

УДК 004.92:621.357:614.8
DOI 10.23947/2541-9129-2017-2-23-33

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОСТЕЙШЕГО ЛОКАЛЬНОГО ЭЛЕКТРО-УЛОВИТЕЛЯ АЭРОЗОЛЕЙ ИЗ ГАЛЬВАНИЧЕСКОЙ ВАННЫ

*В. И. Гаршин, С. Е. Гераськова,
А. Р. Лебедев, Д. Г. Гладкова*

Донской государственный технический университет,
г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

vi_garshin@mail.ru,
super.donkaf2016@yandex.ru
alex_diplom@mail.ru,
darya.gladkova.92@mail.ru

Статья посвящена моделированию простейшего элементарного звена локального электроуловителя капель электролита, выбрасываемого из гальванической ванны в процессе хромирования металлических деталей. Моделирование с применением регрессионного анализа выявляет наиболее существенные факторы технологического процесса, позволяет разработать эффективные модели надповерхностных электроуловителей капельного уноса и определить оптимальное соотношение между конструктивными параметрами и режимом электроулавливания.

Ключевые слова: аэрозоль, гальваническое производство, капельный унос, электролит, уловитель, регрессионный анализ.

Введение. Гальваническое производство относится к наиболее вредным производствам по воздействию как на организм работника, так и на окружающую среду. Капельные аэрозоли, возникающие в электрохимических процессах нанесения гальванических покрытий, как правило, содержат вещества, имеющие высокие классы опасности [1].

Имеется целый ряд технических решений, направленных на повышение безопасности и экологичности гальванического производства, однако большинство проблем в этой отрасли, в частности, проблема обеспечения безопасности воздушной среды рабочей зоны в гальванических цехах, до настоящего

UDC 004.92:621.357:614.8
DOI 10.23947/2541-9129-2017-2-23-33

EFFICIENCY MODELING OF A SIMPLE LOCAL ELECTRONIC AEROSOLS COLLECTOR FROM GALVANIC BATH

*V. I. Garshin, S. E. Geraskova,
A. R. Lebedev, D. G. Gladkova,*

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

vi_garshin@mail.ru,
super.donkaf2016@yandex.ru
alex_diplom@mail.ru,
darya.gladkova.92@mail.ru

The article considers modelling of the simplest elementary link of a local electronic collector of drops of electrolyte, ejected from a galvanic bath in the process of chrome plating of metal parts. Modeling with the use of regression analysis reveals the most significant factors of the technological process and contributes to the development of effective models of above-surface electronic collectors of droplet entrainment and to determination of the optimal ratio between the design parameters and the mode of electronic collection.

Keywords: Aerosol, galvanic production, droplet entrainment, electrolyte, collector, regression analysis.

Introduction. Electroplating industry is one of the most harmful industries according to the impact on the organism of the worker and on the environment. Drop aerosols occurring in the electrochemical process of plating, as a rule, contain substances of high hazard classes [1].

There are a number of technical solutions aimed at improving the security and sustainability of electroplating. However, most of the problems in this industry, in particular, the problem of ensuring the safety of air environment of the working area in

времени не получила однозначного решения. Особую опасность представляют гальванические процессы, в которых в силу технологических требований имеется открытое зеркало электролита [2]. К настоящему времени о капельном выбросе в гальваническом производстве накоплен обширный материал [3, 4] и разработаны новые полезные модели [5]. Так, например, в конструкции [6] для повышения эффективности улавливания использовался термодиффузионный эффект, в работе [7] в качестве дополнительного средства увеличения эффективности используется акустика, а в работе [8] для оптимизации системы улавливания гальванических аэрозолей предлагается дополнить её системой управления формированием динамической пены.

Устройства и системы надповерхностного электроулавливания гальванических аэрозолей, в которых улавливание капельного уноса осуществляется в непосредственной близости к поверхности зеркала электролита с помощью электрического поля, являются наиболее перспективными в решении этой проблемы [6].

Пополнение информационного обеспечения по этому вопросу, а так же, обеспечение новых конструктивных решений по преодолению эксплуатационных трудностей, позволяет добиться значительного успеха в экологизации гальванического производства.

Постановка эксперимента и моделирование. Моделирование эффективности электроулавливающей ячейки было выполнено методом планирования эксперимента [9].

В результате исследований была разработана методика измерения электрического заряда капель, образующихся при разрыве одиночного барботажного пузыря на поверхности электролита [10]. Данная методика позволяет получить величину заряда капли в функции от ее диаметра.

