

УДК 62-784.432

ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФИЛЬТРОВАЛЬНОЙ БУМАГИ ДЛЯ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ ФИЛЬТРОВ

¹Маркелова Н.П., ²Демидова Л.Н., ¹Черняев С.И.¹*Калужский филиал ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», Калуга, e-mail: nad-94@mail.ru, fn2kf@bk.ru;*²*Калужский филиал ФГБОУ ВО «Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации», Калуга, e-mail: demidova-ln@mail.ru*

Настоящее исследование посвящено статистической оценке результатов использования высокоэффективных фильтров для очистки воздуха производственных помещений. В результате построения корреляционно-регрессионных моделей установлены основные взаимосвязи между диаметром частиц и классом используемых фильтров. Сравнительная оценка моделей и полученных коэффициентов регрессии для разных диаметров пор бумаги 0,20, 0,25, 0,30 мкм показала, что наибольшая значимость этих коэффициентов наблюдается при диаметре пор бумаги 0,30, что говорит о наибольшей адекватности моделей, построенных именно для этого диаметра пор бумаги. Оценка результатов построения регрессионных моделей для разных диаметров частиц показывает, что наибольшая сила взаимосвязи между признаками наблюдается также у самых крупных частиц с диаметром 0,30 мкм. Таким образом, наибольшая эффективность фильтрации и её прогнозирование наблюдается у крупных частиц.

Ключевые слова: статистическая оценка результатов фильтрации производственных фильтров, статистическая оценка высокоэффективных фильтров, оценка эффективности фильтрации, применение статистической оценки для испытания фильтров в производственных помещениях

ASSESSMENT OF RESULTS OF THE RESEARCH OF EFFICIENCY OF FILTER PAPER FOR HIGHLY EFFECTIVE FILTERS

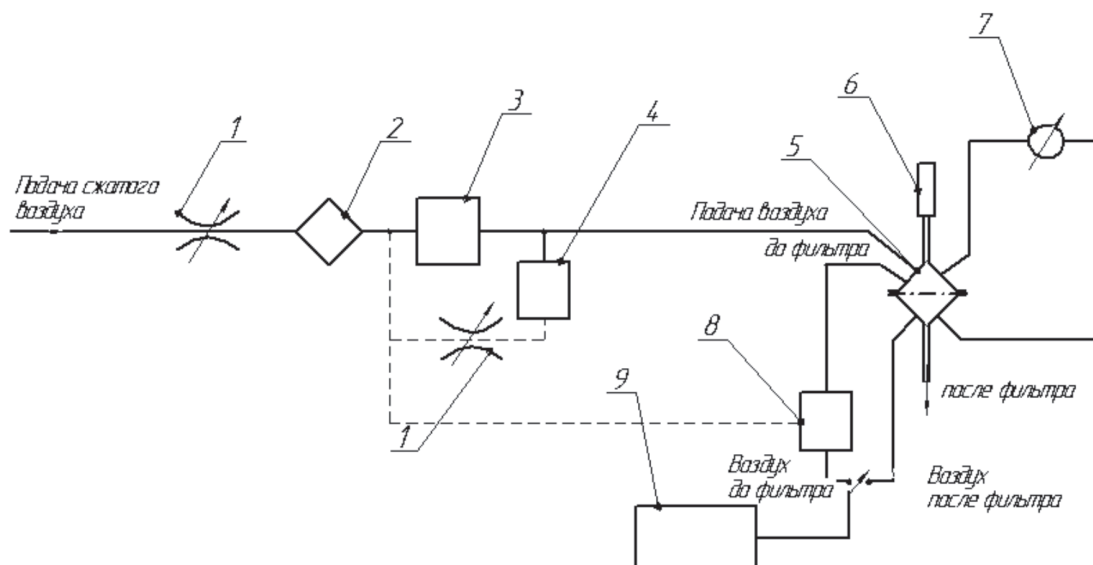
¹Markelova N.P., ²Demidova L.N., ¹Chernyaev S.I.¹*Kaluga Branch Bauman Moscow State Technical University (National Research University), Kaluga, e-mail: nad-94@mail.ru, fn2kf@bk.ru;*²*Kaluga Branch of Financial University under the Government of Russian Federation, Kaluga, e-mail: demidova-ln@mail.ru*

