россия

<sup>5</sup> АО «Волжский трубный завод», Волжский, Россия

**Аннотация.** Важнейшей задачей повышения эффективности производства труб является задача улучшения качества производимой продукции. Дальнейшее развитие и совершенствование технологии производства труб связаны с изучением условий контактного взаимодействия в паре «инструмент – деформируемый металл», в частности с созданием разделительного слоя. Применение современных смазочно-дезоксирующих материалов (далее СДМ) и современного оборудования для их нанесения позволяет добиться гарантированного разделения контактных поверхностей. Также создание разделительного слоя позволяет получить значительное преимущество с точки зрения повышения качества готовых труб, эксплуатационной надёжности готовой продукции, снижения стоимости производства и интенсификации процессов деформирования. Однако неравномерное распределение СДМ по внутренней поверхности гильзы приводит к снижению качества внутренней поверхности готовых труб, а также к неравномерному износу оправок непрерывных станов. Одной из причин отсутствия гарантированного разделения контактных поверхностей является несоответствие выдуваемой порции СДМ заданному значению. В статье приведено описание принципа работы стандартных циклонов и произведен расчет стандартной конструкции циклона. Приведены результаты компьютерного моделирования работы циклона стандартной конструкции и модернизированного. Также представлены результаты физических экспериментов по улавливанию частиц.

**Ключевые слова:** производство бесшовных горячекатаных труб, смазочно-дезоксирующие материалы, качество труб, стойкость оправок, оборудование для обработки внутренней поверхности гильзы, циклонный пылеулавливатель, улавливатель СДМ

**Для цитирования:** Разработка конструкции для контроля вдуваемой массы смазочно-дезоксирующего материала / В.И. Кузнецов, Д.К. Соколов, А.А. Кривошеев и др. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». 2022. Т. 22, № 2. С. 74–85. DOI: 10.14529/met220208

Original article

DOI: 10.14529/met220208

## DEVELOPMENT OF A DEVICE FOR CONTROLLING THE INJECTED MASS OF THE LUBRICANT AND DEOXIDIZING MATERIAL

V.I. Kuznetsov<sup>1</sup>, kuznetcovvi@rosniti.ru

D.K. Sokolov<sup>1,2</sup>, sokolov@rosniti.ru

A.A. Krivosheev<sup>1</sup>, krivosheev@rosniti.ru

E.Yu. Pashnina<sup>1</sup>, pashnina@rosniti.ru

V.S. Gladkikh<sup>1</sup>, Gladkikh@rosniti.ru

O.A. Panasenko<sup>3</sup>, PanasenkoOA@stw.ru

V.L. Neroznikov<sup>4</sup>, NeroznikovVL@tagmet.ru

A.V. Krasikov<sup>5</sup>, krasikovAV@vtz.ru

<sup>1</sup> The Russian Research Institute of the Tube & Pipe Industries, Joint Stock Company (RusNITI JSC), Chelyabinsk, Russia

<sup>2</sup> South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

<sup>3</sup> Seversky Pipe Plant JSC, Polevskoy, Russia

<sup>4</sup> Taganrog Metallurgical Plant JSC (TAGMET JSC), Taganrog, Russia

<sup>5</sup> Volzhsky Pipe Plant JSC, Volzhsky, Russia

**Abstract.** The most important task of increasing pipe production efficiency is the task of improving the quality of manufactured products. Further development and improvement of pipe manufacturing technology is connected with studying the conditions of contact interaction in the pair “tool – deformed metal”, in particular with creation of separating layer. Application of modern lubricant-deoxidizing materials (hereinafter deoxidant) and modern equipment for their application allows to achieve guaranteed separation of contact surfaces. Also creating of separating layer provides significant advantage in terms of improving the quality of finished tubes, operational reliability of finished products, reducing the cost of production and intensification of deformation processes. However, the uneven distribution of the deoxidant on the inner surface of the sleeve leads to a decrease in the quality of the inner surface of the finished tube, as well as to the uneven wear of the mandrels of continuous mills. One of the reasons for lack of guaranteed separation of contact surfaces is mismatch of blown out portion of deoxidant with the set value. The article describes the principle of operation of standard cyclones and calculates the standard cyclone design. The results of computer simulation of a cyclone of standard design and a modernized cyclone are presented. Also presented the results of physical experiments on particle capture.

**Keywords:** production of seamless hot-rolled pipes, lubricating & deoxidizing materials, pipe quality, mandrel durability, equipment for processing the inner surface of a hollow shell, cyclone dust collector, collector of deoxidizing materials

**For citation:** Kuznetsov V.I., Sokolov D.K., Krivosheev A.A., Pashnina E.Yu., Gladkikh V.S., Panasenko O.A., Neroznikov V.L., Krasikov A.V. Development of a device for controlling the injected mass of the lubricant and deoxidizing material. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy.* 2022;22(2): 74–85. (In Russ.) DOI: 10.14529/met220208

Технология производства бесшовных горячекатаных труб на ТПА с непрерывными станами для борьбы с окалиной предусматривает использование смазочно-дезоксидирующего материала, далее (СДМ), а также оборудования для их нанесения [1–12]. Недостаточное количество СДМ на внутренней поверхности гильзы приводит к снижению качества внутренней поверхности готовых труб, а также к неравномерному износу оправок непрерывных станов. Одной из причин отсутствия гарантированного разделения контактных по-

верхностей является несоответствие вдуваемой порции СДМ заданному значению [13–15].

Для определения фактической порции вдуваемого СДМ поставлена задача разработать устройство, позволяющее улавливать поток частиц размером менее 200 мкм, выходящих из соплового отверстия форсунки, со следующими требованиями: высота – не более 1,5 м; процент улавливания – не менее 90 % при давлениях до 3 бар.

