

УДК 66.069.832

В. В. Алексеев, П. В. Алексеев, И. И. Поникаров

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА СУХОЙ МОЛОЧНОЙ СЫВОРОТКИ

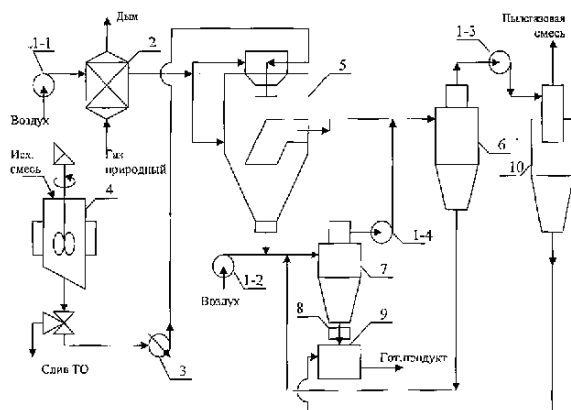
*Ключевые слова: теплогенератор, насос-дозатор, циклон, просеиватель.*

*Одним из направлений деятельности Мамадышского сыродельно-маслодельного комбината филиала ОАО «ВАМИН Татарстан» является производство сухой молочной сыворотки, применяемый для различных целей [1].*

*Keywords: heatgenerator, pump-batcher, cyclone, proseivatel.*

*One of activities of Mamadyshsky syrodelno-maslodelny combine of VAMIN Tatarstan branch of JSC is production of the dry whey, applied to the various purposes [1].*

Технологическая схема действующего производства (рис.1) включает в себя вентилятор 1, газовый теплогенератор 2, насос-дозатор 3, смеситель 4, сушильную камеру 5, батарею циклонов 6, разгрузочный циклон 7, просеиватель 8 и бункер 9.



**Рис. 1 - Усовершенствованная технологическая схема производства сухой молочной сыворотки: 2, 4, 5 - объекты для модернизации, 10 - дополнительное оборудование**

Воздух из помещения при температуре 5...40°C засасывается вентилятором 1-1 типа Ц14-46  $N=15\text{ кВт}$ ,  $G_v=22000\text{ м}^3/\text{час}$  [2] и нагнетается через теплогенератор 2 в сушильную камеру 5 [3]. В теплогенераторе воздух нагревается до температуры 160-190°C, теплоносителем является природный газ.

Исходная смесь с содержанием сухих веществ 43-58% мас. перемешивается в смесителе 4, подогревается до температуры 45-55°C и насосом-дозатором 3 в количестве 660 кг/час подается на распылитель, находящийся в верхней части сушильной камеры 5. С помощью центрального диска распылителя исходная смесь распыляется в объеме камеры на жидкие частицы с диаметрами капель 20-50 мкм [3].

В сушильной камере при взаимодействии с потоком нагретого воздуха происходит процесс обезвоживания капель исходной жидкой смеси с

образованием твердых сухих частиц диаметром 10-40 мкм. Отработанный воздух через трубопровод, находящийся в центральной части сушильной камеры с некоторым количеством продукта и паров, поступает в блок циклонов 6 [3], где происходит их разделение. Очищенный воздух с концентрацией пыли 40 мг/м<sup>3</sup> и температурой 65-70°C отсасывающим вентилятором 1-3 типа ВДН-11,2  $N=45\text{ кВт}$ ,  $G_v=28750\text{ м}^3/\text{час}$  [2] выбрасывается в атмосферу.

Основная часть продукта осаждается на дно сушильной камеры и пневмотранспортом подается в разгрузочный циклон 7, при транспортировке происходит процесс охлаждения продукта до температуры 28-30°C и его досушка. В систему пневмотранспорта непосредственно подается и продукт полученный при очистке воздуха в батарее циклонов 6, для его охлаждения и досушки. Агентом пневмотранспорта является воздух, который подается из охладителя вентилятором 1-2 типа ВЦ 6-28  $N=45\text{ кВт}$ ,  $G_v=5000\text{ м}^3/\text{час}$  [2]. Продукт после отделения его от воздуха в разгрузочном циклоне пневмотранспорта через роторный затвор попадает в просеиватель 8 и далее в бункер 9, где происходит выгрузка готового сухого продукта.