The real research is devoted to statistical assessment of results of use of high performance filters for purification of air of production rooms. As a result of creation of correlative and regression models the main interrelations between diameter of particles and a class of the used filters are established. Comparative assessment of models and the received regression coefficients for different diameters of a time of paper 0,20, 0,25, 0,30 microns showed that the greatest significance of these coefficients is observed with a diameter of a time of paper 0,30 that speaks about the greatest adequacy of the models constructed for this diameter of a time of paper. Assessment of results of creation of regression models for different diameters of particles shows that the largest force of interrelation between signs is observed also at the largest particles with a diameter of 0,30 microns. Thus, the greatest effectiveness of a filtration and its prediction is observed at large particles.

Keywords: statistical assessment of results of a filtration of production filters, statistical assessment of high performance filters, assessment of effectiveness of a filtration, application of statistical assessment for test of filters in production rooms

Потребность в обеспечении высокоэффективной защиты производственного персонала, технологических процессов и продукции от загрязнений требует создания специфической защитной среды, называемой согласно ISO 14644-1, «чистыми помещениями», в которых контролируется счетная концентрация аэрозольных частиц. Их эксплуатация предполагает такое построение и использование, при котором сводится к минимуму поступление, генерация и накопление частиц внутри помещения, а также в котором при необходимости контролируются другие параметры, например температура,

влажность и давление. В технике чистых помещений размерный диапазон контролируемых в воздухе частиц принято делить на три области: частицы диаметром от 0,1 мкм до 5,0 мкм; частицы диаметром менее 0,1 мкм (ультрамалые частицы); частицы диаметром более 5,0 мкм (макрочастицы). При определении счётной концентрации частиц в воздухе чистых помещений, измерения проводят, как правило, для частиц с диаметрами от 0,1 мкм до 5,0 мкм (наличие в воздухе частиц этого размерного диапазона положено в основу классификации чистых по классам чистоты) [4, 5, 7, 8].



Испытательный стенд: (1 – регулятор расхода воздуха, 2 – фильтр, 3 – измеритель расхода воздуха, 4 – генератор аэрозоля, 5 – держатель, 6 – зажимный пневмоцилиндр, 7 – манометр, 8 – разбавитель аэрозоля, 9 – лазерный счетчик частиц)

Материалы и методы исследований

Распылитель с постоянным выходом (модель 3075/3076), генерирующий субмикронные аэрозоли. Средний размер получаемых капель составлял 0,3 мкм с геометрическим стандартным отклонением менее 1,9. Средний размер частиц аэрозоля уменьшался до 0,02 мкм путем распыления раствора диэтилгексилсебацата (DENS) в этиловом (или изопропиловом) спирте. Давление сжатого воздуха, подаваемого на распылитель, равнялось 2,0 кгс/см². Для образования высокоскоростной струи сжатый воздух пропусклся через входное отверстие диаметром 0,343 мм. В качестве рабочей жидкости для распыления использовали раствор диэтилгексилсебацата (DENS) в этиловом спирте. Для приготовления раствора DENS растворялся в спирте в пропорции 1:5. Рабочая жидкость подавалась в секцию распыления через вертикальные отверстия, а затем распылялась выходящей струей. Крупные капли, по принципу работы отделителя жидкости ударного типа, при ударе о противоположную стенку секции распылителя, стекали, за счет гравитационных сил, на дно секции распылителя, а тонко распыленная взвесь удалялась через верхний фитинг.