За основу принята конструкция стандартного устройства циклонного пылеулав-

ливателя, принцип очистки которого инерционный – с использованием центробежной силы (рис. 1). Исходный газ поступает в корпус тангенциально через штуцер (входной патрубок). За счет того, что газ вводится тангенциально, он приобретает вращательное движение вокруг трубы, которая располагается соосно с корпусом и осуществляет вывод очищенного газа. Таким образом, внутри циклонного пылеулавливателя образуются два потока, движущихся по траектории спиралеобразной формы. Исходный газ образует внешний поток и движется вниз вдоль стенок корпуса. При этом содержащиеся в нем частицы пыли под действием центробежной силы отбрасываются к стенкам. Очищенный газ образует внутренний поток. Он поднимается вверх и выводится наружу. Концентрация твердых частиц образуется у стенок корпуса и под действием потоков направляется в разгрузочный бункер.

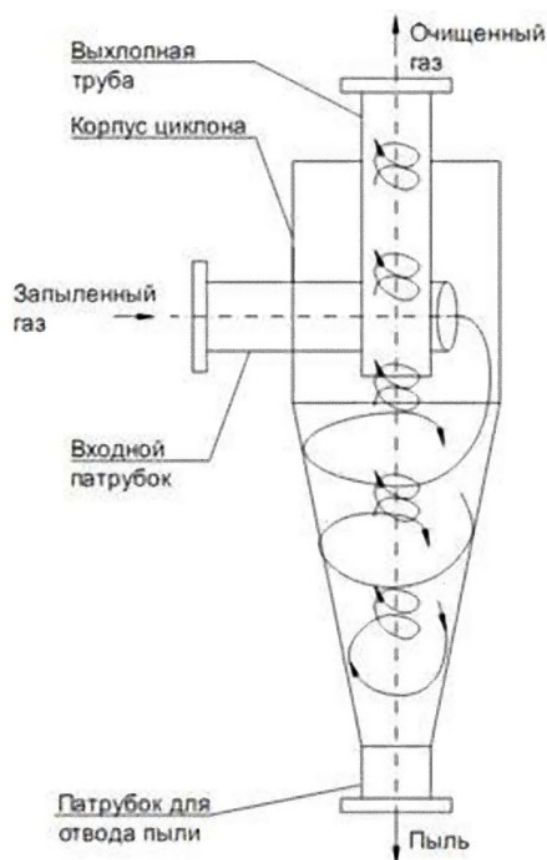


Рис. 1. Принцип работы циклонного пылеулавливателя  
Fig. 1. Working principle of cyclone dust collector

Циклонные пылеулавливатели обладают рядом отличительных свойств:

- простая конструкция;
- отсутствие движущихся частей;
- возможность работать с химически агрессивными средами.

К недостаткам стоит отнести высокое гидравлическое сопротивление, большие габаритные размеры. Однако увеличить эффективность осаждения частиц мелких размеров можно за счет уменьшения диаметра циклонного пылеулавливателя и увеличения скорости потока в нем. Это, в свою очередь, приведет к росту сопротивления и некоторому снижению эффекта очистки за счет вторичного захвата отсепарированных частиц.

Степень очистки газовзвесей в циклонных пылеулавливателях достигает 96–99 % при содержании частиц размером 20 мкм, 70–95 % – при наличии частиц размером 10 мкм и 30–85 % – если размер частиц составляет 5 мкм [16].

Предварительно за основу расчета приняты стандартные расчеты циклонных пылеулавливателей НИИГАЗ (ЦН). Расчетные максимально возможные КПД стандартных моделей ЦН-11, ЦН-15, ЦН-24 не удовлетворяют поставленным требованиям, при этом пылеулавливатели имеют большие габариты (табл. 1).

Для повышения процента улавливания принято решение разработать специальную конструкцию для улавливания смазочно-дезоксидирующего материала (улавливатель СДМ). За аналог выбрана конструкция устройства (циклона), описанного в патенте № 2006291 [17]. Циклон работает следующим образом: пылегазовая смесь по патрубку 3 (рис. 2) поступает тангенциально или спирально в кольцевое пространство между корпусом циклона 2 и выходным патрубком 4, образуя внешний густо запыленный поток из частиц пыли, отбрасываемых к стенке циклона центробежной силой, опускающийся вниз по спирали к пылевыгрузочному патрубку 5. При этом организатор потока 1 препятствует захвату частиц, не успевших дойти до стенки корпуса, потоком, поднимающимся в виде закрученного вихря в выходной патрубок 4. Эффективность осаждения пыли в циклоне при этом повышается.

В связи с тем, что конструкция улавливателя СДМ не поддается стандартному расчету, проведено сравнительное компьютерное моделирование работы циклонного пылеулавливателя стандартной конструкции и улавли-

Таблица 1  
Результаты расчета стандартных циклонных пылеулавливателей  
Table 1  
Calculation results of standard cyclone sludge collectors

