

## Анализ пылеочистного оборудования, используемого при производстве растворимых порошков

Елена А. Рудыка,<sup>1</sup> calidahieme@gmail.com  
Елена В. Батурина<sup>1</sup> batyrina1717@mail.ru

<sup>1</sup> кафедра технологии органического синтеза и высокомолекулярных соединений., Воронеж. гос. ун-т. инж. технол., пр-т Революции, 19, Воронеж, 394036, Россия

**Реферат.** Проанализирована система очистки воздуха цеха сушки, специализирующегося на производстве пищевых порошков, выявлены места пылевыделения в цехе сушки, при производстве растворимых пищевых порошков, определены параметры отработанного теплоносителя сушилки, проанализированы свойства полученного продукта, а также определена эффективность работы используемых средств очистки воздуха. Проанализирована используемая на предприятии двухступенчатая система очистки. В качестве первой ступени очистки установлен конический циклон, в качестве второй ступени очистки предложен исследуемый пылеуловитель с внутренней циркуляцией жидкости. Выявлено, что при сушке этого порошка в выбросах содержится большая доля мелкодисперсной фракции пыли. Был проведен ряд исследований с этой пищевой пылью. Установлено, что эффективность улавливания в циклоне составляла от 68% (пыль чая) до 92% (пыль концентрата квасного сусла). Анализируя полученные данные отмечено, что эффективность очистки отработанного теплоносителя в большой степени зависит от дисперсного состава пищевой пыли, и для частиц размером менее 10 мкм является недостаточной. Предложено использование для очистки теплоносителя мокрого пылеуловителя с внутренней циркуляцией жидкости. Определены закономерности изменения концентрации сухих веществ в очищающей жидкости, ее вязкости и поверхностного натяжения с увеличением времени работы пылеуловителя с момента пуска. Установлено, что увеличение концентрации сухих веществ в очищающей жидкости с увеличением времени работы аппарата с момента пуска приводит к изменению поверхностного натяжения и вязкости этой жидкости. Показано, что эффективная пылеочистка в аппарате снижается по мере возрастания вязкости рабочей жидкости. Установленные теоретически и экспериментально закономерности могут быть использованы при расчете оптимального удельного расхода жидкости, обеспечивающего эффективную очистку выбросов и возвращение уловленного продукта в технологический цикл.

**Ключевые слова:** сушилка, очистка воздуха, пыль, вязкость, поверхностное натяжения

## Analysis of dust removal equipment used in the manufacture of soluble powders

Elena A. Rudyka,<sup>1</sup> calidahieme@gmail.com  
Elena V. Baturina<sup>1</sup> batyrina1717@mail.ru

<sup>1</sup> department of organic synthesis and high molecular compounds, Voronezh state university of engineering technology, Revolyutsii Av. 19, 394036, Voronezh, Russi

**Summary.** Analyzed the system of drying plant air cleaning, specializing in the production of food powders, dust emission identified place in the shop drying in the production of soluble dietary powders, the parameters of the dryer exhaust coolant, analyzed the properties of the product, as well as determined the effectiveness of the use of air purification equipment. Analyzed used at the enterprise two-stage cleaning system. As a first purification stage conical cyclone installed as a second stage purification analyzed dust collector is proposed with internal circulation of the liquid. It was found that the drying of the powder contained in the emissions of a large proportion of the fine fraction of dust. Several studies have been conducted with this food dust. It was found that the collection efficiency in the cyclone ranged from 68% (tea dust) to 92% (dust kvass wort). Analyzing the data obtained indicated that the efficiency of cleaning exhaust coolant is heavily dependent on the food composition of disperse dust, and less than 10 microns particles is insufficient. It is proposed to use for cleaning the coolant wet dust collector with internal circulation of the liquid. The regularities of change of concentration of solids in the cleaning liquid, its viscosity and surface tension with increasing operating time since the start of the dust collector. It is found that increasing the concentration of solids in the cleaning liquid increases with the operating time of the machine since the start-up leads to changes in surface tension and viscosity of the liquid. It is shown that the effective dust collection in the machine decreases as the viscosity of the working fluid. Both theoretically and experimentally established patterns may be used when calculating the optimum specific liquid flow to provide effective cleaning and releases the trapped product return process cycle.

