

DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-9-108-115

Францкевич В.С., *Гребенчук П.С., Минченко П.А.
Белорусский государственный технологический университет
*E-mail: p_grebenchuk@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ ФОРСУНОК ШЛИКЕРНОГО АТОМИЗАТОРА

Аннотация. В статье определена область применения распылителей жидкости в современных технологиях. Описан механизм образования капель из струи жидкости и параметры среды, влияющие на размер этих капель. Охарактеризованы основные требования к форсункам и другим распылителям, используемым в распылительных сушилках. Установлено, что важнейшими характеристиками их работы являются равномерность распыла и дисперсность капель. Предложена методика расчета эффективности распыления на основании опытных данных с помощью коэффициента неравномерности орошения. Описаны методы оценки дисперсности и распределения капель, получаемых в форсунке. Предложена модернизированная конструкция форсунки с завихрителем и распределителем для использования в шликерных атомизаторах для получения пресс-порошка. Проведены сравнительные исследования данной форсунки с целью оценки равномерности ее распыла и дисперсности капель по вышеуказанным методикам. Представлены фотографии результатов распыления по двум предложенным методикам. Анализ результатов исследований показал, что по основным своим рабочим характеристикам модернизированная форсунка имеет существенное преимущество в сравнении с традиционными конструкциями. Это позволяет говорить о перспективах ее использования в распылительных сушилках, в частности, при получении керамического пресс-порошка высокого качества.

Ключевые слова: сушилка распылительная, шликер, форсунка, равномерность распыления, завихритель, капля, дисперсность.

Введение. Распыление жидкостей используется в промышленности при сжигании топлива, сушке, мокрой очистке газов и других процессах. Технически его можно осуществлять с помощью форсунок или быстровращающихся дисков, причем в современных производствах первый способ получил более широкое распространение. Разделение потока жидкости на капли происходит на выходе из форсунки в зоне высокой турбулентности. Размер полученных капель зависит от плотности среды, скорости струи, геометрических параметров распыляющего устройства, вязкости, плотности и поверхностного натяжения жидкости [1, 2].

Правильный выбор конструкции распылителя имеет важное значение для надежной и эффективной работы аппаратов. На сегодняшний день существует широкое разнообразие вариантов конструкций форсунок, однако лишь несколько из них получили широкое распространение в промышленности [3–6].

В последние десятилетия значительно возрастают мощности предприятий, создаются новые высокотехнологичные методы производств, которые обеспечивают интенсификацию процесса и повышение качества продукции. В связи с этим существенно повысились требования к пределам регулирования расхода единичных форсунок и к качеству распыления, что стимулировало создание новых, более совершенных конструкций.

Шликерные атомизаторы или распылительные сушилки предназначены для удаления влаги и получения готовой продукции в виде тонкодисперсного порошка. В промышленности строительных материалов эти аппараты применяются для получения из суспензии порошка для прессования плитки.

В настоящее время при производстве керамической плитки используются атомизаторы нескольких типов, одним из отличий которых является использование центробежных распылителей (форсунок), с различными завихрителями [7, 8]. В процессе эксплуатации некоторых из них был выявлен ряд проблем. В первую очередь это проявилось в низком качестве получаемого пресс-порошка, заключающемся в несоответствии частиц требуемым размерам. Кроме того, зачастую наблюдалось налипание суспензии на элементах сушилки и выпадение крупных агломератов вследствие неравномерности распыления. Поэтому было предложено провести комплексный анализ качества распыления суспензии основных разновидностей центробежных форсунок, используемых при получении керамического пресс-порошка, наряду с новой, более эффективной форсункой с завихрителем.

Материалы и методы. В первую очередь были проведены исследования по определению распылительной способности (равномерности распыла) форсунок на трех расходах. Установка для изучения производительности форсунок и

исследования равномерности распыла жидкости представлена на рис. 1.