Исходя из полученной величины заряда

electroplating shops has not received a clear solution. Electroplating processes are of particular danger as due to technological requirements there is an open mirror of the electrolyte [2]. Now a lot of information about drop ejection in the galvanic plant have been accumulated [3, 4] and new useful models have been developed [5]. For example, in the construction [6] to increase capture efficiency the thermodiffusion effect was used, in the process of work [7] acoustics is used as an additional means of increasing the effectiveness, and in the work [8] for optimization of the system for galvanic aerosols capture the control system for dynamic foam development is proposed as a supplement.

Devices and systems of above-surface electronic capture of galvanic aerosols, in which the collection of droplet entrainment is in close proximity to the mirror surface of the electrolyte using an electric field, are the most promising solutions to this problem [6].

The completion of information provision on this issue, as well as, providing new design solutions to overcome operational constraints, makes it possible to achieve considerable success in the greening of electroplating.

Experiment and modeling. Efficiency modeling of electro capturing cells was performed by the method of experiment planning [9].

As a result of this research the authors have developed a method of measuring the electric charge of drops formed by the breakup of a single bubble on the surface of the electrolyte [10]. This technique allows obtaining the magnitude of the charge of a drop as a function

капли, появляется возможность рассчитать основные параметры простейших электроулавливающих систем, выполненных в виде параллельных плоских электродов с чередующейся полярностью.

Наиболее простой метод определения эффективности данных устройств — "траекторный метод", заключающийся в определении траектории движения отдельной капли с заданными размерами, массой и начальной скоростью, движущейся в электрическом поле, созданном между пластинами.

Приближаясь к реальным условиям гальванической ванны, т.е. учитывая при моделировании процесса электроулавливания наличие одновременно нескольких капель разного диаметра, следовало найти зависимость заряда капель от их размера. Указанная зависимость была найдена путем статистической обработки массивов данных заряда и диаметров капель. В результате получена степенная функция вида $q=ar^b$, которая принята в качестве основы для статистического моделирования [11, 12].

Первоначально для моделирования была принята горизонтальная электроулавливающая ячейка. В качестве исходных данных было принято, что в пространство между двумя вертикально расположенными плоскими электродами поступает массив движущихся горизонтально капель случайного диаметра со случайными начальными координатами.

Исходное число капель задавалось в пределах от 50 до 200, начальная скорость капель принималась равной усредненной скорости вентиляционного потока — 0,03 – 0,15 м/с. Напряженность электрического поля между пластинами варьировали в пределах $1 \cdot 10^5 \div 5,5 \cdot 10^5$ В/м. Для значения напряженности поля было предусмотрено ограничение напряженностью пробоя сухого воздуха при $E = 3 \cdot 10^6$ В/м. При моделировании величина заряда капли определялась исходя из приведенной выше зависимости $q=ar^b$, полученной при статистической обработке

of its diameter.

Basing on the charge magnitude of a drop, it is possible to calculate the main parameters of the simplest electro capturing systems, made as parallel flat electrodes with alternating polarity.

The simplest method of effectiveness determining of the devices is "trajectory method", which means the determination of an individual drop trajectory with desired size, weight and initial velocity, moving in an electric field created between the plates.

Approaching the real conditions of the galvanic bath, i.e. taking into account in the simulation of the electro capturing process the simultaneous presence of a few drops of different diameters, it was necessary to find the dependence of drops charges on their size. This dependence was found by statistical processing of the data about charges and diameters of the drops. The result is a power function of the form $q=ar^b$, which is accepted as the basis for the statistical modeling [11, 12].

Initially, electro capturing horizontal cell was used for modeling. It was accepted that an array of horizontally moving drops of random diameter with random initial coordinates are entering the space between the two vertically spaced flat electrodes.

The initial number of drops was set in the range from 50 to 200, the initial velocity of the drops was taken equal to the average speed of the ventilation flow — 0.03 – 0.15 m/s. The electric field intensity between the plates varied in the range of $1 \cdot 10^5 \div 5,5 \cdot 10^5$ V/m. For electric field intensity values the limitation of the breakdown field intensity of dry air at $E = 3 \cdot 10^6$ V/m was set. At the simulation the magnitude of the drop charge was determined from the above mentioned dependence $q=ar^b$, obtained by statistical processing of the array of experimental data with high correlation coefficient [4].

массива опытных данных с высоким коэффициентом корреляции [4].

Характер движения капель наблюдали по нескольким траекториям (рис. 1), которые выводились на экран дисплея. Одновременно рассчитывалась и выводилась на экран графическая зависимость суммарной эффективности улавливания капель в функции начальной координаты (рис. 2).