Использование разбавительных каскадов VKL, обусловлено потребностью в снижении концентрации аэрозоля без изменения размерного состава его частиц. В каскаде разбавления VKL гомогенно перемешивали определенное количество чистого воздуха с необходимым количеством аэрозоля в заданном константном соотношении. Посредством прохождения чистого воздуха извне, через систему эжекторных сопел, обеспечивалось создание пониженного давления, способствующего самовсасыванию аэрозоля. В используемом стенде задействованы два разбавительных каскада VKL с коэффициентом разбавления 100 в каждом каскаде и, соответственно, суммарный коэффи-

циент разбавления равнялся 10000. Давление чистого воздуха, подаваемого на первый каскад, поддерживалось на уровне 2,0 кгс/см², а подаваемого на второй каскад – 1,9 кгс/см² в соответствии с кривыми калибровки каскадов. Воздух, без частиц, с объемным потоком чистого воздуха, обусловленным предварительным давлением, протекает через кольцевой зазор во всасывающее сопло. Из-за образуемого пониженного давления разбавляемый аэрозоль всасывается и гомогенно перемешивается с чистым воздухом в смесительной камере. При увеличении объемного потока чистого воздуха пропорционально увеличивается и скорость потока через кольцевой зазор. В результате этого пониженное давление у всасывающего сопла начинает расти, и объемный поток всасывания также увеличивается (оба объемных потока связаны с пониженным давлением и одинаково зависят от него).

Универсальный лазерный счетчик аэрозольных частиц Lighthouse Solair 1100+, предназначен для измерения концентрации аэрозольных частиц различного происхождения и химического состава с диаметрами от 0,1 до 5 мкм. Скорость прокачки анализируемого воздуха равна 28,3 л/мин. Принцип действия счетчиков аэрозольных частиц Lighthouse основан на регистрации рассеянного аэрозольной частицей света. В качестве источника света в счетчике используется гелий-неоновый лазер. Измерительная камера представляет собой эллиптическое зеркало. Частицы, попадая в освещенный рабочий объем оптической системы, создаваемый в одном из фокусов, рассеивают излучение, которое регистрируется фотоприемником, расположенном во втором фокусе. Прямое излучение поглощается световой ловушкой, выполненной в виде абсолютно черного тела. Интенсивность светового импульса пропорциональна размеру частицы, а количество световых импульсов определяет число аэрозольных частиц. Прокачка анализируемой пробы осуществляется встроенным насосом.

Таблица 1

Показатели замеров количества частиц, подаваемых на образец

№ образца	Диаметр частиц, мкм	Количество частиц					
		до фильтра			после фильтра		
		1	2	3	1	2	3
1	0,20	18490000	18850000	18910000	288	361	343
	0,25	22330000	23130000	22300000	579	686	697
	0,30	123560000	122760000	123630000	6447	6216	6155
2	0,20	19890000	18400000	19230000	452	553	601
	0,25	23560000	22110000	23060000	772	796	724
	0,30	128390000	124150000	130830000	16866	17399	18237
3	0,20	15760000	16390000	17470000	9276	9386	9766
	0,25	20230000	21590000	22420000	4318	4843	4563
	0,30	126640000	125100000	131360000	3990	4246	4156
4	0,20	49080000	47640000	46990000	2256	2262	2117
	0,25	36490000	34970000	35380000	766	799	783
	0,30	92730000	86650000	95900000	659	675	599

Массовый расходомер FM-380 рассчитан на точное и надежное измерение и/или регулирование массового расхода газов. Принцип работы основан на зависимости между скоростью потока и теплоотдачей проволоки, помещенной в поток и нагретой электрическим током. Расходомер FM-380 вместе с блоком FM-280 позволяет поддерживать стабильный расход воздуха.

Цифровой манометр «Диптрон 3» позволяет измерять дифференциальный перепад давления на образце фильтровального материала с точностью 0,25 %. Принцип работы: образуемый в датчике давления пропорциональный давлению сигнал постоянного тока подводится к подключенному последовательно усилителю результатов измерения и передается дальше в виде аналогового значения на преобразователь переменного/постоянного тока или же на шкальный прибор сети. Индикация осуществляется посредством светлых светодиодов на семи сегментах (диоды LED). Преобразователь переменного/постоянного тока сконструирован в технике CMOS.