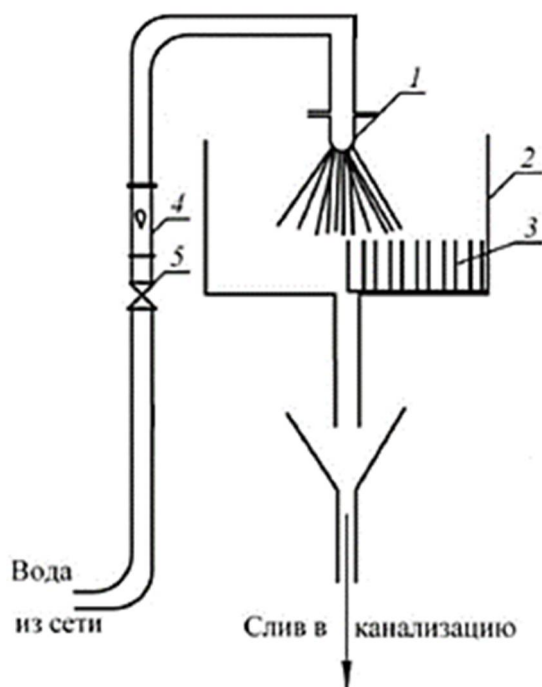


Рис. 1. Схема установки для исследования форсунок
1 – трубопровод с исследуемой форсункой;
2 – рабочая ёмкость; 3 – блок мерных цилиндров;
4 – ротаметр; 5 – вентиль

Для определения расхода воды через ротаметр на установке имеется тарифовочный график. Блок мерных цилиндров представляет собой кассету, в которую вертикально установлены металлические цилиндры. В ее верхней части имеется общая крышка с рычагом, что позволяет быстро закрывать и открывать одновременно все цилиндры. С целью предотвращения уноса брызг из рабочей емкости и удобства работы на установке вокруг рабочей емкости установлена обечайка из оргстекла.

Для оценки эффективности распыления на основании опытных данных рассчитывался коэффициент неравномерности орошения [9, 10]:

$$K = \frac{100}{V_{\text{cp}}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (V_i - V_{\text{cp}})^2}{n-1}}, \quad (1)$$

где V_{cp} – среднее количество жидкости в цилиндре, мл; V_i – количество жидкости в i -м цилиндре, мл; n – число цилиндров. Как видно из (1), для лучшего распыления K должен стремиться к 1.

Далее оценивали дисперсность полученных капель с помощью метода улавливания капель в жидкость и метода отпечатков [10–13].

Первый этап подразумевал собой улавливание капель на более вязкой жидкости, которая не смешивается с исследуемой и не растворяется в

ней («Литол-24»). Тонкий слой смазки наносится на прозрачную пластинку из оргстекла. Далее пластина опускается на определенный уровень так, чтобы капли попали на нее. Попавшие на слой смазки капли измеряют под микроскопом. На каждом расходе опыт повторяется по три раза с занесением данных в таблицу.

Вторая часть эксперимента заключалась в улавливании капель на металлической пластинке, которая была покрыта сажой. Она находилась в прозрачной трубе, в которой по горизонтали с одинаковым интервалом сделаны одинаковые отверстия. Исследования проводились на трех расходах, таких же, как и в первом опыте. Капли воды попадали на пластину за счет проворачивания трубы. После пластина извлекалась и размер капель также рассматривался под микроскопом.

Этот метод является одним из простейших, однако возникает вопрос о том, не происходит ли при ударе капли о слой сажи столь сильной деформации, что измеренный отпечаток капли не соответствует истинному ее диаметру. Экспериментально установлено [10], что для капель диаметром 200 мкм и выше толщина слоя сажи должна быть приблизительно 0,3–0,5 мм. В этом случае относительная погрешность измерения диаметра капли составит 2–3 %.

Основная часть. Механические центробежные форсунки являются наиболее распространенными устройствами для распыления жидкостей. Основным элементом этих форсунок является завихритель, в котором жидкость, проходя через тангенциальные каналы, приобретает вращение и таким образом образуется закрученный поток. На выходе из сопла поток дробится на капли и приобретает коническую форму либо с распределением капель вдоль образующей конуса, либо со сплошным распределением капель по всему его объему [7–9].