Суммарная эффективность определялась по формуле:

$$\eta = (m_0 - m_{\text{прох}}) / m_0$$

где m_0 — масса всех капель массива (всех капель, попавших в электрическое поле между электродами), $m_{\text{прох}}$ — масса капель, не попавших на электроды.

The nature of drops motion was observed on several trajectories (Fig. 1), which were displayed on the display screen. At the same time the graphical dependence of the total capture efficiency of drops in function of the initial coordinates were calculated and displayed on the screen (Fig. 2).

The total efficiency is determined by the formula:

$$\eta = (m_0 - m_{\text{прох}}) / m_0$$

where m_0 is the mass of all the drops in the array (all the water drops trapped in the electric field between the electrodes), $m_{\text{прох}}$ — weight of the drops which did not fall on the electrodes.

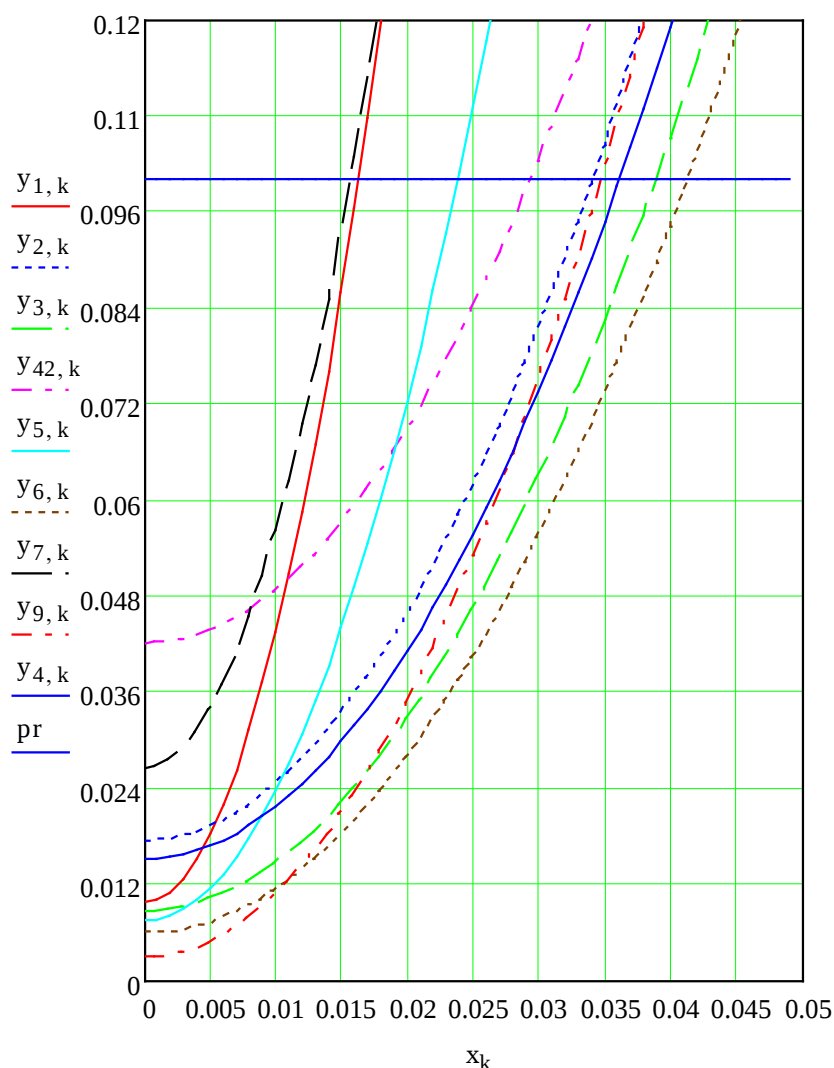


Рис. 1. Вид траекторий движения капель электролита

Fig. 1. View of the electrolyte drops trajectories

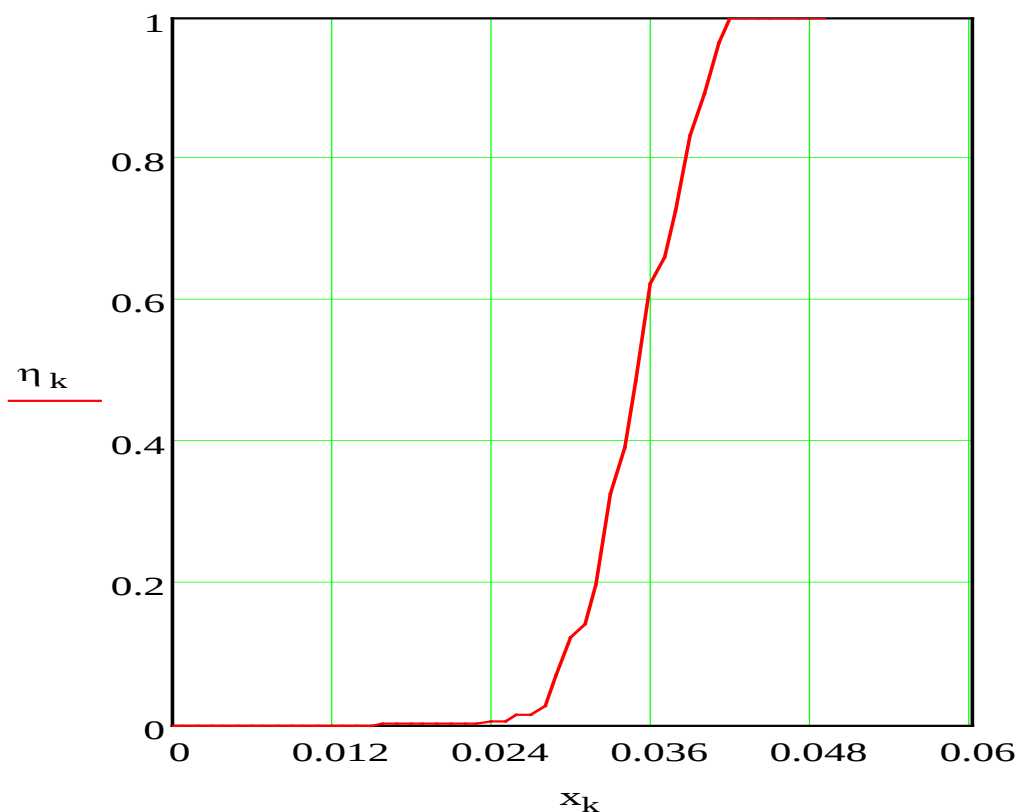


Рис. 2. График суммарной эффективности улавливания капель как функции от координаты

Fig. 2. Graph of an overall efficiency of drops capture as a coordinate function

Оси абсцисс на графиках траекторий полета капель и эффективности улавливания на рисунках 1 и 2 совмещены для более наглядной демонстрации характера улавливания в горизонтальной ячейке. Например, как видно из рисунков 1 и 2, там, где траектории касаются правой границы электрода, эффективность достигает значения 0,8.

Графики строились один над другим с одинаковым масштабом по оси абсцисс, что позволяло совмещать характер улавливания, видимый из траекторий, с соответствующим характером изменения эффективности улавливания капель.