Недостатками рассмотренной схемы производства сухой молочной сыворотки являются:

1) потери тепла отходящих дымовых газов с температурой около 200°C после теплогенератора 2;

2) потери основного продукта - сухой молочной сыворотки с отходящей пылегазовой смесью после батареи циклонов 6;

3) ухудшение экологической ситуации производственной зоны по причине выброса пылегазовой смеси с недостаточно высокой степенью пылеулавливания.

Для уменьшения потерь сухой молочной сыворотки и возвращения его в производство предлагается усовершенствовать технологическую схему (см. рис. 1) путем размещения дополнительного центробежного оборудования 10 с повышенной эффективностью пылеулавливания.

Анализ существующего пылеулавливающего оборудования: вихревых циклонов, центробежных пылеуловителей показал возможность их установки. В данной схеме предлагается конструкция вихревого пылегазоразделителя, которая была разработана на кафедре МАХП КНИТУ [4]. Ниже рассматривается методика расчета вихревого пылегазоразделителя для улавливания сухой молочной сыворотки.

Исходными данными для расчета являются: действительный объемный расход газов  $G_v$ , м<sup>3</sup>/с; плотность  $\rho$ , кг/м<sup>3</sup> и динамическая вязкость газов при рабочих условиях  $\mu$ , Па·с; дисперсный состав пыли и средний медианный размер частиц  $d_m$ , мкм; начальная концентрация пыли  $C_n = C_0$ , г/м<sup>3</sup>; плотность частиц пыли  $\rho_t$ , кг/м<sup>3</sup>; требуемая эффективность пылеулавливания газов  $\eta$  и допустимые затраты энергии на организацию процесса пылеулавливания

Определяется площадь входного патрубка  $F_{ex}$ , м<sup>2</sup> входной зоны пылеулавливания по уравнению:

$$F_{ex} = G_v / V_{ex}$$

где  $V_{ex} = 15 \div 25$  м/с - скорость движения пылегазовой смеси на входе.

Для выбранной формы поперечного сечения входного патрубка тангенциального закручивающего устройства определяются значения конструктивных параметров  $d_0 = \sqrt{\frac{4F_{ex}}{\pi}}$  или  $a$  и  $b$ .

Определяется внутренний диаметр аппарата  $D$ , по выражению:

$$D = \sqrt{\frac{4G_v}{\pi V_D (1 - d^2)}}$$

где  $\bar{d} = d/D = 0,4 \div 0,6$  - относительный наружный диаметр выходной трубы аппарата;  $V_D = 2,0 \div 4,0$  м/с [5] - среднерасходная скорость движения газов в кольцевом канале.

Вычисляется относительный радиус входного момента количества движения:

$$\bar{R}_{ex} = 1 - \bar{a} \text{ или } \bar{R}_{ex} = 1 - \bar{d}_0$$

где  $\bar{d}_0 = d_0 / D$  - относительный диаметр входного патрубка.

Проверяется соблюдение условия безударного входа потока в кольцевой канал аппарата:

$$a \leq (1 - \bar{d}_0) / 2 \text{ или } d_0 \leq (1 - \bar{d}_0) / 2$$

Вычисляется высота входного патрубка  $b$  прямоугольного сечения  $b = F_{ex} / a$ .

