

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ ГАЗОВ МУКОМОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В ПЫЛЕУЛАВЛИВАЮЩИХ УСТАНОВКАХ

Юдичева И.Н.

Оренбургский государственный университет, г. Оренбург

Мукомольная промышленность входит в число социально значимых отраслей агропромышленного комплекса. Вырабатываемые из муки хлеб, хлебобулочные, макаронные, крупяные и кондитерские изделия имеют широкий спрос среди населения. Именно поэтому основным критерием продовольственной безопасности страны является стабильное обеспечение населения и промышленности продуктами переработки зерна.

По данным Росстата, потребление муки и крупы по нормам потребительской корзины в России составляет 108,0 кг на человека в год. [1] В структуре потребления хлебопродуктов большую часть занимают хлеб и хлебобулочные изделия, далее идут макаронные и крупяные изделия.

Несмотря на это, отечественные типовые технологические процессы переработки пшеницы в хлебопекарную муку еще отстают от зарубежных аналогов по материалоемкости, удельной энергоемкости, занимаемой площади, расходу воздуха, энергии и уровню автоматизации. Техническое оснащение мукомольных предприятий находится на низком уровне. В стране 112 мельниц общей годовой мощностью 7 млн. т производства муки дореволюционной постройки, 33 мельницы мощностью 2 млн. т муки введены в строй с 1917 по 1945 годы, остальные товарные мельницы с потенциалом 8,2 млн. т муки построены в 1945-1980 годы. [1]

Таким образом, около 50 % мукомольных предприятий находятся в работе по 30-40 лет и по своей технической оснащенности устарели, используют несовершенные технику и технологии, энергоемки, не автоматизированы, что не позволяет вырабатывать продукцию с высокими качественными показателями, и влечет за собой негативное влияние на окружающую среду, характеризующееся следующими основными направлениями:

- загрязнение воздуха за счет выброса пыли и токсичных веществ;
- загрязнение зернопродуктов;
- выделение сточных вод;
- образование вторичных материальных ресурсов – отходов.

Рассмотрим более подробно какое воздействие оказывает деятельность мукомольных предприятий на состояние атмосферы.

В процессе очистки зерна от примесей и сухой очистки его поверхности, а также при перемещениях зерна образуется значительное количество горючей (зерновой и мучной) пыли. По виду пыль, выделяемая мукомольными предприятиями, может быть органической, неорганической или органо-минеральной. Известно, что в зерновую пыль могут попадать споры различных грибов. Поэтому нередко она является переносчиком вирусных заболеваний.

При этом в черных бункерах, сепараторах, самотечных трубопроводах образуется в основном зерновая пыль, в свою очередь в вальцовых станках, рассевах, ситовейках, выбойных аппаратах – мучная пыль.

Обычно состав пыли идентичен составу перерабатываемого и транспортируемого зерна. На практике частица зерновой пыли содержит много типов молекул с различными характеристиками. Зерновая пыль, образующаяся при очистке зерна от примесей и оболочек, имеет наиболее крупные частицы. Мучная пыль более дисперсна, чем зерновая. Наличие большого количества мелких частиц обуславливает образование стойкого пылевого облака.

Запыленность неблагоприятно сказывается не только на состоянии окружающей среды, но и на микроклимате и санитарно-гигиеническом состоянии цехов предприятий, способствуя возникновению опасных и вредных производственных факторов, воздействующих на работающих. Повышенная запыленность ухудшает режим эксплуатации и сокращают срок службы технологического оборудования и строительных конструкций. Серьезной проблемой на предприятиях мукомольной отрасли промышленности является высокая взрыво- и пожароопасность, причинами которой становятся значительные неорганизованные пылепоступления органических горючих веществ и возникновение пожаровзрывоопасных пылевоздушных смесей.

В соответствии с действующими нормами концентрация пыли в воздухе, выбрасываемом в атмосферу, не должна превышать допустимую концентрацию пыли в воздухе рабочих зон более чем в 15 раз, т. е. не более 60 мг/м^3 для зерновой пыли и 100 мг/м^3 – для мучной. В воздухе рабочей зоны производственных помещений ПДК зерновой пыли должна составлять не более 4 мг/м^3 , мучной – 6 мг/м^3 .