На основании полученных данных была составлена таблица исходных данных для многофакторного эксперимента (табл.1), в которую включены соответствующие значения эффективности и координаты при заданных начальных условиях.

The x-axis in the graphs of drops trajectories and the efficiency of capturing in figures 1 and 2 are combined to show the nature of capturing in a horizontal cell. For example, as it can be seen from figures 1 and 2, where the trajectories touch the right edge of the electrode, the efficiency reaches a value of 0.8.

Graphics were built one above the other with the same scale on the x-axis, which allowed combining the nature of capturing visible from the trajectories, with the corresponding changes of the drops capture efficiency.

On the basis of the obtained data the source data table for a multi-factor experiment was built (table.1), which includes the corresponding values of the efficiency and the coordinates with given initial conditions.

Таблица 1
Table 1

Исходные данные многофакторного эксперимента
Multi-factor experiment source data

V_0 , м/с m/s	0,15			
E , кВ/м kV/m	400			
η	0,2	0,4	0,6	0,8
x , м m	0,036	0,039	0,042	0,045
V_0 , м/с m/s	0,17			
E , кВ/м kV/m	450			
η	0,16	0,32	0,48	0,64
x , м m	0,038	0,041	0,043	0,045
V_0 , м/с m/s	0,22			
E , кВ/м kV/m	550			
η	0,08	0,16	0,24	0,32
x , м m	0,042	0,044	0,046	0,048
V_0 , м/с m/s	0,09			
E , В/м V/m	200			
η	0,2	0,4	0,6	0,8
x , м m	0,031	0,034	0,036	0,038
V_0 , м/с m/s	0,19			
E , В/м kV/m	550			
η	0,16	0,32	0,48	0,64
x , м m	0,038	0,042	0,044	0,045

Здесь V_0 , (м/с) — скорость капель в направлении оси x ; E , (кВ/м) — напряженность электрического поля вдоль оси y .