**Keywords:** dryer, cleaning the air, dust, viscosity, surface tension

### Введение

На предприятиях пищевой промышленности большое число технологических процессов сопровождается выделением пыли. Это снижает безопасность производства, является актуальной проблемой, решение которой важно как с экологической, так, и с экономической точки зрения.

Проблема снижения потерь готового продукта на стадии распылительной сушки имеет важное экономическое значение. Величина уноса продукта с отработанным воздухом из-за несовершенства методов и аппаратов очистки достигает значительных размеров.

Для цитирования

Рудыка Е. А., Батурина Е. В. Анализ пылеочистного оборудования, используемого при производстве растворимых порошков // Вестник ВГУИТ. 2016. № 2. С 193–196. doi:10.20914/2310-1202-2016-2-193-196

For citation

Rudyka E. A., Baturina E. V. Analysis of dust removal equipment used in the manufacture of soluble powders. *Vestnik VSUET* [Proceedings of VSUET]. 2016. no 2 pp. 193–196 (in Russ.). doi:10.20914/2310-1202-2016-2-193-196

Основным мероприятием по защите атмосферы от промышленных выбросов является применение технических средств. При этом выбор необходимой системы очистки связан с физико-химическими характеристиками выбросов. Анализ литературных источников показывает, что в настоящее время проводится работа по разработке высокоэффективных пылеулавливающих устройств, учитывающих особенности конкретного производства.

Вредность пылевых выбросов зависит не только от агрессивности и химического состава частиц, но и от их дисперсного состава. Особенно опасными для здоровья человека являются мелкодисперсные частицы, размером менее 5 мкм, которые не задерживаются в верхних дыхательных путях. Они и попадают в организм человека, нанося вред органам дыхания.

На пищевых предприятиях широко используются аппараты сухой очистки, обладающие рядом преимуществ и недостатков, ограничивающих их применение в качестве единственной степени очистки. В первую очередь этим фактором является недостаточная эффективность очистки воздуха от мелкодисперсной пыли. Поэтому рекомендуется применять комбинированные способы очистки.

При ведении многих технологических процессов, в том числе при эксплуатации сушильного оборудования в отраслях пищевой промышленности, хорошо зарекомендовала себя двухступенчатая схема очистки теплоносителя.

В настоящее время в качестве второй степени очистки нередко используются фильтры или аппараты мокрой очистки. Применение каждого из этих пылеуловителей также имеет свои особенности. Используемые аппараты должны обладать высокой эффективностью пылеулавливания, иметь небольшое гидравлическое сопротивление, минимальный расход рабочей жидкости.

Перечисленным требованиям, предъявляемым к очистным устройствам, в значительной мере соответствуют мокрые пылеуловители с внутренней циркуляцией жидкости. Поэтому эти аппараты получают широкое распространение при очистке воздушных выбросов.

Нами проводилась разработка системы очистки на линии сушки растворимых пищевых порошков. Сырье, поступившее на предприятие, разводится водой до требуемой концентрации, перемешивается и предварительно нагревается, затем подается насосом на одну из пневматических форсунок распылительной сушилки РС-250.

В рабочем объеме сушилки распыленный исходный продукт смешивается с теплоносителем и высушивается, а отработанный теплоноситель поступает в циклон на очистку вместе с частью не уловленного пищевого продукта.

Представленный технологический процесс сопровождается потерей ценного пищевого продукта. Анализ полученных ранее результатов показывает, что в среднем потери сухого продукта составляют около 4% при сушке цикория, 3% при сушке концентрата квасного сусла, 9% при сушке порошка чая от производительности сушилки.

Причинами этих потерь являются неплотности соединения элементов сушильной камеры и отводящего трубопровода, разгерметизации сушильной камеры вследствие необходимости периодических остановок технологического процесса.

Участки повышенной запыленности воздуха возникают при проведении операций по разгрузке сухого продукта, его развеса и упаковки в бумажные мешки. Осевшая пыль периодически убирается из помещения, но происходит это, как правило, сухим способом, что приводит к взмучиванию мелкодисперсной пыли в воздухе рабочей зоны.

Но все же основной причиной потери готового пищевого продукта, а также дополнительного загрязнения воздуха в санитарной зоне предприятия является недостаточно эффективная работа используемого очистного оборудования.