Давление жидкости на выходе из сопла составляет 0,3–2 МПа. Этот параметр зависит в основном от требуемой дисперсности распыла (размера капель), физических свойств жидкости и размеров самой форсунки. Последние, в свою очередь, определяются производительностью установки.

В пневматических форсунках используется кинетическая энергия высокоскоростного энергоносителя (газа или пара) [11, 14]. Условно их разделяют на форсунки низкого и высокого давления: с избыточным давлением распыливающего агента до 10 кПа и от 100 до 1000 кПа соответственно.

Очевидно, что энергозатраты пневматических форсунок выше, чем у механических при

той же производительности. Однако первые позволяют получать большую дисперсность капель и используются для сжигания мазута, при увлажнении и охлаждении газового потока.

В качестве объектов исследования были выбраны три механические форсунки: с плоским распылителем (рис. 2, а), с винтовым распылителем (рис. 2, б) и модернизированная форсунка с завихрителем (рис. 3).

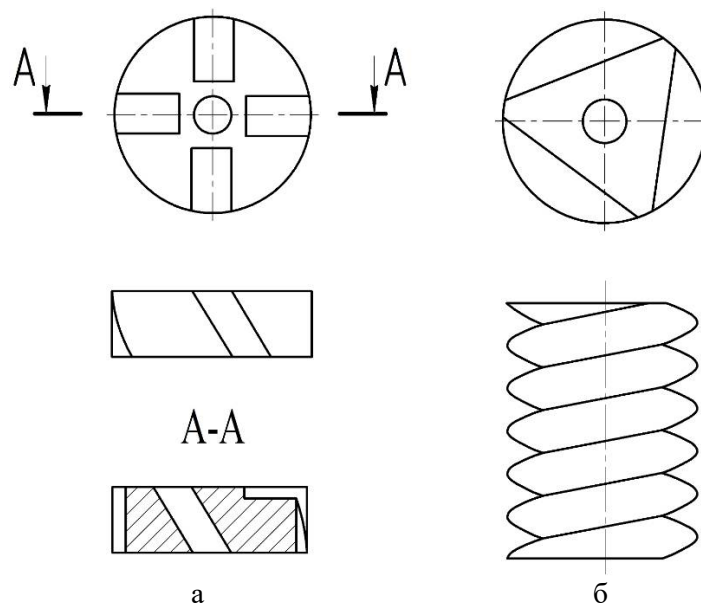


Рис. 2. Варианты распылителей исследуемых форсунок
а) плоский; б) винтовой

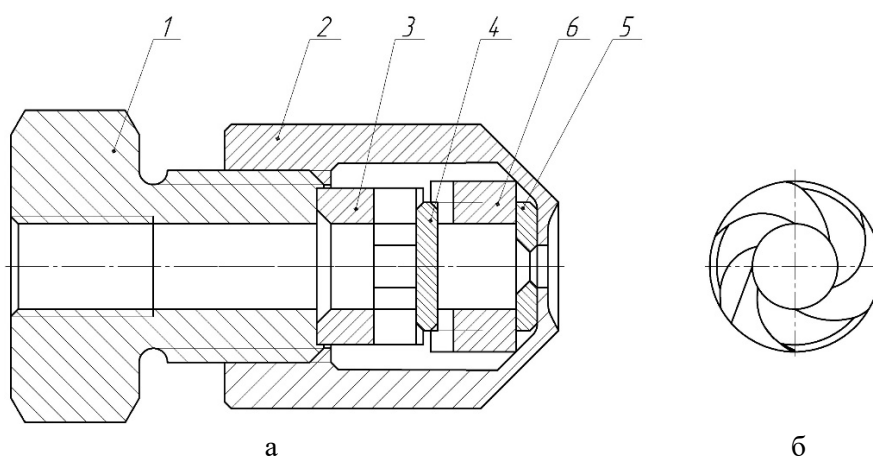


Рис. 3. Модернизированная форсунка с завихрителем
а) форсунка в разрезе; б) вид слева завихрителя