Here V_0 (m/s) is the drops' speed in the direction of the x -axis; E (kV/m) - electric field intensity along the y -axis.

С целью определения коэффициентов

To determine the coefficients of regression of

регрессионной зависимости вида:

the form:

$$\eta = B_0 + B_1 \cdot V_0 + B_2 \cdot E + B_3 \cdot X + B_4 \cdot V_0 \cdot E + B_5 \cdot V_0 \cdot X + B_6 \cdot E \cdot X + B_7 \cdot V_0 \cdot E \cdot X$$

$$\eta = B_0 + B_1 \cdot V_0 + B_2 \cdot E + B_3 \cdot X + B_4 \cdot V_0 \cdot E + B_5 \cdot V_0 \cdot X + B_6 \cdot E \cdot X + B_7 \cdot V_0 \cdot E \cdot X$$

выполнен регрессионный анализ,
 результаты которого приведены в таблице 2

we performed regression analysis,
 the results of which are shown in table 2

Таблица 2
 Table 2

Результаты регрессионного анализа зависимости $\eta = f(V_0, E, X)$
 The results of the regression analysis of the dependence of $\eta = f(V_0, E, X)$

Коэффициенты формулы регрессии <i>Regression formula coefficients</i>	Коэффициенты для формулы кодированных факторов <i>Coded factors formula coefficients</i>	Расчетный критерий Стьюдента* <i>Student design criterion*</i>	Вывод о значимости <i>The conclusion on the importance</i>	Коэффициенты для формулы истинных факторов <i>Coefficients for the formula of the true factors</i>	Адекватность модели <i>Adequacy of model</i>
B_0	0,301	1,632	Нет <i>No</i>	-19,46	Дисперсия наблюдений <i>Observation dispersion</i>
B_1	2,784	22,584	Да <i>Yes</i>	179,21	$S = 0,066$
B_2	-0,124	0,947	Нет <i>No</i>	0,03	Дисперсия адекватности <i>Performance dispersion</i>
B_3	0,898	7,23	Да <i>Yes</i>	524,92	$S_{ad} = 0,0023$
B_4	-4,506	41,526	Да <i>Yes</i> Yes	-0,33	Расчетный критерий Фишера <i>Fisher design criterion</i>
B_5	-5,861	58,75	Да <i>Yes</i>	4705,9	$F_p = 29,64$
B_6	0,723	7,096	Да <i>Yes</i>	-0,81	Табличный критерий Фишера <i>Fisher table criterion</i>
B_7	6,563	75,045	Да <i>Yes</i>	8,28	$F_T(0.95) = 2,4$

*Табличный критерий Стьюдента $t(0,95) = 1,95$

*Student design criterion $t(0,95) = 1,95$

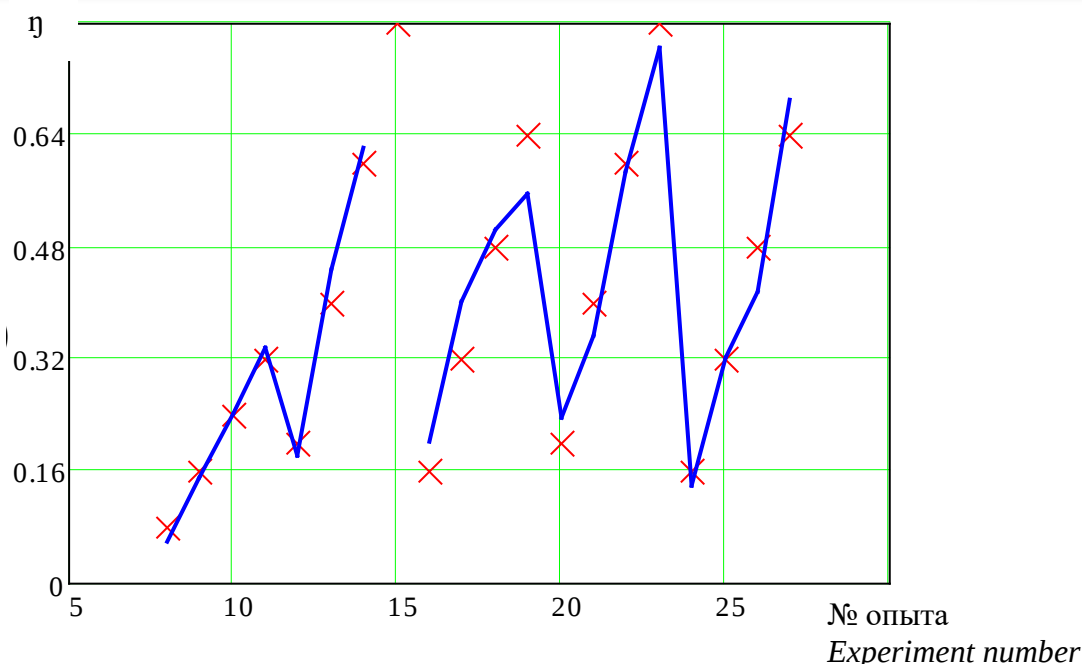


Рис. 3. Иллюстрация адекватности данных, полученных с помощью регрессионной модели (линии) и экспериментальным путем (крестики)