	ЦН-11	ЦН-15	ЦН-24
Диаметр, м	1	1	0,9
Высота, м	4,38	6,968	4,26
КПД, %	70	70	72

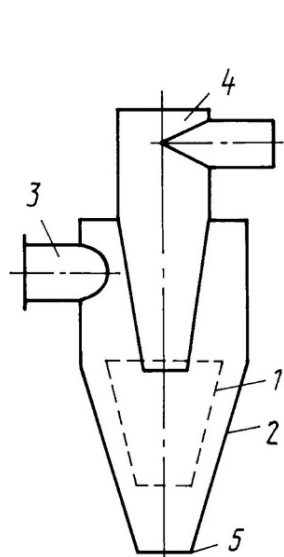


Рис. 2. Конструкция циклона  
Fig. 2. Cyclone design

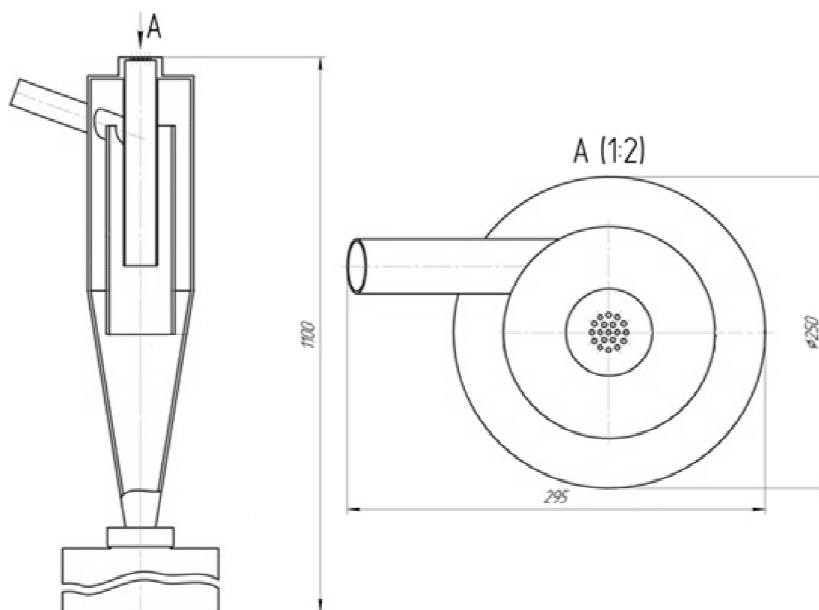


Рис. 3. Габариты улавливателя СДМ  
Fig. 3. Lubricant-deoxidizing material catcher dimensions

вателя СДМ с удовлетворяющими нас габаритами и рассчитанными геометрическими размерами конструктивных элементов (рис. 3).

Моделирование осуществлено с использованием метода конечных элементов в программном комплексе Solid Works Flow Simulation.

При постановке модели использованы следующие параметры моделирования:

- тип задачи – внешняя;
- гравитация – включена;
- тип расчета – нестационарный;
- время подачи порошка – 5 с;
- текучая среда – воздух;
- начальная температура текучей среды и твердых тел – 20 °С;
- давление окружающей среды – 1 бар;
- давление подачи порошка – 3 бар (приблизительный расход газа 0,05 кг/с).

По результатам моделирования зафиксированы траектория полета частиц диаметрами 100, 50, 20, 10 и 5 мкм. Результаты моделирования представлены на рис. 4–6.

По результатам проведенного сравнительного компьютерного моделирования сделан вывод о том, что наличие вставки в модернизированном циклонном пылеулавливателе способствует осаждению частиц диаметром до 10 мкм включительно (см. рис. 5) за счет препятствования их попадания в поток исходящего воздуха (см. рис. 4). При этом частицы размером менее 10 мкм попадают в поток исходящего воздуха и выводятся наружу в обоих вариантах исполнения улавливателя (см. рис. 6).

Для подтверждения результатов моделирования проведен эксперимент по улавливанию частиц СДМ. Модернизированный циклонный пылеулавливатель изготовлен на основе конструкторской документации, разработанной по результатам моделирования (рис. 7). Материалом для изготовления выбран пластик с целью уменьшения массы устройства.

Размеры частиц порошка: до 100 мкм – 45 %, до 63 мкм – 20 %, менее 63 мкм – остальное. Полученные по результатам испытаний