Методика проведения испытаний

При проведении исследований был использован испытательный стенд (рисунок).

Для проведения измерений образец фильтровального материала помещали в держатель (5) и фиксировали с помощью пневмоцилиндра (6). Посредством регулятора расхода воздуха (1) задавали требуемый расход воздуха. Сопротивление потоку воздуха определяли на основе показаний дифференциального манометра.

Для определения эффективности фильтрации включали генератор аэрозолей путем подачи на него воздуха давлением 2,0 кгс/см². Воздух до фильтра подавали на лазерный счетчик через разбавительный каскад и определяли количество частиц разных размеров, попавших на образец. Воздух, после фильтра, снова подавали на лазерный счетчик, производили замер количества частиц, подаваемых на образец. Сжатый воздух (подаваемый на регулятор расхода воздуха, генератор аэрозолей и разбавительный каскад) очищался согласно соответствующему классу ISO 5 по стандарту ГОСТ Р ISO 14644-1. Кратность заме-

ров – 15. Проскоки Р и эффективность Е определяли в % и вычисляли по следующим формулам:

$$P = \frac{C_{N,d}}{C_{N,u}} \text{ и } E = 1 - P,$$

где $C_{N,d}$ – концентрация частиц после фильтра (численная); $C_{N,u}$ – концентрация частиц до фильтра (численная).

Обработку результатов проводили с использованием табличного процессора MS Excel, ведь к наиболее существенным достоинствам электронных таблиц следует отнести широкие возможности математического, статистического и графического анализа данных, эффективное моделирование проблем различного вида, прямой доступ к внешним базам данных, развитый интерфейс с другими популярными пакетами, поддержка средств мультимедиа, наличие инструментария для работы в сети Интернет. В настоящее время существуют сотни различных приложений, выполненных в виде надстроек к MS Excel и предназначенных для решения широкого круга задач – от математического и статистического анализа данных до реализации систем искусственного интеллекта [1–3, 6, 9, 10].

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты замеров количества частиц, подаваемых на образец, представлены в табл. 1.

Статистическая обработка результатов экспериментальных данных заключалась в проведении корреляционно-регрессионного анализа и оценке полученных результатов моделирования зависимости количества частиц, пропускаемых через фильтр, от вида фильтровальной бумаги и размера частиц (взаимосвязь между факторным признаком количества частиц до фильтрации (признак X) и результативным признаком количества частиц после фильтрации (при-

знак Y) в зависимости от диаметра частиц и вида бумаги).

В процессе статистического исследования потребовалось решение следующих задач: построить однофакторную линейную регрессионную модель связи признаков X и Y и оценить тесноту связи признаков X и Y на основе линейного коэффициента корреляции r ; определить адекватность и практическую пригодность построенной линейной регрессионной модели, оценив: значимость и доверительные интервалы коэффициентов a_0 , a_1 ; индекс детерминации R^2 и его значимость; точность регрессионной модели; дать интерпретацию: коэффициента регрессии a_1 ; коэффициента эластичности K_3 ; остаточных величин ε_i .

Для качественной оценки тесноты связи η , на основе показателя коэффициента корреляции, использовали шкалу Чеддока с соответствующими значениями связи: 0,1–0,3 – слабая; 0,3–0,5 – умеренная; 0,5–0,7 – заметная; 0,7–0,9 – тесная; 0,9–0,99 – весьма тесная. Результаты регрессионного анализа представлены в табл. 2.

Оценка результатов построения регрессионных моделей для разных диаметров частиц показывает, что наибольшая сила взаимосвязи между признаками наблюдается у самых крупных частиц с диаметром 0,30 мкм.

Для оценки степени варьирования между испытаниями частиц проведен дисперсионный анализ (табл. 3).

Таким образом, оценка дисперсий испытаний показала, что наиболее адекватны полученные результаты у крупных частиц диаметром 0,30 мкм. Однако и у частиц 0,20 мкм остатки дисперсий также не велики.