Fig. 3. Illustration of the adequacy of the obtained data using a regression model (lines) and by the experiment (crosses)

Выводы по результатам регрессионного анализа:

1. Из всех возможных коэффициентов приведенной формулы большинство коэффициентов оказались статистически значимыми с вероятностью 0,95; незначимыми оказались свободный коэффициент и коэффициент фактора E — напряженность.

2. Прямое влияние на эффективность улавливания оказывают значимые факторы — V_0 , X и взаимодействия $E \cdot X$ и $V_0 \cdot E \cdot X$. Обратное влияние на эффективность улавливания оказывают факторы — $V_0 \cdot E$ и $V_0 \cdot X$.

3. Наибольшее влияние от действия отдельного фактора имеет фактор V_0 . Среди взаимодействий наибольшее влияние оказывает взаимодействие $V_0 \cdot X \cdot E$.

4. Модель адекватно описывает процесс улавливания капель горизонтальной ячейкой, так как расчетный критерий Фишера оказался почти в 10 раз больше табличного.

Библиографический список:

1. Гераскова, С. Е. Статистические данные профзаболеваний в гальваническом

The findings of the regression analysis:

1. Of all the possible coefficients of the formula most of the coefficients were statistically significant with a probability of 0.95; insignificant turned out to be a free factor and factor coefficient E — intensity.

2. Direct impact on capture efficiency have significant factors — V_0 , X , and interaction $E \cdot X$ and $V_0 \cdot E \cdot X$. The opposite effect on the capture efficiency have factors — $V_0 \cdot E$ and $V_0 \cdot X$..

3. The greatest impact from the effect of a particular factor has factor V_0 . Among the interactions the interaction $V_0 \cdot X \cdot E$. has most significant influence.

4. The model adequately describes the process of drops capturing of the horizontal cell, as Fisher design criterion turned out to be almost 10 times more than the table one.

References:

1. Geraskova, S.E., Garshin, V.I. Statisticheskie dannye profzabolevaniy v galvanicheskom

производстве / С. Е. Гераськова, В. И. Гаршин // Новая наука: Опыт, Традиции, Инновации. Часть 1. Междунар. научн.-период. изд. по итогам междунар. науч.-практ. конф. — Омск, Стерлитамак : РИЦ АМИ. — 2016. — №3-2(71) — С. 169–174

2. Филь, Е. С. Анализ методов борьбы с капельным уносом в гальваническом производстве. / Е. С. Филь, В. И. Гаршин // Научное обозрение. Научный журнал. — 2014. — №11. — Часть 3. — С. 691–694.

3. Гаршин, В. И. Исследование капельного выброса в гальваническом производстве / В. И. Гаршин, В. А. Харченко // Безопасность жизнедеятельности. — М. : «Новые технологии». — 2005. — №2. — С. 49–53.

4. Гаршин, В. И. Информационное обеспечение систем управления электроулавливанием гальванических аэрозолей / В. И. Гаршин, Е. С. Филь // Потенциал современной науки. Научно-производственный периодический журнал. — 2014. — №3. — С. 20–24.

5. Электроуловитель гальванических аэрозолей: патент на полезную модель 117832 Российская Федерация : В. И. Гаршин, В. Л. Гапонов, С. Е. Гераськова, О. П. Чередниченко, А. В. Бакланова, В03С 3/02 — № 2011152587/03, заявл. 22.12.11 ; опубл. 10.07.12, Бюл. № 19. — 4 с.

6. Устройство для улавливания жидких аэрозолей: патент 2050979 Российская Федерация: В. И. Гаршин, Е. Л. Медиокритский, А. Н. Вишневецкая, А. И. Жадан, И. М. Фомин, В. Л. Гапонов, В0С 3/16 — № 5061606/26, заявл. 07.09.92 ; опубл. 27.12.95, Бюл. № 36. — 5 с.

proizvodstve. [Statistical data of occupational diseases in the galvanic production] Novaya nauka: Opyt, Traditsii, Innovatsii. Chast' 1. Mezhdunar. nauchn.-period. izd. po itogam mezhdunar. nauch.-praktich. konf. [New science: Experience, Tradition, Innovation. Part 1. Intern. sci.-period. ed. following the international. sci.-pract. conf.] Omsk, Sterlitamak: RITS AMI, 2016, no.3-2(71), pp. 169-174 (in Russian).