1 – штуцер; 2 – корпус; 3 – распределитель; 4 – пластина; 5 – концентратор; 6 – завихритель

в исследуемой новой конструкции форсунки поток жидкости сначала распределяется по сечению более равномерно с помощью распределителя 3, затем глухая пластина 4 направляет поток к тангенциальным входам завихрителя 6. Концентратор 5 собирает полученную взвесь по оси устройства для распыления. Таким образом, данный вариант форсунки имеет более сложную конструкцию по сравнению с традиционно используемыми, но позволяет достичь большего качества распыления.

Для оценки равномерности орошения было выбрано пять форсуночных распылителей: по 2

типоразмера плоского и винтового и модернизированная конструкция. Исследования проводили на трех расходах жидкости Q : 357 кг/ч, 378 кг/ч и 400 кг/ч. На каждом расходе опыт повторяли по три раза и данные заносили в сводную таблицу. Затем определялось среднее значение V_i для каждого мерного цилиндра по результатам трех опытов. После рассчитывался коэффициент неравномерности орошения K для каждой форсунки по формуле (1).

Здесь приведем результаты исследований для модернизированной форсунки (табл. 1).

Таблица 1

Результаты исследования равномерности распыла модернизированной форсунки

№ п/п	V_i при $Q = 357$ кг/ч, мл	V_i при $Q = 378$ кг/ч, мл	V_i при $Q = 400$ кг/ч, мл	V_i среднее, мл	Отклонение от V_{cp} , %
1	2,8	3,5	3	3,1	99,7
2	2,9	3	3,4	3,1	99,7
3	3,8	3	3,8	3,5	112,5
4	4	4,8	4,4	4,4	141,5
5	3,9	4,8	4,5	4,5	144,7
6	1,6	2,5	2,2	2,2	70,7
7	0,8	2,5	1	1	32,2

При полученном $V_{cp}=7,18$ мл коэффициент неравномерности орошения составил $K=108$.

Для других исследованных форсунок коэффициент K колебался значительно и находился в пределах от 164 для форсунки с винтовым распылителем и диаметром центрального отверстия 2 мм до 350 для форсунки с плоским распылителем и диаметром центрального отверстия 3 мм. Как видно, с точки зрения равномерности орошения предлагаемая новая форсунка показала наилучшие результаты.

Отметим, что равномерность орошения особенно важна для форсунок с образованием крупных капель, поскольку, будучи неравномерно расположенными, они могут объединяться и выпадать из потока, нарушая технологический процесс и понижая качество продукта на выходе [11, 12].

Далее были проведены исследования качества распыления двумя указанными выше методами. Следует отметить, что для любого процесса дисперсность распыляемых капель является не менее важным показателем, чем равномерность распыла. Для распыления суспензии в

атомизаторах, в отличие от сжигания топлива, размер капель должен быть приближен к 1 мм, а излишне тонкие капли (менее 0,1 мм) негативно сказываются на качестве пресс-порошка [7, 15].

Целью исследований было установить количество полученных капель в каждой форсунке и их размер. Опыты проводились для тех же трех расходов что и предыдущий и количество капель росло пропорционально расходу. Поэтому здесь представлены данные для наибольшего расхода, равного 400 кг/ч. Так же, как и в предыдущем опыте, измерения повторялись по 3 раза для каждого случая и среднее значение заносилось в таблицу.

В табл. 2 представлены результаты исследования методом улавливания капель в жидкость. В учет здесь взят участок, который попадает в объектив микроскопа размером $1,6 \times 1,6$ см. Среднее значение количества капель округлялось до целого. Количество капель размером 0,1 мм и менее оценивалось приблизительно из-за большого их количества и сложности визуального подсчета.