Определяется интегральный параметр крутки потока на входе  $\theta_{ex}$ :

$$\theta_{ex} = \frac{\bar{R}_{ex}}{K_T} = \frac{\pi(1 - d^2)(1 - \bar{a})}{4ab}$$

Вычисляется значение конструктивного фактора разделения  $K_{pk}$ :

$$K_{pk} = \frac{4V_{ex}^2}{g(d + D)}.$$

По номограмме [6] определяется скорость гравитационного осаждения  $V_{oc}$ , м/с частиц крупной фракции I размером  $d_l$ , мкм.

Вычисляется скорость центробежного осаждения тех же самых частиц крупной фракции I:

$$V_{ц.ос.} = V_{oc} \cdot K_{p.k.}$$

Рассчитывается значение относительной высоты входной зоны пылеулавливания  $\bar{h}_{ex} = h_{ex}$ :

$$h_{ex} = - \left[ \frac{\bar{D}_3 V_D}{4V_{ц.ос.}} \right] \cdot \ln \frac{C_1}{C_0}$$

где

$$\bar{D}_3 = D_3 / D = 4F_k / \Pi D;$$

$\Pi = \pi D$ ,  $F_k = (\pi / 4) \cdot (D^2 - d^2)$ ;  $D_3$  - эквивалентный диаметр кольца, м;  $\Pi$  - периметр осаждения, м;  $C_1$  - концентрация пыли на выходе из зоны пылеулавливания, г/м<sup>3</sup> (задается проектировщиком).

Расчет основной и дополнительной винтовой зоны пылеулавливания

Определяется средний угол закрутки  $\varphi_{cp1}$  по выражению:

$$\varphi_{cp1} = \arctg \left[ \frac{\theta_{el}(1 + \bar{d})}{1 + \bar{d}^2} \right],$$

где  $\theta_{el} = A_l \cdot \theta_{ex}$  - интегральный параметр крутки потока;  $1,1 \leq A_l \leq 1,4$  - коэффициент. Вычисляется шаг винтового закручивающего устройства (ВЗУ)  $S_1$ :

$$S_1 = \frac{\pi(D + d)}{2 \operatorname{tg} \varphi_{cp1}}.$$

Определяются углы закрутки на диаметрах  $d$  и  $D_{в1}$ :

$$\varphi_{d1} = \arctg \left( \pi \frac{d}{S_1} \right)$$

$$\varphi_{D_{в1}} = \arctg \left( \pi \frac{D_{в1}}{S_1} \right)$$

Вычисляется скорость движения газа в ВЗУ:

$$V_{el} = V_{el} \cdot F_{ex} / F_{el},$$

где  $F_{el} = S_1 \sin \varphi_{cp1} \left( \frac{(D - d)}{2} \right)$  - площадь сечения винтового канала.

Рассчитываются тангенциальная  $V_{\varphi el}$ , м/с и осевая  $V_{xel}$ , м/с составляющие скорости движения газа в канале:

$$V_{\varphi el} = V_{el} \cdot \sin \varphi_{cp1} \text{ и } V_{xel} = V_{el} \cdot \cos \varphi_{cp1}$$

Находится скорость центробежного осаждения частиц средней фракции II размером  $d_{II}$  по скорости гравитационного осаждения  $V_{oc1}$  [6] и фактору разделения  $K_{p.k1}$ :

$$V_{ц.ос.} = V_{oc} \cdot K_{p.k.}$$

$$\text{где } K_{pk} = \frac{4V_{\phi 1}^2}{g(d+D)}.$$

Определяется относительная высота основной винтовой зоны  $\overline{h_{ex}} = h_{el}/D$ :

$$\overline{h_{el}} = - \left[ \frac{D_{\phi 1} V_{\phi 1}}{4V_{y.oc.}} \right] \cdot \ln \frac{C_2}{C_1}$$

где  $\overline{D_{\phi 1}} = D_{\phi} \cdot \cos \varphi_{cp1}$ ;  $V_{\phi 1} = V_D / \cos \varphi_{cp1}$ ;  $C_1$  и  $C_2$  - концентрации на входе в зону и выходе из нее, г/м<sup>3</sup>.