2. Fil, E.S., Garshin, V.I. Analiz metodov borby s kapelnym unosom v galvanicheskom proizvodstve. [Analysis of methods of struggle with droplet entrainment in the galvanic production.] Nauchnoe obozrenie. Nauchnyy zhurnal, 2014, no. 11, part 3, pp. 691-694 (in Russian).

3. Garshin, V.I., Kharchenko, V.A. Issledovanie kapel'nogo vybrosa v galvanicheskom proizvodstve. [Investigation of drop emission in the galvanic production.] Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti, M.: Novye tekhnologii, 2005, no.2, pp 49-53 (in Russian).

4. Garshin, V.I., Fil, E.S. Informatsionnoe obespechenie system upravleniya elektroulavlivanem galvanicheskikh aerorozley. [Information support of galvanic sprays electrocapturing control systems.] Potentsial sovremennoy nauki. Nauchno-proizvodstvennyy zhurnal, 2014, no. 3, pp. 20-24 (in Russian).

5. Garshin, V.I., Gaponov, V.L., Geraskova, S.E., Cherednichenko, O. P., Baklanova, A.V. Elektroulovitel' galvanicheskikh aerorozley: patent na poleznuyu model' 117832 Rossiyskaya Federatsiya. [Electronic collector of galvanic aerosols: the patent for useful model 117832, Russian Federation.] Patent RF, no. 2011152587/03, 2012 (in Russian).

6. Garshin, V.I., Mediokritskiy, E.L., Vishnevetskaya, A.N., Zhadan, A.I., Fomin, I.M., Gaponov, V.L. Ustroystvo dlya ulavlivaniya zhidkikh aerorozley: patent 2050979 Rossiyskaya Federatsiya. [A device for capturing liquid sprays: patent 2050979 Russian Federation.] Patent RF, no. 5061606/26, 1995 (in Russian).

7. Fil, E.S., Garshin, V.I., Pushenko, S.L.,

7. Электроуловитель гальванических аэрозолей: патент на полезную модель 140335 Российская Федерация : Е. С. Филь, В. И. Гаршин, С. Л. Пушенко, В. Л. Гапонов, В03С 3/16, В03С 3/02, В03С 3/016 — № 2013159272/03, заявл. 30.12.13 ; опубл. 10.05.14, Бюл. № 13 — 4 с.
8. О путях реализации оптимальной системы улавливания капельного уноса в гальваническом производстве / В. Л. Гапонов [и др.] // Качество и жизнь. — 2016. — № 4(12). — С.89 – 92.
9. Воробьева, О. Ю. Опыт планирования эксперимента по оптимизации электроуловителя гальванических аэрозолей / О. Ю. Воробьева, В. И. Гаршин, В. Л. Гапонов // Безопасность жизнедеятельности. Охрана труда и окружающей среды: Межвуз. сб.науч. тр. Б 40 Вып. 5 (международ.) / РГАСХМ, Ростов н/Д. — 2001. — С. 97–98.
10. Гаршин, В. И. Об электрофилтрации аэрозолей капельного выброса над гальваническими ваннами / В. И. Гаршин, А. И. Жадан, Н. В. Ватутин. – Повышение эффективности и экономичности систем отопления и вентиляции (Межвузовский сборник). Ростов-на-Дону : Рост. инж. строит. ин-т, — 1984 — С. 76–79.
11. Статистическое моделирование процессов и устройств электроулавливания гальванических аэрозолей / В. И. Гаршин [и др.] // Техносферная безопасность, надежность, качество, энергосбережение: Т38. Материалы Междунар. науч.-практ. конф. Выпуск XIV: в 3 т. — Том 1. Ростов н/Д: Ростовский государственный строительный университет. — 2012. — С.101–110.
- Gaponov, V.L. Elektroulovitel' galvanicheskikh aerorozley: patent na poleznuyu model' 140335 Rossiyskaya Federatsiya. [Galvanic aerosols electronic collector: the patent for useful model 140335 Russian Federation.] Patent RF, no 2013159272/03, 2014 (in Russian).
8. Gaponov, V.L. et al. O putyakh realizatsii optimal'noy sistemy ulavlivaniya kapel'nogo unosa v galvanicheskom proizvodstve. [On the ways of implementing the optimum system for drop entrainment capturing in the galvanic production.] Kachestvo i zhizn', 2016, no. 4(12), pp. 89 – 92 (in Russian).
9. Vorobeve, O.Y., Garshin, V.I., Gaponov, V.L. Opyt planirovaniya eksperimenta po optimizatsii elektroulovitelya galvanicheskikh aerorozley. [Experience of experiment planning for optimization of galvanic sprays electronic collector.] Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti. Okhrana truda i okruzhayushchey sredy: Mezhdunar. sb. nauch. tr. B 40 vyp. 5 (mezhdunar.) [Life safety. Health and environment: inter-uni. proc. B vol. 5 (international).] Rostov-on-Don, RGASKHM, 2001, pp. 97-98 (in Russian).
10. Garshin, V.I., Zhadan, A.I., Vatutin, N.V. Ob elektrofiltratsii aerorozley kapel'nogo vybrosa nad galvanicheskimi vannami. [Electrofiltration of drop ejection aerosols over galvanic baths.] Povyshenie effektivnosti i ekonomichnosti sistem otopeniya i ventilyatsii. [Improving the effectiveness and efficiency of the systems of heating and ventilation (inter-university proc.).] Rostov-on-Don: Rost. inzh. stroit. in-t, 1984, pp. 76-79 (in Russian).
11. Garshin, V.I. et al. Statisticheskoe modelirovanie protsessov i ustroystv elektroulavlivaniya galvanicheskikh aerorozley. [Statistical modeling of processes and devices of galvanic spray electronic capturing] Tekhnosfernaya bezopasnost', nadezhnost', kachestvo, energosberezhenie: T38. Mat. Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Vyp XIV: v 3 t. [Technosphere safety, reliability, quality, energy saving: T38. Proceedings of the International scientific.-pract. conf. issue XIV: 3 vol.] — Vol. 1. Rostov-on-Don, Rostov state construction university, 2012, vol. 1, pp. 101–110 (in Russian).