Во избежание негативного воздействия выбросов загрязненного пылью воздуха на состояние окружающей среды, персонал мукомольного предприятия, население и в целях предупреждения аварийных ситуаций, вызванных пожаро- и взрывоопасными свойствами пыли, необходимо производить очистку отходящих газов от взвешенных в нем частиц.

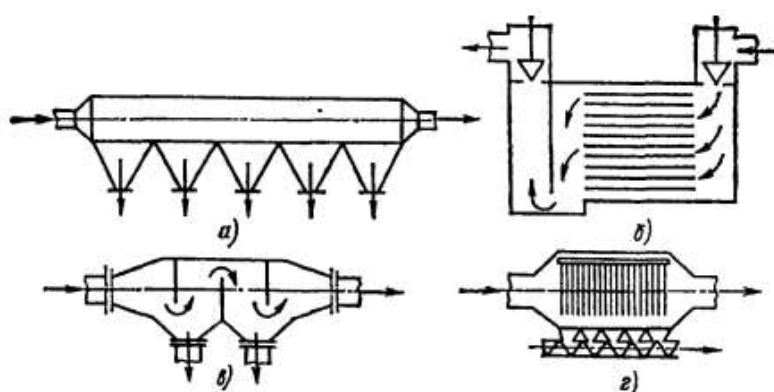
Способы очистки воздуха от пыли можно разделить на три основных вида: сухой, мокрый и электрический. Выбор метода зависит от ценности задерживаемой пыли; так, применение мокрого способа очистки воздуха от пыли связано с изменением ее основных свойств (потерей ценности). [2]

Пылеулавливающее оборудование характеризуется большим разнообразием как по принципу действия, так и по конструктивным особенностям. К оборудованию, улавливающему пыль сухим способом, относится, помимо прочих, пылеосадительная камера.

Пылеосадительная камера является простейшим и широко распространенным пылеулавливающим устройством, применяемым в мукомольном производстве. Она состоит из камеры, в которой скорость очищаемого газа понижается до такой степени, при которой диспергированные в нем частицы оседают из движущегося потока под действием силы тяжести [3] и представляет собой пустотелый или с вертикальными полками во внутренней полости

прямоугольный короб, в нижней части которого имеется отверстие или бункер для сбора пыли. [4]

Для равномерного газораспределения по сечению пылеосадительные камеры могут снабжаться диффузорами и газораспределительными решетками, а для снижения высоты осаждения частиц – горизонтальными и наклонными полками. В некоторых конструкциях пылеосадительных камер для повышения их эффективности предусматривается устройство цепных или проволочных завес и отклоняющих перегородок. Это позволяет дополнительно к гравитационному эффекту использовать эффект инерционного осаждения при обтекании потоком газов различных препятствий. [5] На рисунке 1 представлены наиболее распространенные конструкции пылеосадительных камер.



- а – простейшая пылеосадительная камера;
- б – многополочная камера;
- в – камера с перегородками;
- г – камера с цепными или проволочными завесами

Рисунок 1 – Пылеосадительные камеры инерционного действия

Для этого типа уловителей существенно, чтобы профиль латеральной скорости был возможно более однообразным и чтобы степень турбулентности была низка по отношению к скорости оседания. Отклонение от этих требований ведет к снижению эффективности очистки. Эти условия достигаются обычно путем постепенного впуска очищаемого газа, применения регулирующих клапанов или пластинок, направляющих движение газа. [6] К тому же, для достижения приемлемой эффективности очистки газов данными устройствами необходимо, чтобы частицы пыли находились в аппаратах возможно более продолжительное время. Поэтому данное оборудование относится к категории экстенсивного оборудования, рабочие объемы таких аппаратов весьма значительны, что требует больших производственных площадей. [6]

Скорость газа в камере, как правило, составляет от 0,2 до 2,5 м/с. Увеличение скорости газа, проходящего сквозь пылеосадительную камеру, может привести к уносу уже осевших частиц. Во избежание выше перечисленных проблем

необходимо произвести расчет пылеулавливающего устройства и определить, при каких скоростях движения газового потока внутри очистного устройства достигается наибольшая эффективность осаждения частиц мучной и зерновой пыли на мукомольном предприятии.