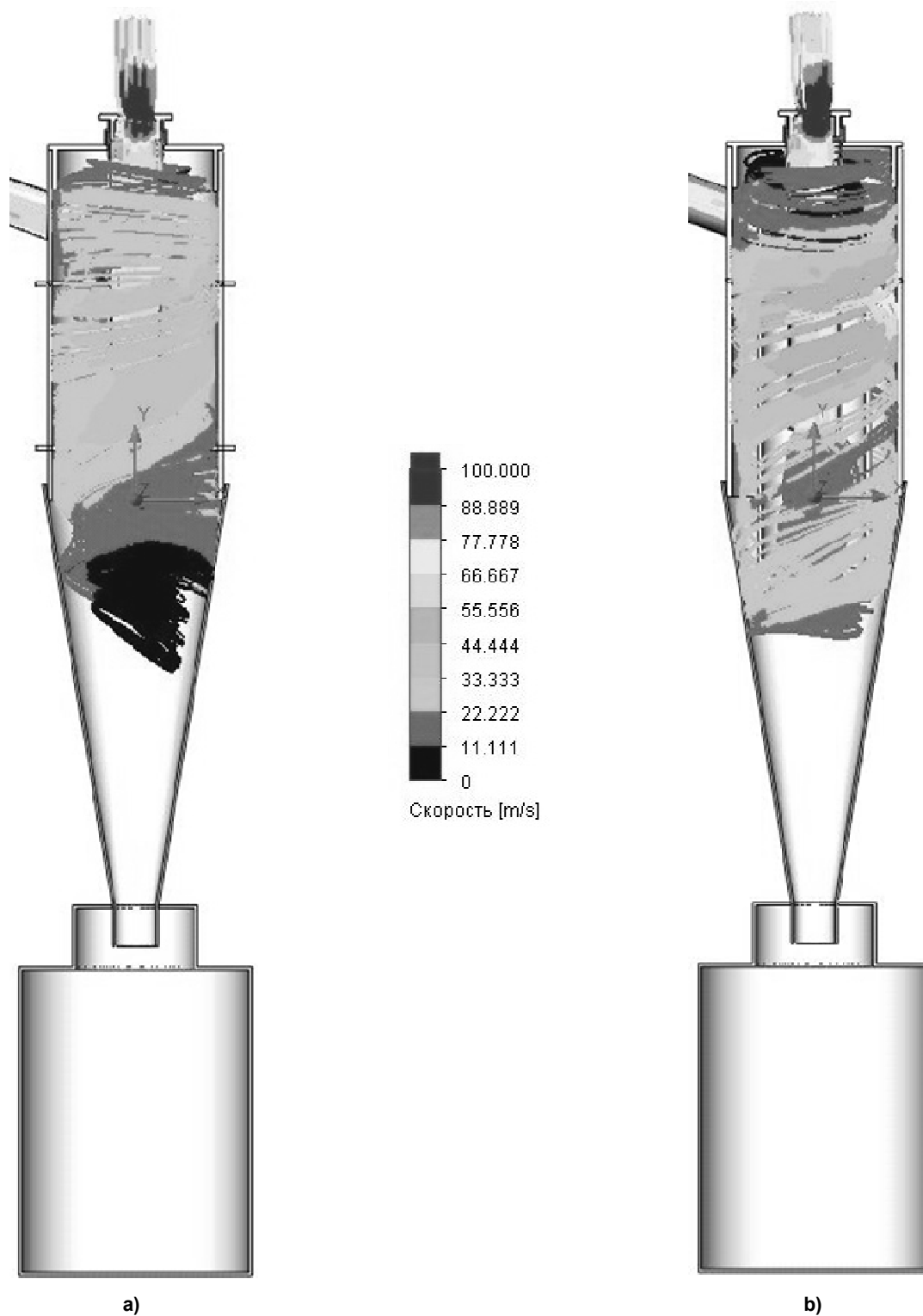


Рис. 4. Траектории движения потока газа в циклонном пылеуловителе стандартной конструкции (а), уловителе СДМ (б)  
Fig. 4. Gas flow trajectories in cyclone dust collector of standard design (a), lubricant-deoxidizing material trap (b)

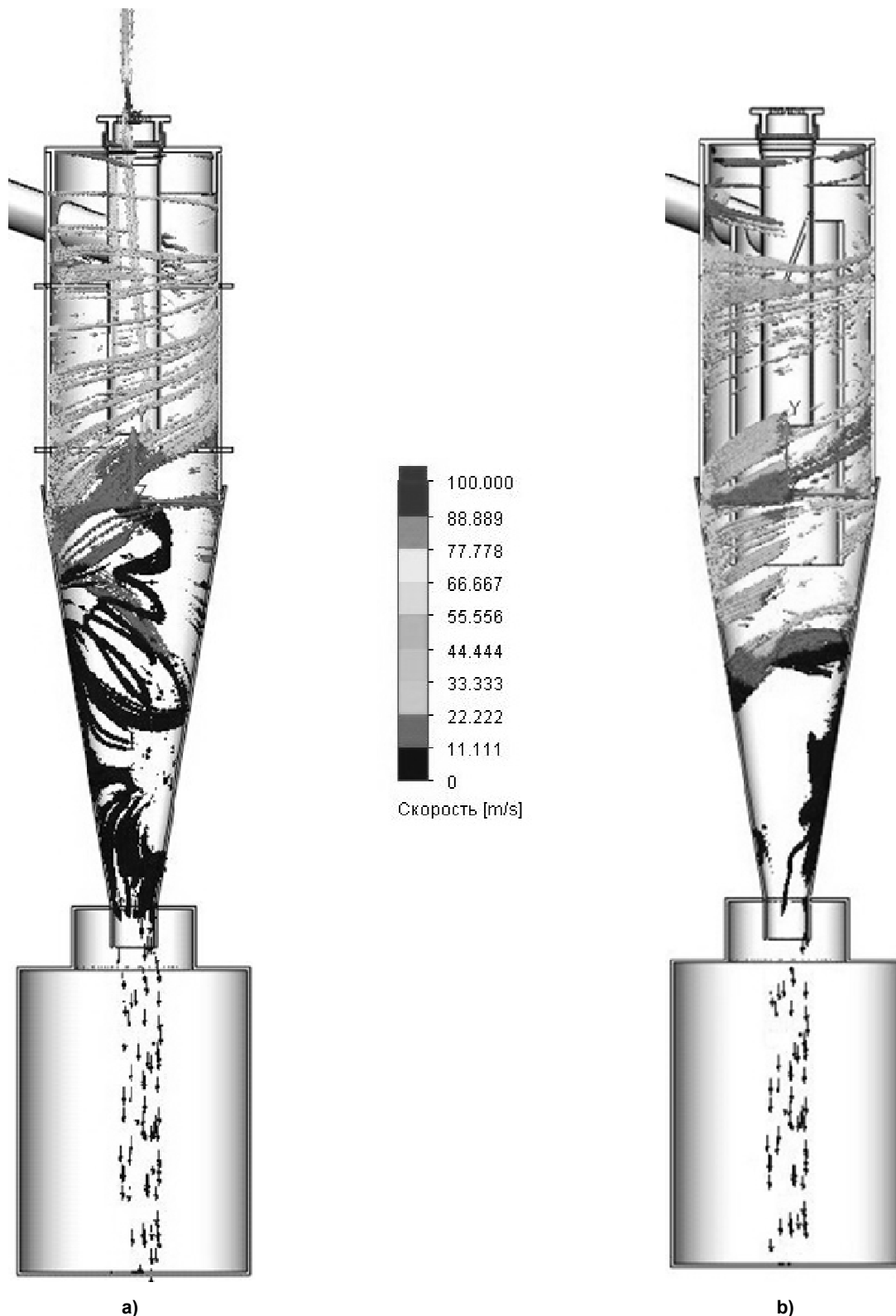


Рис. 5. Траектории полета частиц 100, 50, 20, 10 мкм в циклонном пылеулавливателе стандартной конструкции (а), улавливателе СДМ (б)