Таблица 2

Результаты исследований дисперсности капель методом улавливания в жидкость для модернизированной форсунки

Размер капле, мм	Количество капель			Среднее количество капель	Суммарное количество капель
	1 опыт	2 опыт	3 опыт		
3	–	1	–	1	3
2	14	10	13	12	37
1	10	7	12	10	29
0,5	5	7	3	5	15
0,1	>10	>10	>10	–	–

Для сравнения в табл. 3 представлены данные исследований тем же методом для форсунки с винтовым распылителем и диаметром центрального отверстия 2 мм, показавшей самые близкие результаты к исследуемой в опыте по равномерности орошения.

Наблюдаем, насколько ниже эффективность распыления у винтовой форсунки по сравнению

с исследуемой. Количество капель в несколько раз меньше, а их размер смещен в сторону 0,1 мм и менее.

Далее рассмотрим результаты исследования качества распыления методом отпечатков. Установка для исследований была сконструирована согласно методике [10, 12] и изображена на рис. 2.

Таблица 3

**Результаты исследований дисперсности капель методом улавливания в жидкость
для винтовой форсунки**

Размер капель, мм	Количество капель			Среднее количество капель	Суммарное количе- ство капель
	1 опыт	2 опыт	3 опыт		
2	3	4	3	3	10
1	4	2	3	3	9
0,5	2	1	1	1	4
0,1	>10	>10	>10	–	–

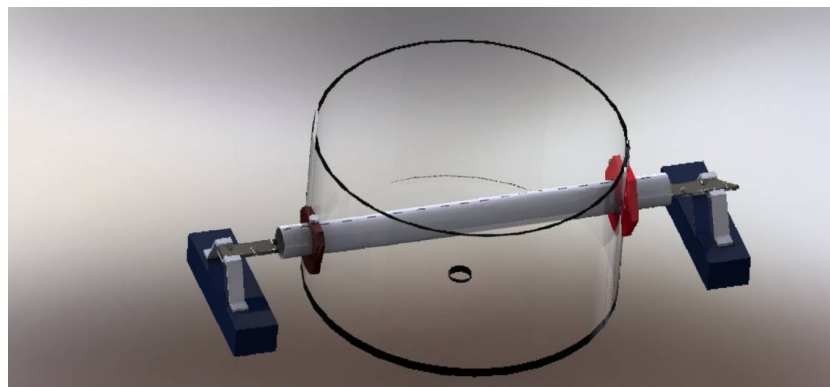


Рис. 4. Установка для реализации метода отпечатков

В табл. 4 представлены результаты исследований эффективности распыления модернизированной форсунки.

Для сравнения в табл. 5 представлены данные исследований тем же методом для форсунки с винтовым распылителем и диаметром центрального отверстия 2 мм.

Таблица 4

**Результаты исследований дисперсности капель методом отпечатков
для модернизированной форсунки**

Размер капель, мм	Количество капель			Среднее количество капель	Суммарное количе- ство капель
	1 опыт	2 опыт	3 опыт		
3	1	3	2	2	6
2	7	6	6	6	19
1	5	4	4	4	13
0,1	7	4	4	5	15

Таблица 5

**Результаты исследований дисперсности капель методом отпечатков
для винтовой форсунки**

Размер капель, мм	Количество капель			Среднее количество капель	Суммарное количе- ство капель
	1 опыт	2 опыт	3 опыт		
1,5	4	4	3	4	11
1	4	3	3	3	10
0,5	3	4	3	3	10
0,1	6	7	6	6	19

Здесь тенденция предыдущего опыта сохраняется, хоть и менее выраженная: Суммарное количество капель больше для модернизированной форсунки, а размеры их крупнее.

Также следует отметить значительное уменьшение количества уловленных пластиной капель наименьшего размера (0,1 мм и менее), как и уменьшение количества уловленных капель для модернизированной форсунки в целом.