В табл. 4 представлены результаты параметров корреляционно-регрессионного анализа.

Построение регрессионной модели заключалось в нахождении аналитического выражения связи между факторным признаком X и результативным признаком Y .

На основе исходных данных (x_i, y_i) производили расчет параметров a_0 и a_1 уравнения однофакторной линейной регрессии:

$$\hat{y} = a_0 + a_1 x,$$

а также вычисление ряда показателей, необходимых для проверки адекватности построенного уравнения исходным (фактическим) данным. Рассчитанные коэффициенты a_0 и a_1 позволили построить линейную регрессионную модель связи изучаемых признаков в виде уравнений, определить коэффициенты корреляции и степени связи по шкале Чеддока (табл. 5).

Таблица 2

Результаты корреляционного анализа по испытаниям частиц

Диаметр частиц, мкм	0,20	0,25	0,30
Множественный R	0,344908	0,483273928	0,518809096
R-квадрат	0,118961	0,233553689	0,269162879
Нормированный R-квадрат	0,051189	0,174596281	0,212944638
Стандартная ошибка	12228285	5166049,453	13140673,08
Наблюдения	15	15	15

Таблица 3

Результаты дисперсионного анализа

Для диаметра частиц 0,20 мкм					
	df	SS	MS	F	Значимость F
Регрессия	1	2,62E + 14	2,62E + 14	1,755312205	0,208028
Остаток	13	1,94E + 15	1,49531E + 14	–	–
Итого	14	2,21E + 15	–	–	–
Для диаметра частиц 0,25 мкм					
Регрессия	1	1,06E + 14	1,06E + 14	3,961397	0,068008
Остаток	13	3,47E + 14	2,67E + 13	–	–
Итого	14	4,53E + 14	–	–	–
Для диаметра частиц 0,30 мкм					
Регрессия	1	8,27E + 14	8,27E + 14	4,7878211	0,047523448
Остаток	13	2,2448E + 15	1,73E + 14	–	–
Итого	14	3,07155E + 15	–	–	–

Таблица 4

Результаты корреляционно-регрессионного анализа полученных значений

	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t-статистика	P-Значение	Нижние 95 %	Верхние 95 %
Для диаметра частиц 0,20 мкм						
Y-пересечение	28176690	4579830	6,152344545	3,47463E-05	18282569	38070810
После фильтра	– 997,599	752,9723	– 1,32488195	0,2080275	– 2624,3	629,0983
Для диаметра частиц 0,25 мкм						
Y-пересечение	27980409,58	2086379	13,41099	5,45E-09	234730	3248775
После фильтра	– 1406,641517	706,7393	– 1,9903	0,06800	– 2933,4	120,176
Для диаметра частиц 0,30 мкм						
Y-пересечение	1125790,9	512256,97	21,7188	1,34E-11	10018917	122322402
После фильтра	1284,853	587,1979	2,188	0,047523	16,2890910	2553,4169

Таблица 5

Линейная регрессионная модель связи изучаемых признаков

Диаметр частиц, мкм	Модель	Коэффициент корреляции, r	Степень связи по шкале Чеддока
0,20	$\hat{y} = 28176690 - 997,599 \cdot x$	0,344908	Слабая
0,25	$\hat{y} = 27980409,58 - 1406,641517 \cdot x$	0,483273928	Умеренная
0,30	$\hat{y} = 111255790,9 + 1284,853036 \cdot x$	0,518809096	Заметная

Оценка практической пригодности синтезированной модели связи проводилась посредством анализа адекватности регрессионной модели (насколько построенная теоретическая модель взаимосвязи признаков отражает фактическую зависимость между признаками X и Y) в 4 этапа:

1) оценка статистической значимости коэффициентов уравнения a_0 , a_1 и определение их доверительных интервалов для заданного уровня надежности;

2) определение практической пригодности построенной модели на основе оценок линейного коэффициента корреляции r и индекса детерминации R^2 ;

3) проверка значимости уравнения регрессии в целом по F-критерию Фишера;

4) оценка погрешности регрессионной модели.