Сушка пищевых порошков происходила при расходе исходного продукта около 1000 дм<sup>3</sup>/час. Расход воздуха, который подавался в циклон, находится в интервале 8500–8750 м<sup>3</sup>/час. Температура измерялась на входе в циклон и колебалась в пределах 92–97 °С.

На предприятии была предложена для использования двухступенчатая система очистки. В качестве первой степени очистки установлен конический циклон.

После этого был проведен ряд исследований с мелкодисперсной пищевой пылью. Эффективность улавливания в циклоне составляла от 68% (пыль чая) до 92% (пыль концентрата квасного сусла).

Анализируя полученные данные можно отметить, что эффективность очистки отработанного теплоносителя в большой степени зависит от дисперсного состава пищевой пыли, и для частиц размером менее 10 мкм является недостаточной. Это доказывает, что производству требуется более эффективное средство очистки, способное улавливать мелкодисперсные фракции пыли, составляющие основную массу пищевого продукта, теряемого в процессе сушки.

Для определения дисперсного состава исследуемого пылевидного продукта мы использовали струйный сепаратор – импактор.

В качестве второй ступени очистки нами был предложен исследуемый пылеуловитель с внутренней циркуляцией жидкости.

Но использование данного вида аппаратов также имеет свои особенности. Вопросом особой важности в данном случае является выполнение необходимых требований к качеству используемой воды, которая затем возвращается в технологический процесс и смешивается с суспензией поступившего продукта.

А значит необходимо выполнение следующих необходимых условий:

- используемая вода не должна ухудшать качество получаемого продукта;
- должна быть обеспечена безаварийная работа оборудования;
- оно не должно разрушаться вследствие коррозии, на стенках не должны появляться отложения;
- не должно быть негативного влияния на здоровье пользователей за счёт изменения токсикологических или эпидемиологических характеристик воды.

Таким образом, использование замкнутой системы водообеспечения не только

уменьшает объем циркулирующей воды и, соответственно, снижает затраты на очистку выбросов, но и предполагает постоянный контроль за качественным составом используемой воды.

Процесс очистки выбросов в аппаратах с внутренней циркуляцией жидкости и самоорошением заключается в переходе частиц пыли из воздушного потока в жидкую фазу аппарата.

Поэтому большое значение имеет исследование процесса поглощения выделяющегося пылевидного продукта очищающей жидкостью.

Целью дальнейших исследований являлось определение закономерностей изменения концентрации сухих веществ в очищающей жидкости, её вязкости ( $\mu$ ) и поверхностного натяжения ( $\sigma$ ) с увеличением времени работы пылеуловителя с момента пуска.

Изучено влияние концентрации сухих веществ на коэффициент динамической вязкости и поверхностное натяжение жидкости. Установлено, что увеличение концентрации сухих веществ в очищающей жидкости с увеличением времени работы аппарата с момента пуска приводит к изменению поверхностного натяжения и вязкости этой жидкости (таблица 1). Это оказывает влияние на эффективность очистки воздуха в этом аппарате.

Таблица 1

Определение вязкости и поверхностного натяжения очищающей жидкости пылеуловителя с увеличением времени работы аппарата

Table 1

Determination of the viscosity and surface tension of the cleaning liquid scrubber with increasing time of the apparatus

Время работы аппарата с момента пуска, ч Device operating time (since the start), h	Поверхностное натяжение Surface tension $6 \times 10^3$ , Н/м N/m (при $M=0,001$ м <sup>3</sup> /ч м <sup>3</sup> /h)			Коэффициент динамической вязкости, Dynamic viscosity coefficient $\mu \times 10^3$ , Па/с Pa/s (при $M=0,001$ м <sup>3</sup> /ч м <sup>3</sup> /h)		
	при температуре жидкости, t °C at a liquid temperature, t °C			при температуре жидкости, t °C at a liquid temperature, t °C		
	20	40	60	20	40	60
14	73,6	67,9	64,5	-	-	-
28	74,5	68,8	65,6	1,30	0,81	0,57
34	75,1	69,5	66,3	1,55	0,97	0,67
48	75,6	70,2	67,0	1,96	1,18	0,79
76	76,5	71,5	67,7	3,20	1,84	1,20
112	77,3	-	69,0	6,18	3,39	2,15

Опыты проводились при концентрации пыли цикория в отработанном воздухе 150 мг/м<sup>3</sup> на входе в рассматриваемый пылеуловитель. Расход очищающей жидкости составлял 0,01 м<sup>3</sup>/ч и 0,001 м<sup>3</sup>/ч.