Поскольку условия эксперимента были теми же, можно сделать вывод, что для данных опытов удерживающая способность вязкой среды выше, чем сажи. Однако второй метод дает более четкие отпечатки и позволяет лучше оценить размеры капель.

Ниже представлены увеличенные фотографии результатов распыления: после применения

метода улавливания в жидкость для модернизированной форсунки с завихрителем и для фор-

сунки с винтовым распылителем (рис. 5, а и б соответственно), а также после применения метода отпечатков (рис. 5, в).

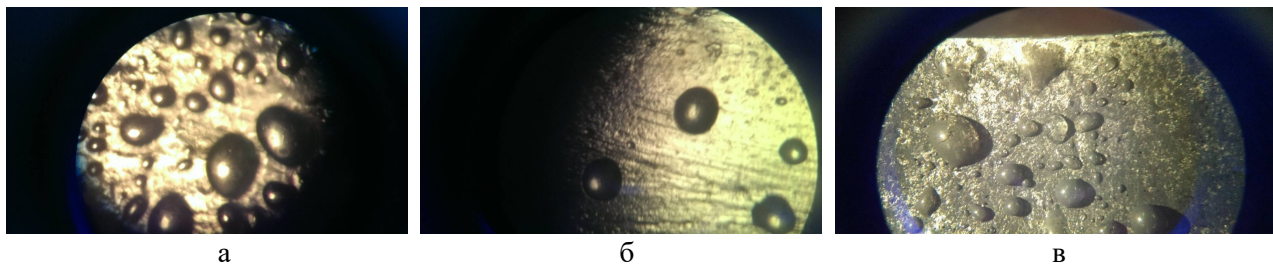


Рис. 5. Фотографии результатов распыления
а – метод улавливания в жидкость, модернизированная форсунка;
б – метод улавливания в жидкость, винтовая форсунка; в – метод отпечатков

Фотографии подтверждают результаты исследований: видно, насколько большее количество капель образуется в модернизированной конструкции. Также заметно, что при попадании на сажу капли имеют более четкую границу, о чем упоминалось выше.

Выводы.

1. Предложена модернизированная конструкция форсунки с завихрителем для использования в башенных распылительных сушилках.

2. Установлено, что использование модернизированной форсунки позволяет достичь более равномерного распределения капель по радиусу в сравнении с базовыми образцами. Удалось получить коэффициент неравномерности орошения $K=108$, что является прекрасным показателем.

3. Показано, что модернизированная форсунка с завихрителем позволяет получить большее количество капель в требуемом для распылительных сушилок диапазоне размеров в 1,5 – 3 раза в зависимости от метода исследований.

4. Таким образом, исследуемая форсунка с завихрителем может быть эффективно использована в башенных распылительных сушилках для получения пресс-порошка в производстве керамической плитки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. М.: Альянс. 2004. 751 с.
2. Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии: в 2ч. М.: Химия, 2002. Ч. 2: Массообменные процессы и аппараты. 368 с.
3. Силенок С.Г., Борщевский А.А., Горбовец М.Н., Мелия Г.С., Туренко А.В., Элсер Е.А.

Механическое оборудование предприятий строительных материалов изделий и конструкций: учеб. для вузов. М.: Машиностроение, 1990. 416 с.

4. Ильевич А.П. Машины и оборудование для заводов по производству керамики и огнеупоров. М.: Машиностроение, 1979. 355 с.

5. Булавин И.А. Машины и автоматические линии для производства тонкой керамики. М.: Машиностроение, 1979. 325 с.

6. Севостьянов В.С., Богданов В.С., Дубинин Н.Н., Уральский В.И. Механическое оборудование производства тугоплавких неметаллических и силикатных материалов и изделий. М.: ИНФА-М, 2014. 432 с.

7. Белопольский М.С. Сушка керамических суспензий в распылительных сушилках. М.: Машиностроение, 1972. 284 с.

8. Пажи Д.Г., Корягин А.А., Ламм Э.Л. Распыливающие устройства в химической промышленности. М.: Химия, 1975. 375 с.