Следующим этапом была оценка статистической значимости коэффициентов уравнения a_0 , a_1 и определение их доверительных интервалов. Так как коэффициенты уравнения a_0 , a_1 рассчитывались, исходя из значений признаков только для 15-ти пар

(x_p, y_p) , то полученные значения коэффициентов являются лишь приближенными оценками фактических параметров связи a_0 , a_1 . Поэтому потребовалось: проверить значения коэффициентов на неслучайность (т.е. узнать, насколько они типичны для всей генеральной совокупности предприятий отрасли); определить (с заданной доверительной вероятностью 0,95) пределы, в которых могут находиться значения a_0 , a_1 для генеральной совокупности наблюдений по образцам фильтровальной бумаги.

Затем, определяли значимость коэффициентов уравнения. Уровень значимости – это величина $\alpha = 1 - P$, где P – заданный уровень надежности (доверительная вероятность). По умолчанию уровень надежности $P = 0,95$. Для этого уровня надежности уровень значимости равен $\alpha = 1 - 0,95 = 0,05$. Этот уровень значимости считается заданным.

Для каждого из коэффициентов a_0 и a_1 вычисляли уровень его значимости α_p . Если рассчитанный для коэффициентов a_0 , a_1 уровень значимости α_p меньше заданного уровня значимости $\alpha = 0,05$, то этот коэф-

фициент признается неслучайным (т.е. типичным для генеральной совокупности), в противном случае – случайным. Сравнительная оценка полученных коэффициентов регрессии для разных диаметров пор бумаги 0,20, 0,25, 0,30 мкм показала, что наибольшая значимость этих коэффициентов наблюдается при диаметре пор бумаги 0,30, следовательно, именно данная модель регрессии является наиболее всего применимой и прогнозируемой именно для этого диаметра пор бумаги (табл. 6).

Таким образом, только диаметр крупных частиц обеспечивает устойчивость полученной модели и надежность её оценки и прогнозирования.

В табл. 7 представлены границы доверительных интервалов коэффициентов уравнения от заданного уровня надежности для диаметров частиц 0,2; 0,25; 0,3 мкм.

Таким образом, построенные модели для разных видов фильтровальной бумаги показали, что наибольшее значение взаимосвязи между количеством отфильтрованных единиц и видом бумаги для диаметра частиц со значением 0,30 мкм. Дополнительно, пригодность построенной регрессионной модели для практического использования была оценена также и по величине

индекса детерминации R^2 , показывающего, какая часть общей вариации признака Y объясняется в построенной модели вариацией фактора X .

Общая оценка адекватности регрессионной модели по F-критерию Фишера показала, что рассчитанный уровень значимости α индекса детерминации R^2 , есть $\alpha_p = 0,0475234476593556$. Так как он меньше заданного уровня значимости $\alpha = 0,05$, то значение R^2 признается типичным, а модель связи между признаками X и Y применимой для генеральной совокупности всех испытаний с диаметром частиц 0,30 мкм в целом. Погрешность регрессионной модели (в%) оценивали по величине стандартной ошибки, построенного линейного уравнения регрессии $\hat{y} = a_0 + a_1 x$. Величину ошибки оценивали как среднее квадратическое отклонение по совокупности отклонений исходных (фактических) значений y_i признака Y от его теоретических значений, рассчитанных по построенной модели. Учитывая, что в адекватных моделях погрешность не должна превышать 12–15%, а это условие (10,9%) выполнялось лишь для диаметра частиц 0,30 мкм, была подтверждена адекватность построенной модели $\hat{y} = 111255790,9 + 1284,853036 \cdot x$.

