

*В. С. Ветров¹, А. И. Николаенков², Т. В. Жданович², Б. А. Мелещенко²,
В. Ф. Вербицкий²*

РУП «Институт мясо-молочной промышленности»¹

УО «Белорусский государственный аграрно-технический университет»²

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАСЧЕТА ПРОХОДНОГО СОРБЦИОННОГО ФИЛЬТРА ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УЧАСТКОВ ПРЕДПРИЯТИЙ АПК

Рассмотрены вопросы снижения ресурсоемкости воздухообменных производственных процессов для предприятий АПК Беларуси. приведены расчеты наиболее экономичных по энергетике проходных сорбционных фильтров. Детально рассмотрена последовательность инженерных расчетов применительно к фильтрующим системам, разработанных и внедренных на птицефабрике и свинокомплексах АПК республики.

Снижение ресурсоемкости воздухообменных производственных процессов является одной из наиболее актуальных направлений научных исследований. При этом внедрение в практику установок для очистки и рециркуляции воздуха производственных участков обеспечивает не только экономию энергозатрат при относительно невысоком (0,6–1,2 года) сроке окупаемости, но и создает благоприятные условия производства сельскохозяйственной продукции.

В практике известны и широко используются различные конструкции напорных сорбционных фильтров (вертикальные, горизонтальные, решетчатые), методологическая основа которых достаточно изучена, однако следует отметить, что удельные энергозатраты на воздухообменный процесс остаются достаточно высокими (от 0,14 до 3,2 Вт/м³), так и величина удельной материалоемкости (0,036–0,011 кг/м³ /ч в зависимости от типа фильтра) [1].

Проходной сорбционный фильтр, основы расчета которого предлагаются ниже, лишен указанных недостатков и отличается от других типов фильтрующих устройств более низкими энергозатратами

$(1,18 \cdot 10^{-3} \frac{\hat{A}\dot{\alpha}}{\dot{v}^3 / \div})$ материалоемкостью $(1,8 \cdot 10^{-3} \frac{\hat{e}\tilde{a}}{\dot{v}^3 / \div})$ и т.д. Кроме того, установки конструктивно достаточно несложны и просты в эксплуатации.

Расчет проходного сорбционного фильтра. Принципиальная схема проходного сорбционного фильтра приводится на рисунке 1.

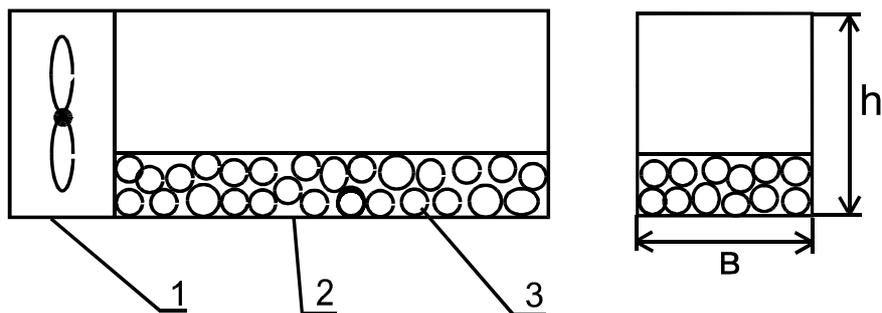


Рис.1 - Принципиальная схема проходного сорбционного фильтра

1 – вентилятор, 2 – корпус, 3 – сорбент

Технологический процесс очистки воздуха заключается в следующем.

Воздушный поток вентилятором (1) подается на кассету с сорбентом (3), установленную в корпусе (2), где он очищается от токсичных соединений и выводится в помещение (при рециркуляции) либо поступает в систему общей вентиляции.

Расчет проходного фильтра производится в следующей последовательности.

Дано: производительность вентилятора (Q) – 2800 м³/ч; размеры лотка фильтра ($b \cdot h$) – (0,4·0,4) м; требуется обеспечить показатель очистки $\eta = 0,39$, остаточная загрязненность $\alpha = (1 - \eta) = (1 - 0,39) = 0,61$.