9. Кафаров В.В. Основы массопередачи. М.: Высш. шк., 1979. 439 с.

10. Сажин Б.С. Основы техники сушки. М.: Химия, 1984. 320 с.

11. Лыков М.В. Сушка в химической промышленности. М.: Химия, 1970. 432 с.

12. Фролов В.Ф. Моделирование сушки дисперсных материалов. Л.: Химия, 1987. – 206 с.

13. Михалева Т.В. Методологическое обоснование агрегата и процесса распылительной сушки в нестационарных аэродинамических потоках: дис. кандидат технических наук: 05.02.13 – Машины, агрегаты и процессы (по отраслям). Оренбург, 2013. 161 с.

14. Левданский Э.И. Расчет промышленных установок для сушки сыпучих и кусковых материалов. Минск, БГТУ, 1992. 83 с.

15. Ермилов П.И. Диспергирование пигментов: Учебник для строительных вузов. М.: Машиностроение, 1971. 300 с.

Информация об авторах

Францкевич Виталий Станиславович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой машин и аппаратов химических и силикатных производств. E-mail: fvs2@tut.by. Белорусский государственный технологический университет. Республика Беларусь, 220006, Минск, ул. Свердлова, д. 13а.

Гребенчук Павел Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры машин и аппаратов химических и силикатных производств. E-mail: p_grebenchuk@mail.ru. Белорусский государственный технологический университет. Республика Беларусь, 220006, Минск, ул. Свердлова, д. 13а.

Минченко Павел Александрович, студент кафедры машин и аппаратов химических и силикатных производств. Белорусский государственный технологический университет. Республика Беларусь, 220006, Минск, ул. Свердлова, д. 13а.

Поступила 27.05.2022 г.

© Францкевич В.С., Гребенчук П.С., Минченко П.А., 2022

Franckevich V.S., *Grebenchuk P.S., Minchenko P.A.

Belorussian State Technological University

**E-mail: p_grebenchuk@mail.ru*

INVESTIGATION OF CENTRIFUGAL INJECTORS SLIP ATOMIZER

Abstract. *The article defines the scope of liquid sprayers in modern technologies. The mechanism of formation of drops from a liquid jet and the parameters of the medium that affect the size of these drops are described. The basic requirements for nozzles and other sprayers used in spray dryers are characterized. It has been established that the most important characteristics of their work are the uniformity of the spray and the dispersion of the drops. A technique for calculating the efficiency of spraying based on experimental data using the irrigation non-uniformity coefficient is proposed. Methods for estimating the dispersion and distribution of droplets produced in a nozzle are described. A modernized design of the nozzle with a swirler and a distributor for use in slip atomizers to produce press powder is proposed. Comparative studies of this nozzle are carried out in order to assess the uniformity of its spray and the dispersion of drops according to the above methods. Photographs of the results of spraying by two proposed methods are presented. Analysis of the research results shows that the modernized nozzle has a significant advantage in comparison with traditional designs in terms of its main performance characteristics. This provides the prospects for its use in spray dryers, in particular, in the production of high quality ceramic press powder.*

Keywords: *spray dryer, slip, nozzle, spray uniformity, swirl, drop, dispersion.*