Fig. 5. Flight paths of particles 100, 50, 20, 10 microns in cyclone dust collector of standard design (a), lubricant-deoxidizing material trap (b)

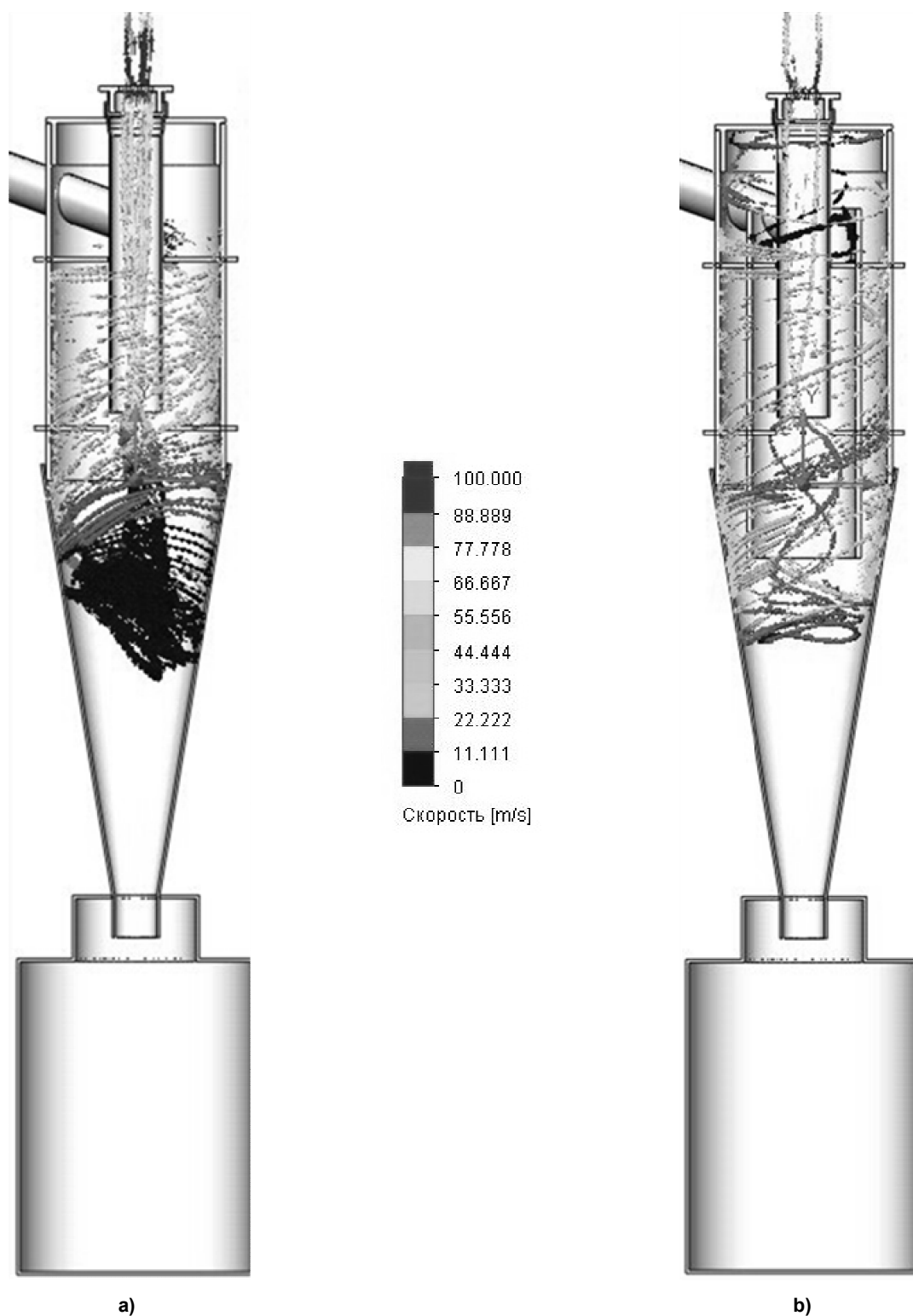


Рис. 6. Траектории полета частиц 5 мкм в циклонном пылеуловителе стандартной конструкции (а), уловителе СДМ (б)  
Fig. 6. Flight paths of 5 μm particles in cyclone dust collector of standard design (a), lubricant-deoxidizing material trap (b)

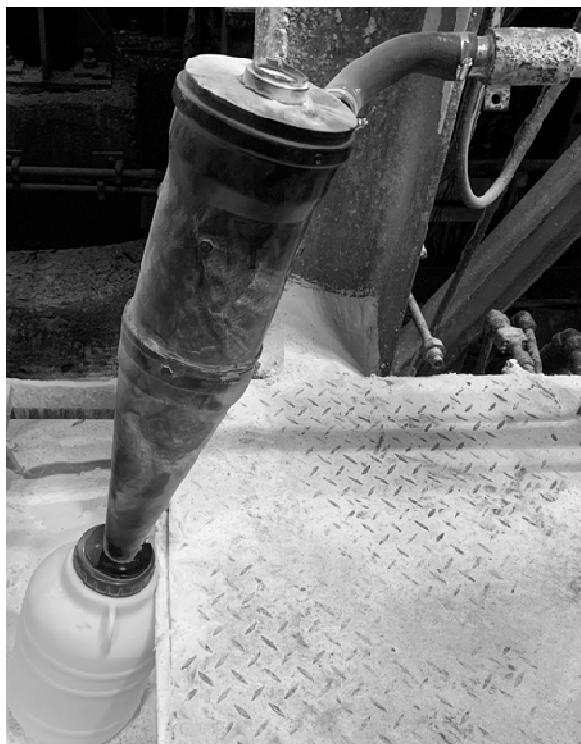


Рис. 7. Улавливатель СДМ  
Fig. 7. Lubricant deoxidizer trap

данные представлены в табл. 2. После каждой попытки система очищалась от возможных остатков порошка дополнительной продувкой с давлением и временем, идентичным давлению подачи порошка, представленным в табл. 2.