Определим эффективность осаждения частиц в пылеосадительной камере, если она имеет длину $L = 10$ м, высоту $H = 1$ м, ширину $B = 2$ м. Расход воздуха через камеру $V = 3600$ м³/ч, плотность частиц $\rho_{\text{ч}} = 500$ кг/м³, вязкость газа (в нашем случае воздуха) $\mu = 18 \cdot 10^{-6}$ Па·с.

Скорость газового потока в рабочем сечении камеры:

$$v = \frac{V}{H \cdot B}, \quad (1)$$

где V – расход газов, м³/с;

H, B – высота и ширина камеры, м.

$v = 3600/3600 \cdot 1 \cdot 2 = 0,5$ м/с.

Относительная скорость осаждения частиц, улавливаемых в камере с эффективностью, равной 50 %, определяется с помощью уравнения:

$$\left(\frac{\omega_{\text{ос}}}{v} \right)_{50} = 1,5 \frac{H}{L}, \quad (2)$$

где $\omega_{\text{ос}}$ – скорость осаждения частиц, м/с.

$$\left(\frac{\omega_{\text{ос}}}{v} \right)_{50} = 1,5 \frac{H}{L} = 1,5 \frac{1}{10} = 0,15$$

Отсюда скорость осаждения-витания $(\omega_{\text{ос}})_{50} = 0,075$ м/с.

Диаметр частиц, оседающих в камере на 50 %, находят в предположении, то оседание происходит в соответствии с законом Стокса по формуле:

$$d_{50} = \sqrt{\frac{18 \cdot \mu \cdot \omega_{\text{ос}}}{g(\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{с}})}}, \quad (3)$$

где g – ускорение свободного падения, принимается равным $9,8$ м/с².

$\rho_{\text{с}}$ – плотность среды, кг/м³; в данном случае плотность воздуха по справочным данным составляет $1,25$ кг/м³.

Тогда по найденной скорости осаждения-витания, заданной плотности и вязкости газа находим размер частиц, улавливаемых в камере с эффективностью 50 %:

$$d_{50} = \sqrt{\frac{18 \cdot 18 \cdot 10^{-6} \cdot 0,075}{9,8(500 - 1,25)}} = 7 \cdot 10^{-5} \text{ м} = 70 \text{ мкм}.$$

Выберем несколько дополнительных относительных скоростей витания:

$$\left(\frac{\omega_{oc}^1}{v}\right)_{50}=0,1 \text{ и } \left(\frac{\omega_{oc}^1}{v}\right)_{50}=0,2$$

Этим значениям относительных скоростей витания соответствуют диаметры частиц $d_{ч}^1 = 60$ мкм и $d_{ч}^2 = 90$ мкм.

Определим среднюю концентрацию частиц на выходе из камеры для каждого принятого соотношения ω_{oc}/v или, что то же самое, для каждого принятого значения $d_{ч}$, следующим образом:

1 назовем «k» точек по высоте сечения, задаваясь величиной h/H , где h – расстояние от потолка камеры до рассматриваемой точки;

2 рассчитаем параметры очистки x_1 и x_2 (параметры функции парциального распределения $\Phi(x)$) по формулам:

$$x_1 = \frac{1 + \frac{h}{H} - \frac{L}{H} \cdot \frac{\omega_{oc}}{v}}{\sqrt{7 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{L}{H}}}, \quad (4)$$

$$x_2 = \frac{1 - \frac{h}{H} + \frac{L}{H} \cdot \frac{\omega_{oc}}{v}}{\sqrt{7 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{L}{H}}}, \quad (5)$$