Расчет дополнительной винтовой зоны пылеулавливания производится аналогично расчету основной [6].

Общая эффективность пылеулавливания аппарата  $\eta$  определяется эффективностями пылеулавливания во входной  $\eta_1$ , основной  $\eta_2$  и дополнительной  $\eta_3$  зонах:

$$\eta = 1 - \sum_{i=1}^3 (1 - \eta_i)$$

где  $\eta_i = (C_{i-1} - C_i) / C_{i-1}$  - степень очистки пылегазовой смеси в  $i$ -ой зоне;  $i = 1-3$  — количество последовательно организованных зон пылеулавливания.

Аэродинамическое сопротивление аппарата  $\Delta p$  рассчитывается по уравнению:

$$\Delta p = \xi_{ex} \rho \frac{V_{ex}^2}{2} = \xi_D \rho \frac{V_D^2}{2}$$

где  $\xi_D = \sum_{i=1}^n \xi_i$  - суммарный коэффициент

сопротивления; коэффициенты сопротивления входной  $\xi_{вх}$ , основной  $\xi_{в1}$  и дополнительной  $\xi_{в2}$  зон пылеулавливания;  $\xi_B$  - коэффициент, учитывающий расширение на входе в бункер, поворот на 180° и сжатие потока на входе в выходную трубу;  $\xi_T$  и  $\xi_{вых}$  - коэффициенты сопротивления выходной трубы и выходного устройства.

## Выводы

1. Предложено дополнительное пылеулавливающее оборудование для снижения потерь сухой молочной сыrovотки.

2. Приведена методика технологического расчета вихревого пылегазоразделителя.

3. Возможно снижение потерь тепла дымовых газов в окружающую среду за счет их использования для нагрева смесителя 4 или сушильной камеры 5.

## Литература

1. Василисин, С.В. Промышленная переработка вторичного молочного сырья / С.И. Василисин, А.Г. Храмцов. - М.: Дели принт, 2003. - 100 с.
2. Калинушкин, М.Б. Вентиляторные установки / М.Б. Калинушкин. - М.: Высш. школа, 1979.-223 с.
3. Леончик, Б.Ш. Распылительные сушилки / Б.Ш. Леончик, М.В. Лыков. - М.: Машиностроение, 1966. - 332 с.
4. Валеев, А.М. Разработка опытно-промышленного вихревого пылегазоразделителя / А.М. Валеев, П.В. Алексеев, А.Н. Филимонов, И.И. Поникаров // Всероссийская студенческая научно-техническая конференция «Интенсификация тепло-массообменных процессов, промышленная безопасность и экология». Издательство: КГТУ. - Казань, 2005, с. 77-79.
5. Алексеев, П.В., Модель эффективности пылеулавливания во входной зоне вихревого пылегазоразделителя / П.В. Алексеев, А.Н. Филимонов, И.И. Поникаров // XVIII Международная научная конференция. Математические методы в технике и технологиях. ММТТ - 18, т.4, - Казань, 2005, с. 77 - 79.
6. Алексеев, П.В., Разработка методики расчета вихревого пылегазоразделителя / П.В. Алексеев, А.Н. Филимонов, И.И. Поникаров, В.В. Алексеев // Материалы межвузовской научно - практической конференции «Актуальные проблемы образования, науки и производства». Издательство: Инновационно-издательский дом «Бутлеровское наследие». - Казань, 2006, с.11-13.
7. Алексеев В.В., Лукин В.О., Поникаров И.И. Вест. Казан. технол. ун-та, 16.7, 217 – 221.
8. Москалев. Л.Н., Поникаров С.И., Поникаров И.И., Алексеев В.В., Вест. Казан. технол. ун – та, 15, 3, 123 – 125.
9. Москалев Л.Н., Поникаров С.И., Поникаров И.И., Алексеев В.В. Вест. Казан. технол. ун – та, 15, 10, 240-242.