Таблица 6

Сравнительная оценка полученных коэффициентов регрессии

Диаметр частиц, мкм	Уровень его значимости, α_p		Характеристика уровня значимости
	для a_0	для a_1	
0,20	для a_0	0,00000347463	Типичный
	для a_1	0,208027502	Случайный
0,25	для a_0	0,000000000544933	Типичный
	для a_1	0,068007528	Случайный
0,30	для a_0	0,0000000000000133891817883237	Типичный
	для a_1	0,0475234476593554	Типичный

Таблица 7

Границы доверительных интервалов коэффициентов уравнения

Диаметр частиц, мкм	Коэффициенты	Границы доверительных интервалов для уровня надежности $P = 0,95$	
		нижняя	верхняя
0,20	a_0	18282569,46	38070810,23
	a_1	– 2624,297167	629,0983391
0,25	a_0	23473061,74	32487757,41
	a_1	– 2933,459006	120,1759727
0,30	a_0	100189179,3	122322402,4
	a_1	16,28909104	2553,41698

Заключение

В рамках проведения экспериментов по определению эффективности фильтрации разных образцов фильтровальной бумаги был проведен статистический анализ результатов экспериментальных данных, который позволил построить линейную регрессионную модель связи изучаемых признаков. Проведен анализ адекватности и практической пригодности построенной линейной модели, дана оценка статистической значимости коэффициентов уравнения a_1 и a_0 , изучена зависимость доверительных интервалов коэффициентов a_1 и a_0 от заданного уровня надежности, определена практическая пригодность построенной регрессионной модели, дана оценка погрешности регрессионной модели, которая показала, что погрешность линейной регрессионной модели, соответствующая диаметру частиц 0,3 мкм, подтверждает адекватность построенной модели.

Расширение инструментов статистического анализа и дальнейшая обработка полученных результатов не имеет смысла ввиду того, что проведенный ранее анализ существующих технологических и конструктивных особенностей обеспечения высокоэффективной очистки подаваемого в чистые помещения воздуха, а также воздуха, образующегося в ходе технологических процессов и характеризующегося различным аэрозольным составом, определил дальнейшее направление экспериментальных исследований по оптимизации параметров, влияющих на эффективность очистки, связанное с геометрией конфигурации укладки фильтрующего материала [7].

Список литературы

1. Гореева Н.М., Демидова Л.Н. Математические методы анализа и методология измерения рисков в банковской системе / Математическое моделирование в экономике, управлении, образовании. Материалы МНПК. – Калуга: ип Стрельцов И.А. (изд-во «Эйдос»), 2015. – С. 37–50.
2. Гореева Н.М., Демидова Л.Н. Статистические модели и их применение в анализе показателей производства продукции / Математическое моделирование в экономике, управлении, образовании. Материалы МНПК. – Калуга: ип Стрельцов И.А. (изд-во «Эйдос»), 2015. – С. 27–32.
3. Игнатенко Г.К., Сдельникова И.А. Статистическая оценка данных экологического мониторинга с применением EXCEL. – М.: МИФИ, 2010. – Режим доступа: http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=231902&sr=1 (дата обращения: 10.06.2016).
4. Короткова В.Е., Черняев С.И. Анализ промышленных методов очистки воздуха от радиоактивных аэрозолей / В.Е. Короткова, С.И. Черняев / Научные технологии в приборостроении и развитии инновационной деятельности в вузе: материалы ВНТК. – Калуга: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016. – Т. 2. – С. 35–38.
5. Кулакова Н.Н., Семенов М.Г., Черняев С.И., Унтилова Л.А. Анализ финансовой устойчивости предприятия //

Вектор науки Тольяттинского государственного университета. – 2014. – № 1 (27). – С. 127–129.

6. Кусачева С.А., Сашенко И.И., Черняев С.И., Гришак В.В., Сафронова М.Е. К вопросу об унификации критериев сопоставления различных микробных топливных элементов // Успехи современного естествознания. – 2016. – № 12–1. – С. 184–187.

7. Маркелова Н.П., Кадомцев Г.М., Черняев С.И. Анализ технологии высокоэффективной фильтрации воздуха и ключевых особенностей ее обеспечения // Современные наукоемкие технологии. – 2016. – № 3–2. – С. 263–267.