По значениям x_1 и x_2 находим интегралы вероятностей $\Phi(x_1)$ и $\Phi(x_2)$ и подсчитываем значение отношения концентрации частиц данного размера в расчетной точке выходного сечения камеры к их концентрации во входном сечении N_i . Концентрация этих частиц во входном сечении принимается равномерно распределенной по сечению. Предполагается, что распределение частиц по размерам подчиняется нормальному закону распределения, значение величины N_i определяется по уравнению:

$$N_i = \Phi(x_1) + \Phi(x_2) - 100 \quad (6)$$

Усредняем значение N по сечению, вычисляя его как среднее арифметическое по высоте сечения:

$$N_{cp} = \sum_{i=1}^k \frac{N_i}{k} \quad (7)$$

Эффективность пылеосадительных камер (ϵ_n , %) рассчитывается по формуле:

$$\epsilon_n = 100 \cdot (1 - N_{cp}) \quad (8)$$

Среднюю концентрацию частиц пыли на выходе из камеры определим как среднюю величину в пяти точках сечения. С этой целью зададимся пятью значениями h/H : 0; 0,25; 0,5; 0,75; 1,0.

Результаты расчетов представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Результаты расчетов при $(\omega_{oc}/v) = 0,1$

h/H	0	0,25	0,5	0,75	1,0
x_1	0	0,95	1,89	2,83	3,78
x_2	7,56	6,63	5,65	4,73	3,78
$\Phi(x_1)$	0,5	0,83	0,97	0,995	1
$\Phi(x_2)$	1	1	1	1	1
N_i	0,5	0,83	0,97	0,995	1

Таблица 2 – Результаты расчетов при $(\omega_{oc}/v) = 0,2$

h/H	0	0,25	0,5	0,75	1,0
x_1	-3,78	-2,84	-1,89	-0,95	0
x_2	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3
$\Phi(x_1)$	0	0,002	0,03	0,171	0,5
$\Phi(x_2)$	1	1	1	1	1
N_i	0	0,002	0,03	0,171	0,5

Среднее значение N_{cp} при $(\omega_{oc}/v) = 0,1$ составляет 0,86, а парциальный коэффициент очистки газа для частиц с размером $d_{\text{ч}} = 60$ мкм $\epsilon_{\text{п}} = 14$ %.

При $(\omega_{oc}/v) = 0,2$ среднее значение N_{cp} составляет 0,14, а парциальный коэффициент очистки газа для частиц с размером $d_{\text{ч}} = 90$ мкм $\epsilon_{\text{п}} = 86$ %.

Таким образом, в результате расчета получены три значения эффективности очистки газа (14, 50 и 86 %) при трех значениях отношения скорости осаждения-витаия частиц пыли к скорости движения газа в камере (0,1; 0,15; 0,2). Исходя из полученных результатов, приходим к выводу о том, что при скорости движения газа сквозь пылеосадительную камеру, равной 0,375 м/с, достигается максимальная эффективность очистки воздуха от частиц зерновой и мучной пыли.

Рассмотренный метод расчета пылеосадительной камеры может применяться для оценки эффективности пылеулавливания при отключенных источниках питания, а также и в некоторых прочих случаях.

Список литературы

- 1 Отраслевая программа «Развитие мукомольно-крупяной промышленности Российской Федерации на 2014 – 2016 годы»: офиц. текст: утв. Приказом Минсельхоза России от 23 мая 2014 года № 166. – Москва: ЭНАС, 2014. – 27 с.
- 2 Мартенс, Л. К. Техническая энциклопедия: в 26 т. / под ред. Л. К. Мартенса. – Москва: Советская энциклопедия, 1928-1934. – 894 с.
- 3 Бакер, К.Н. Загрязнение атмосферного воздуха / К. Н. Бакер; пер. с англ. В. И. Кандора. – Москва: Мир, 1982. – 468 с.

- 4 Калыгин, В. Г. Промышленная экология: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / В. Г. Калыгин. – Москва: Академия, 2004. – 432 с.
- 5 Биргер, М. И. Справочник по пыли - и золоулавливанию / М. И. Биргер. – Москва: Энергоатомиздат, 1983. – 312 с.
- 6 Ветошкин, А. Г. Процессы и аппараты пылеочистки: учеб. пособие / А. Г. Ветошкин. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2005. – 210 с.