По результатам проведенного эксперимента по определению эффективности разработанного циклонного пылеулавливателя

можно сделать вывод, что устройство способно улавливать более 90 % частиц при давлениях 2 бар и выше (приблизительный расход газа 0,05 кг/с и выше). Также отмечено, что повышение давления с 2 до 3 бар снижает улавливание с 96 до 94 % соответственно.

После подтверждения эффективности разработанного циклонного пылеулавливателя

Данные по результатам испытаний в условиях АО «РусНИТИ»

Таблица 2

Data on test results in the conditions of JSC "RusNITI"

Table 2

№ п/п	Давление подачи порошка, бар	Время подачи порошка, с	Выдуваемое количество порошка (на весах), г	Фактическое (пойманное) количество порошка, г	Процент отклонения от заданного значения, %
1	3	5	497	475	-4,43
2	3	5	504	472	-6,35
3	3	5	501	480	-4,19
4	3	5	498	464	-6,83
5	3	5	520	478	-8,08
6	3	5	530	501	-5,47
7	3	5	501	479	-4,39
8	3	5	514	481	-6,42
9	3	5	498	460	-7,63
10	3	5	520	493	-5,19
<b>Ср. знач.</b>			<b>508,3</b>	<b>478,3</b>	<b>-5,9</b>



Окончание табл. 2  
Table 2 (end)

№ п/п	Давление подачи порошка, бар	Время подачи порошка, с	Выдуваемое количество порошка (на весах), г	Фактическое (пойманное) количество порошка, г	Процент отклонения от заданного значения, %
1	2	5	592	566	-4,39
2	2	5	564	549	-2,66
3	2	5	600	583	-2,83
4	2	5	683	659	-3,51
5	2	5	570	547	-4,04
6	2	5	586	559	-4,61
7	2	5	634	615	-3,00
8	2	5	596	572	-4,03
9	2	5	603	588	-2,49
10	2	5	596	577	-3,19
11	2	5	610	595	-2,46
12	2	5	557	537	-3,59
<b>Ср. знач.</b>			<b>599,3</b>	<b>578,9</b>	<b>-3,4</b>

Данные по результатам проведенных испытаний в заводских условиях

Таблица 3

Factory test data

Table 3

№ п/п	Давление подачи порошка, бар	Время подачи порошка, с	Выдуваемое количество порошка (на весах), г	Фактическое (пойманное) количество порошка, г	Процент отклонения от заданного значения, %	Давление подачи порошка, бар
1	2	5	600	592	566	-5,67
2	2	5	600	564	549	-8,50
3	2	5	600	600	583	-2,83
<b>4</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>600</b>	<b>683</b>	<b>659</b>	<b>+9,83</b>
5	2	5	600	570	547	-8,83
6	2	5	600	586	559	-6,83
7	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>600</b>	<b>634</b>	<b>615</b>	<b>+2,50</b>
8	2	5	600	596	572	-4,67
9	2	5	600	603	588	-2,00
10	2	5	600	596	577	-3,83
11	2	5	600	610	595	-0,83
12	2	5	600	557	537	-10,50

проведены испытания по отслеживанию выдуваемой массы СДМ в заводских условиях. Результаты проведенных испытаний представлены в табл. 3. Дополнительно фиксировались значения дозировки, задаваемые на пульте управления или рассчитанные математической моделью стана, с целью определения соответствия заданных значений дозирования СДМ фактически выдуваемым порциям.

Процент отклонения пойманного количества порошка от показателя заданного значе-

ния находятся в диапазоне от +9,83 % до -10,50 %. При этом только два значения отклонения имеют положительный характер, что может указывать на небольшой сбой в системе дозирования либо, что наиболее вероятно, на неполное выдувание порошка из системы при предыдущей попытке.

#### Заключение

Разработана конструкция улавливателя, удовлетворяющая поставленным требованиям по габаритам, способная улавливать порош-

ковый смазочно-дезоксирующий материал при давлениях до 3 бар с КПД 94 % и позволяет производить оперативный контроль сис-

тем дозирования оборудования для нанесения смазочно-дезоксирующих материалов в линии трубопрокатных агрегатов.