REFERENCES

1. Kasatkin A.G. Basic processes and apparatuses of chemical technology [Osnovnie proceccy i apparaty himicheskoi tehnologii]. M.: Alliance. 2004. 751 p. (rus)
2. Dytner'sky Y.I. Processes and apparatuses of chemical technology [Proceccy I apparaty himicheskoi tehnologii] : in 2p. M.: Chemistry, 2002. P. 2: Mass transfer processes and apparatuses [Massoobmennyye proceccy i apparaty]. 368 p. (rus)
3. Silenok S.G, Borshchevsky A.A., Gorbovets M.N., Meliya G.S., Turenko A.V., Eler E.A. Mechanical equipment of enterprises of building materials products and structures: textbook for universities [Mehanicheskoe oborydovanie predpriyatij stroitelnykh materialov i izdeliy: ychebnik dlya vyzov]. M.: Mechanical Engineering, 1990. 416 p. (rus)
4. Ilevich A.P. Machinery and equipment for factories for the production of ceramics and refractories [Mashiny I oborydovanie dlya zavodov po proizvodstvu keramiki I ogneyporov]. M.: Mechanical Engineering, 1979. 355 p. (rus)
5. Bylavin I.A. Machines and automatic lines for the production of fine ceramics [Mashiny i avtomaticheskie linii dlya proizvodstva tonkoi keramiki]. M.: Mechanical Engineering, 1979. 325 p. (rus)
6. Sevastianov V.S., Bogdanov V.S., Dubinin N.N., Uralsky V.I. Mechanical equipment for the production of refractory non-metallic and silicate materials and products [mehanicheskoe oborydovanie dlya proizvodstva tygoplavki nemetallicheskih i silikatnykh materialov i izdeliy]. M.: INFA-M, 2014. 432 p. (rus)
7. Belopolski M.S. Drying of ceramic suspensions in spray dryers [Sushka keramicheskikh suspenziy v raspylitselnykh syshilkah]. M.: Mechanical Engineering, 1972. 284 p. (rus)
8. Paji D.G., Kariagin A.A., Lamm E.I. Spraying devices in the chemical industry [raspylivayushchie ystroystva v himicheskoi promyshlennosti]. M.: Chemistry, 1975. 375 p. (rus)
9. Kafarov V.V. Fundamentals of mass transfer [Osnovy massopredachi]. M.: Higher School, 1979. 439 p. (rus)

10. Sazjin B.S. Fundamentals of drying techniques [Osnovy tehniki syshki]. M.: Chemistry, 1984. 320 p. (rus)

11. Lykov M.V. Drying in the chemical industry [Sushka v himicheskoi pomyslennosti]. M.: Chemistry, 1970. 432 p. (rus)

12. Frolov V.F. Modeling of drying of dispersed materials [Modelirovanie syshki dispersnykh materialov]. L.: Chemistry, 1987. 206 p. (rus)

13. Mikhaleva T.V. Methodological justification of the unit and the spray drying process in non-stationary aerodynamic flows [Metodologicheskoe obosnovanie agregata i processa raspylitelnoi syshki

v nestatsionarnykh aerodinamicheskikh potokakh]: dis. Candidate of Technical Sciences: 05.02.13 – Machines, units and processes (by industry). Orenburg, 2013. 161 p.

14. Levdanski E.I. Calculation of industrial installations for drying bulk and lump materials [Raschet promyshlennykh ystanovok dlya syshki sipykh i kyskovykh materialov]. Minsk, BSTU, 1992. 83 p. (rus)

15. Ermilov P.I. Dispersion of pigments: Textbook for construction universities [Dispergirovanie pigmentov: Ychebnyk dlya stroitelnykh vyzov]. M.: Mechanical Engineering, 1971. 300 p. (rus)

Information about the authors

Franckevich Vitaly S. PhD. E-mail: fvs2@tut.by. Belarusian State Technological University. Republic of Belarus, 220006, Minsk, Sverdlova st., 13a

Grebenchuk Pavel S. PhD. E-mail: p_grebenchuk@mail.ru. Belarusian State Technological University. Republic of Belarus, 220006, Minsk, Sverdlova st., 13a

Minchenko Pavel A. Student. Belarusian State Technological University. Republic of Belarus, 220006, Minsk, Sverdlova st., 13a

Received 27.05.2022

Для цитирования:

Францкевич В.С., Гребенчук П.С., Минченко П.А. Исследование центробежных форсунок шликерного атомизатора // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2022. №9. С. 108–115. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-9-108-115

For citation:

Franckevich V.S., Grebenschuk P.S., Minchenko P.A. Investigation of centrifugal injectors slip atomizer. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2022. No. 9. Pp. 108–115. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-9-108-115