12. Гаршин, В. И. Исследование процессов электроулавливания вредных веществ, выделяемых в воздушную среду гальванических цехов. Автореф. дисс... канд. техн. наук. — Ростов-на-Дону, — 1995. — 17 с.

12. Garshin, V.I. Issledovanie protsessov elekrouavlivaniya vrednykh veshchestv, vydelyaemykh v vozdushnuyu sredu galvanicheskikh tsekhov. [Investigation of the processes of electronic capture of harmful substances released into the environment from electroplating facilities.] Author's abstract. Rostov-on-Don, 1995, 17 p. (in Russian).

Поступила в редакцию 22.02.2017

Сдана в редакцию 22.02.2016

Запланирована в номер 20.05.2017

Received 22.02.2017

Submitted 22.02.2017

Scheduled in the issue 20.05.2017

Гаршин Владимир Иванович,

кандидат технических наук, доцент кафедры
«Производственная безопасность» Донского
государственного технического
университета, (РФ, г. Ростов-на-Дону, пл.
Гагарина, 1)
vi_garshin@mail.ru

Vladimir Ivanovich Garshin,

Candidate of technical Science Associate
professor, Don State Technical University
(Gagarin sq., 1, Rostov-on-Don, Russian
Federation)
vi_garshin@mail.ru

Гераськова Светлана Евгеньевна,

старший преподаватель кафедры
«Производственная безопасность» Донского
государственного технического
университета, (РФ, г. Ростов-на-Дону, пл.
Гагарина, 1)
super.donkaf2016@yandex.ru

Svetlana Evgenevna Geraskova, Senior teacher,
Don State Technical University (Gagarin sq., 1,
Rostov-on-Don, Russian Federation)
super.donkaf2016@yandex.ru

Лебедев Алексей Романович,

кандидат технических наук, доцент кафедры
«Производственная безопасность» Донского
государственного технического
университета, (РФ, г. Ростов-на-Дону, пл.
Гагарина, 1)
alex-diplom@mail.ru

Aleksey Romanovich Lebedev, Candidate of
technical Science Associate professor, Don State
Technical University (Gagarin sq., 1, Rostov-on-
Don, Russian Federation)
alex-diplom@mail.ru

Гладкова Дарья Геннадьевна,

Магистрант кафедры «Производственная
безопасность» Донского государственного
технического университета
(РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1)
darya.gladkova.92@mail.ru

Darya Gennadevna Gladkova, Master student,
Don State Technical University (Gagarin sq., 1,
Rostov-on-Don, Russian Federation)
darya.gladkova.92@mail.ru