Анализируя полученные данные можно отметить, что увеличение продолжительности взаимодействия запылённого потока с очищающей жидкостью сопровождается ростом поверхностного натяжения и динамической вязкости.

Установлено, что кинематическую вязкость водно-цикориевого раствора можно определить по следующему уравнению:

$$n_p = n_b / A^7 C,$$

где  $n_p$  и  $n_b$  – коэффициент кинематической вязкости (м<sup>2</sup>/с) соответственно раствора и воды при данной температуре t °C; C – массовая концентрация раствора, % безводного цикория;

$$A = 2,29840^4 + 0,0465690^4 (t - 20).$$

Для вычисления поверхностного натяжения водно-цикориевых растворов на основании экспериментальных данных при температуре 20 °С предложено эмпирическое уравнение:

$$s_{20} = s_0 (1 + 0,00192 \cdot C),$$

где  $s_{20}$  – поверхностное натяжение воды при температуре 20 °С.

При других температурах  $s$  можно рассчитать по уравнению:

#### ЛИТЕРАТУРА

1 Рудыка Е.А., Батурина Е.В., Семенихин О.А., Матющенко И.Н. Модернизация аппаратов очистки отработанного воздуха в пищевой промышленности // Вестник Воронежского технического университета. 2010. Т. 6. № 8. С. 40–42.

2 Швыдкий В.С., Ладигичев М.Г. Очистка газов: Справочное издание. М.: Теплоэнергетик, 2002. 640 с.

3 Гавриленков А.М., Емельянов А.Б., Шаров А.В. Экологические аспекты интенсификации конвективной сушки // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2012. № 3. С. 137–139.

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Елена А. Рудыка** к.т.н., доцент, кафедра технологии органического синтеза и высокомолекулярных соединений, Воронеж. гос. ун-т. инж. техн., пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, calidahieme@gmail.com

**Елена В. Батурина** к.т.н., доцент, кафедра технологии органического синтеза и высокомолекулярных соединений, Воронеж. гос. ун-т. инж. техн., пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, baturina1717@mail.ru

#### КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

**Елена В. Батурина** предложила методику проведения эксперимента и организовала производственные испытания

**Елена А. Рудыка** написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

#### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 15.03.2016

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 12.04.2016

$$s = s_{20} [1 - 0,0026 (t - 20)],$$

где 0,0026 – эмпирический коэффициент.

Также проводились исследования по определению эффективности работы пылеуловителя в условиях длительного самоорошения. В результате было выяснено, что эффективность пылеочистки в аппарате снижается при увеличении вязкости рабочей жидкости.

#### REFERENCES

1 Rudyka E.A., Baturina E.V., Semnikhin O.A., Matyushchenko I.N. Modernization of exhaust air cleaning machines in the food industry. *Vestnik Voronezhskogo tekhnicheskogo universiteta* [Proceedings of Voronezh Technical University] 2010, vol. 6, no. 8, pp. 40–42. (in Russian).

2 Shvydkii V.S., Ladigichev M.G. Ochistka gazov [Cleaning gas: Reference book] Moscow, Teploenergetik, 2002, 640 p.. (in Russian).

3 Gavrilencov A.M., Emelyanov A.B., Sharov A.V. Environmental aspects of the intensification of convective drying. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET] 2012, no. 3, pp. 137–139. (in Russian).

#### INFORMATION ABOUT AUTHORS

**Elena A. Rudyka** cand.tech.sci., associate prof., chair of organic synthesis and high molecular compounds Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, Russia, calidahieme@gmail.com

**Elena V. Baturina** cand.tech.sci., associate prof., chair of organic synthesis and high molecular compounds, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, Russia, ba-turina1717@mail.ru

#### CONTRIBUTION

**Elena A. Rudyka** proposed a scheme of the experiment and organized production trials

**Elena A. Rudyka** wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

#### CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 3.15.2016

ACCEPTED 4.12.2016