### Список литературы

1. Грудев А.П., Тилик В.Т. Технологические смазки в прокатном производстве. М.: Металлургия, 1975. 366 с.
2. Грудев А.П. Внешнее трение при прокатке. М.: Металлургия, 1973. 288 с.
3. Чертавских А.К., Белосевич В.К. Трение и технологическая смазка при обработке металлов давлением. М.: Металлургия, 1968. 362 с.
4. Гун Г.Я. Теоретические основы обработки металлов давлением. М.: Металлургия, 1980. 456 с.
5. Исаченков Е.И. Контактное трение и смазки при обработке металлов давлением. М.: Машиностроение, 1978. 208 с.
6. Контактное трение в процессах обработки металлов давлением / А.Н. Леванов, В.Л. Колмогоров, С.П. Буркин и др. М.: Металлургия, 1976. 416 с.
7. Вейлер С.Я., Лихтман И.В. Действие смазок при обработке металлов давлением. М.: Изд-во АН СССР, 1960. 230 с.
8. Северденко В.П., Макушок Е.М., Равин А.Н. Окалина при горячей обработке металлов давлением. М.: Металлургия, 1977. 208 с.
9. Смазочно-дезоксирующие материалы и оборудование для их подачи в линиях ТПА с непрерывными станами / В.И. Кузнецов, А.В. Красиков, А.В. Выдрин и др. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». 2021. Т. 21, № 2. С. 42–50. DOI: 10.14529/met210204
10. Патент РФ 2536820 С1. Продукт для горячей обработки металлов давлением / В.И. Кузнецов, Н.П. Самкова, И.Ю. Пышминцев и др. – Оpubл. 27.12.2014.
11. Патент РФ 2745011 С1. Способ изготовления горячекатаных бесшовных труб / В.И. Кузнецов, И.Ю. Пышминцев, А.А. Кривошеев и др. Оpubл. 18.03.2021.
12. Патент РФ 2587610 С2, В21В17/04. Способ изготовления горячекатаных бесшовных труб / Д.А. Лившиц, В.В. Мульчин, А.В. Зинченко и др. Оpubл. 20.06.2016.
13. Топоров В.А., Панасенко О.А., Пьянкова А.А. Исследование механизма образования трудноудаляемой окислы на внутренней поверхности труб из стали марки 13ХФА // Сборник трудов XXII Международной научно-практической конференции «Инновации и импортозамещение в трубной промышленности» / под ред. И.Ю. Пышминцева. Челябинск: Изд-во ОАО «РосНИТИ», 2016. Т. II. С. 19–22.
14. Гарбер Э.А., Гатиятуллин Д.З. Причины образования на поверхности горячекатаных стальных широких полос дефекта «остаточная окислы» и методы его устранения // Механическое оборудование металлургических заводов. 2017. № 2. С. 18–21.
15. Минимизация образования окислы на внутренней поверхности бесшовных горячекатаных труб / А.В. Емельянов, И.И. Лубе, В.И. Кузнецов, Д.А. Левченко // Сталь. 2020. № 5. С. 31–37.
16. Сизов В.И., Короткий В.Н., Бракович И.С. Методическое указание по выполнению расчетно-графической работы «Расчет циклона»: для студентов специальности 70 04 02 «Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна». Минск: БНТУ, 2010. 19 с.
17. Патент РФ 2006291, В04С5/107. Циклон / Н.Ф. Беляева, Б.С. Сажин, В.Н. Помазан и др. Оpubл. 23.01.1994.

### References

1. Grudev A.P., Tilik V.T. *Tekhnologicheskiye smazki v prokatnom proizvodstve* [Technological lubricants in rolling production]. Moscow: Metallurgiya Publ.; 1975. 366 p. (In Russ.)
2. Grudev A.P. *Vneshneye treniye pri prokatke* [External friction during rolling]. Moscow: Metallurgiya Publ.; 1973. 288 p. (In Russ.)
3. Chertavskikh A.K., Belosevich V.K. *Treniye i tekhnologicheskaya smazka pri obrabotke metallov davleniyem* [Friction and technological lubrication in the processing of metals by pressure]. Moscow: Metallurgiya Publ.; 1968. 362 p. (In Russ.)
4. Gun G.Ya. *Teoreticheskiye osnovy obrabotki metallov davleniyem* [Theoretical foundations of metal forming]. Moscow: Metallurgiya Publ.; 1980. 456 p. (In Russ.)
5. Isachenkov E.I. *Kontaktnoe trenie i smazki pri obrabotke metallov davleniem* [Contact friction and lubricants in metal pressure treatment]. Moscow: Mashinostroenie Publ.; 1978. 208 p. (In Russ.)
6. Levanov A.N., Kolmogorov V.L., Burkin S.P. et al. *Kontaktnoye treniye v protsessakh obrabotki metallov davleniyem* [Contact friction in metal forming processes]. Moscow: Metallurgiya Publ.; 1976. 416 p. (In Russ.)
7. Veyler S.Ya., Likhtman I.V. *Deystviye smazok pri obrabotke metallov davleniyem* [The action of lubricants in the processing of metals by pressure]. Moscow: AS USSR Publ.; 1960. 230 p. (In Russ.)
8. Severdenko V.P., Makushok E.M., Ravin A.N. *Okalina pri goryachey obrabotke metallov davleniyem* [Scale in hot metal pressure treatment]. Moscow: Metallurgiya Publ.; 1977. 208 p. (In Russ.)
9. Kuznetsov V.I., Krasikov A.V., Vydrin A.V., Pashnina E.Yu., Sokolov D.K., Zhukov A.S. Lubricating & Deoxidizing Materials and Equipment for Their Injection in Pipe-Rolling Plant Equipped with Continuous Mills. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*. 2021;21(2):42–50. (in Russ.) DOI: 10.14529/met210204
10. Kuznetsov V.I., Samkova N.P., Pyshmintsev I.Yu. et al. *Produkt dlya goryachey obrabotki metallov davleniyem* [Product for hot pressure treatment of metals]. Patent RF, no. 2536820, 2014. (In Russ.)
11. Kuznetsov V.I., Pyshmintsev I.Yu., Krivosheyev A.A. et al. *Sposob izgotovleniya goryachekatanykh besshovnykh trub* [Hot-rolled seamless pipes manufacturing method]. Patent RF, no. 2745011, 2021. (In Russ.)
12. Livshits D.A., Mul'chin V.V., Zinchenko A.V. et al. *Sposob izgotovleniya goryachekatanykh besshovnykh trub* [Hot-rolled seamless pipes manufacturing method]. Patent RF, no. 2587610, 2016. (In Russ.)
13. Toporov V.A., Panasenko O.A., P'yankov A.A. [Investigation of the mechanism of formation of hard-to-remove scale on the inner surface of pipes made of steel grade 13KhFA]. In: *Sbornik trudov XXII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Innovatsii i importozameshcheniye v trubnoy promyshlennosti"* [XXII International scientific-practical conference "Innovations and import substitution in the pipe industry"]. Chelyabinsk; 2016. Vol. II. P. 19–22. (In Russ.)
14. Garber E.A., Gatiyatullin D.Z. [Factors that cause residual scale surface defects in hot-rolled wide strips and methods of their elimination]. *Mekhanicheskoye oborudovaniye metallurgicheskikh zavodov*. 2017;(2):18–21 (In Russ.)
15. Emel'yanov A.V., Lube I.I., Kuznetsov V.I., Levchenko D.A. Scale formation minimization on internal surface of seamless hot-rolled pipes. *Steel in Translation*. 2020;50(5):340–346. DOI: 10.3103/S0967091220050046
16. Sizov V.I., Korotkiy V.N., Brakovich I.S. *Metodicheskoye ukazaniye po vypolneniyu raschetno-graficheskoy raboty "Raschet tsyklona": dlya studentov spetsial'nosti 70 04 02 "Teplogazosnabzheniye, ventilyatsiya i okhrana vozdushnogo basseyna"* [Guidelines for the implementation of the calculation and graphic work "Cyclone calculation" for students of the specialty 70 04 02 "Heat and gas supply, ventilation and air protection"]. Minsk: Belarusian National Technical University; 2010. 19 p. (In Russ.)
17. Belyayeva N.F., Sazhin B.S., Pomazan V.N. et al. *Cicloun* [Cyclone]. Patent RF, no. 2006291, 1994.