8. Маркелова Н.П., Кадомцев Г.М., Черняев С.И. Некоторые особенности контроля высокоэффективных воздушных фильтров // Успехи современного естествознания. – 2016. – № 11. – С. 156–161.

9. Морозенко М.И., Никулина С.Н., Черняев С.И. Исследование концентраций загрязняющих веществ в сточных водах металлургического предприятия // Современные наукоемкие технологии. – 2016. – № 10–2. – С. 271–278.

10. Семенов М.Г., Черняев С.И. Функции пользователя в Excel 2013: Разработка приложений нечеткой логики // Успехи современного естествознания. – 2014. – № 3. – С. 114–117.

References

1. Goreeva N.M., Demidova L.N. Matematicheskie metody analiza i metodologija izmerenija riskov v bankovskoj sisteme / Matematicheskoe modelirovanie v jekonomike, upravlenii, obrazovanii. Materialy MNPK. Kaluga: ip Strelcov I.A. (izd-vo «Jeidos»), 2015. pp. 37–50.
2. Goreeva N.M., Demidova L.N. Statisticheskie modeli i ih primenenie v analize pokazatelej proizvodstva produkcii / Matematicheskoe modelirovanie v jekonomike, upravlenii, obrazovanii. Materialy MNPK. Kaluga: ip Strelcov I.A. (izd-vo «Jeidos»), 2015. pp. 27–32.
3. Ignatenko G.K., Sdelnikova I.A. Statisticheskaja ocenka dannyh jekologicheskogo monitoringa s primeneniem EXCEL. M.: MIFI, 2010. Rezhim dostupa: http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=231902&sr=1 (data obrashhenija: 10.06.2016).
4. Korotkova V.E., Chernjaev S.I. Analiz promyshlennyh metodov ochistki vozduha ot radioaktivnyh ajerozolej / V.E. Korotkova, S.I. Chernjaev / Naukoemkie tehnologii v priboro- i mashinostroenii i razvitie innovacionnoj dejatel'nosti v VUZe: materialy VNTK. Kaluga: Izdatel'stvo MGTU im. N.Je. Bauman. 2016. T. 2. pp. 35–38.
5. Kulakova N.N., Semenenko M.G., Chernjaev S.I., Untilova L.A. Analiz finansovoj ustojchivosti predpriyatija // Vektor nauki Toljattinskogo gosudarstvennogo universiteta. 2014. no. 1 (27). pp. 127–129.
6. Kusacheva S.A., Sashhenko I.I., Chernjaev S.I., Grishakova V.V., Safronova M.E. K voprosu ob unifikacii kriteriev sopostavlenija razlichnyh mikrobnyh toplivnyh jelementov // Uspehi sovremennogo estestvoznanija. 2016. no. 12–1. pp. 184–187.
7. Markelova N.P., Kadomcev G.M., Chernjaev S.I. Analiz tehnologii vysokojeffektivnoj filtracii vozduha i ključevykh osobennostej ee obespechenija // Sovremennye naukoemkie tehnologii. 2016. no. 3–2. pp. 263–267.
8. Markelova N.P., Kadomcev G.M., Chernjaev S.I. Nekotorye osobennosti kontrolja vysokojeffektivnyh vozdušnykh filtrov // Uspehi sovremennogo estestvoznanija. 2016. no. 11. pp. 156–161.
9. Morozenko M.I., Nikulina S.N., Chernjaev S.I. Issledovanie koncentracij zagrijaznjajushhih veshhestv v stochnykh vodah metallurgicheskogo predpriyatija // Sovremennye naukoemkie tehnologii. 2016. no. 10–2. pp. 271–278.
10. Semenenko M.G., Chernjaev S.I. Funkcii polzovatelja v Excel 2013: Razrabotka prilozhenij nechetkoj logiki // Uspehi sovremennogo estestvoznanija. 2014. no. 3. pp. 114–117.