**Информация об авторах**

**Кузнецов Владимир Иванович**, технический директор, начальник отдела разработки новой продукции, сопутствующих технологий и материалов, заведующий лабораторией разработки и испытаний прокатного инструмента, смазок и покрытий, АО «Русский научно-исследовательский институт трубной промышленности» (АО «РусНИТИ»), Челябинск, Россия; kuznetcovvi@rosniti.ru.

**Соколов Дмитрий Константинович**, младший научный сотрудник лаборатории разработки и испытаний прокатного инструмента, смазок и покрытий, АО «Русский научно-исследовательский институт трубной промышленности» (АО «РусНИТИ»); аспирант кафедры процессов и машин обработки металлов давлением, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; sokolov@rosniti.ru.

**Кривошеев Андрей Александрович**, заместитель заведующего лабораторией разработки и испытаний прокатного инструмента, смазок и покрытий, АО «Русский научно-исследовательский институт трубной промышленности» (АО «РусНИТИ»), Челябинск, Россия; krivosheev@rosniti.ru.

**Пашнина Елена Юрьевна**, научный сотрудник лаборатории разработки и испытаний прокатного инструмента, смазок и покрытий, АО «Русский научно-исследовательский институт трубной промышленности» (АО «РусНИТИ»), Челябинск, Россия; pashnina@rosniti.ru.

**Гладких Владимир Сергеевич**, инженер лаборатории разработки и испытаний прокатного инструмента, смазок и покрытий, АО «Русский научно-исследовательский институт трубной промышленности» (АО «РусНИТИ»), Челябинск, Россия; Gladkih@rosniti.ru.

**Олег Александрович Панасенко**, начальник трубопрокатной лаборатории, АО «Северский трубный завод», Полевской, Россия; PanasenkoOA@stw.ru.

**Нерозников Владимир Леонидович**, начальник трубной лаборатории, АО «Таганрогский металлургический завод» (АО «ТАГМЕТ»), Таганрог, Россия; NeroznikovVL@tagmet.ru.

**Красиков Андрей Владимирович**, канд. техн. наук, главный прокатчик, АО «Волжский трубный завод», Волжский, Россия; krasikovAV@vtz.ru.

**Information about the authors**

**Vladimir I. Kuznetsov**, Technical Director, Head of the Department for the Development of New Products, Related Technologies and Materials, Head of the Laboratory for the Development and Testing of Rolling Tools, Lubricants and Coatings, The Russian Research Institute of the Tube & Pipe Industries, Joint Stock Company (RusNITI JSC), Chelyabinsk, Russia; kuznetcovvi@rosniti.ru.

**Dmitry K. Sokolov**, Junior Researcher, Laboratory for the Development and Testing of Rolling Tools, Lubricants and Coatings, The Russian Research Institute of the Tube & Pipe Industries, Joint Stock Company (RusNITI JSC); Postgraduate Student, Department of Processes and Machines for Metal Forming, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; sokolov@rosniti.ru.

**Andrey A. Krivosheev**, Deputy Head of the Laboratory for the Development and Testing of Rolling Tools, Lubricants and Coatings, The Russian Research Institute of the Tube & Pipe Industries, Joint Stock Company (RusNITI JSC), Chelyabinsk, Russia; krivosheev@rosniti.ru.

**Elena Yu. Pashnina**, Researcher, Laboratory for the Development and Testing of Rolling Tools, Lubricants and Coatings, The Russian Research Institute of the Tube & Pipe Industries, Joint Stock Company (RusNITI JSC), Chelyabinsk, Russia; pashnina@rosniti.ru.

**Vladimir S. Gladkikh**, Engineer of the Laboratory for the Development and Testing of Rolling Tools, Lubricants and Coatings, The Russian Research Institute of the Tube & Pipe Industries, Joint Stock Company (RusNITI JSC), Chelyabinsk, Russia; Gladkih@rosniti.ru.

**Oleg A. Panasenko**, Head of Pipe Rolling Laboratory, Seversky Pipe Plant JSC, Polevskoy, Russia; PanasenkoOA@stw.ru.

**Vladimir L. Neroznikov**, Head of Pipe Laboratory, Taganrog Metallurgical Plant JSC (TAGMET JSC), Taganrog, Russia; NeroznikovVL@tagmet.ru.

**Andrey V. Krasikov**, Cand. Sci. (Eng.), Chief Roller, Volzhsky Pipe Plant JSC, Volzhsky, Russia; krasikovAV@vtz.ru.

*Статья поступила в редакцию 30.01.2022*

*The article was submitted 30.01.2022*