Определяем:

- секундную производительность:

$$Q_s = \frac{2800}{3600} = 0,77 \text{ м}^3/\text{с};$$

- скорость воздушного потока (в поперечном сечении):

$$v_0 = \frac{Q_s}{S_n} \quad (1)$$

$$v_0 = \frac{0,77}{0,4 \cdot 0,4} = 4,81 \text{ м/с}$$

- приведенный диаметр поперечного потока:

$$d_i = \sqrt{\frac{4 \cdot S_i}{3,14}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,16}{3,14}} = 0,45 \text{ м};$$

- число Рейнольдса (для основного потока):

$$R_0 = \frac{v_0 d_n}{\nu}, \quad (2)$$

$$R_0 = \frac{4,81 \cdot 0,45}{1,5 \cdot 10^{-5}} = 144800$$

($\nu = 1,5 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ – кинематическая вязкость воздуха);

- производительность контактирующего потока [2]:

$$Q_k = \alpha Q_1, \quad (3)$$

$$Q_k = 0,66 \cdot 0,77 = 0,508 \text{ м}^3/\text{с};$$

- поверхность контакта [3]:

$$\eta = (0,56 \cdot S_k + 0,117)^k, \quad (4)$$

$$k = (2,87 \cdot Q_k + 0,344), \quad (5)$$

$$k = (2,67 \cdot 0,508 + 0,344) = 0,117,$$

$$\eta = 0,56 \cdot S_k + 0,17,$$

$$0,53 = 0,56 \cdot S_k + 0,117,$$

$$S_k = \frac{0,53 - 0,117}{0,56} = 0,73 \text{ м}^2;$$

- скорость контактирующего потока:

$$v_{ki} = \frac{Q_k}{S_k} = \frac{0,508}{0,73} = 0,7 \text{ м/с};$$

- приведенный диаметр контактирующего потока:

$$d_{kn} = \sqrt{\frac{4 \cdot S_k}{3,14}} = \sqrt{\frac{4,073}{3,14}} = 0,96 \text{ м};$$

- число Рейнольдса контактирующего потока:

$$R_{lk} = \frac{0,7 \cdot 0,96}{1,5 \cdot 10^{-5}} = 44800;$$

- отношение чисел Рейнольдса:

$$\lambda_{R0} = \frac{R_0}{R_{lkn}}, \quad (6)$$

$$\lambda_{Rl} = \frac{144800}{44800} = 3,22 ;$$

- показатели очистки [2]:

$$\alpha = \frac{1}{\lambda_{Rl}} \cdot \sqrt{\frac{S_k}{S_n}}, \quad (7)$$

$$\alpha = \frac{1}{3,22} \cdot \sqrt{\frac{0,73}{0,16}} = 0,66 ,$$

$$\eta = (1 - \alpha) = (1 - 0,66) = 0,34 ;$$

- определяем длину сорбционного слоя:

$$l_{cc} = \frac{S_k}{b}, \quad (8)$$

$$l_{cc} = \frac{0,73}{0,4} = 1,8 \text{ м.}$$

Примечание. Чтобы снизить длину устройства, следует поставить еще одну кассету на высоте $\frac{h}{2}$, считая, что поток воздуха будет разделен пополам, и провести аналогичный расчет (в результате которого получим длину сорбционного слоя $l_{cc}=1,04$ м). Установка количества кассет более 2 не имеет технологических преимуществ [2], так как поток воздуха невозможно разделить на равные части.

Мощность, затрачиваемая на очистку воздушного потока от токсичных соединений:

$$N_{l_0} = \frac{\rho(Q_k)^3}{2(S_k)^2}, \quad (9)$$

$$N_{l_0} = \frac{1,24 \cdot (0,508)^3}{2 \cdot (0,73)^2} = 0,152 \text{ Вт},$$

а с учетом мощности электродвигателя:

$$N_{l_{\text{дв}}} = \frac{N_l K_3}{\eta_a \eta_r} = \frac{0,152 \cdot 1,1}{0,59 \cdot 0,95} = 0,298 \text{ Вт}.$$

Удельный расход энергоресурсов на очистку воздушного потока от токсичных соединений составит

$$N_0 = \frac{N_{l_{\text{дв}}}}{Q_k} = \frac{0,298}{1828} = 1,63 \cdot 10^{-4} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^3/\text{ч}}$$

В то же время мощность, расходуемая на работу установки будет равна

$$N_{l_{\eta}} = \frac{1,24 \cdot (0,77)^3}{2 \cdot (0,16)^2} = 11 \text{ Вт}$$

$$N_{l_{\text{дв}}} = \frac{1,1 \cdot 1,1}{0,59 \cdot 0,95} = 21,7 \text{ Вт}.$$

Удельный расход мощности на работу установки

$$N_0' = \frac{21,7}{1825} = 1,18 \cdot 10^{-2} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^3/\text{ч}},$$

тогда коэффициент полярного действия установки (по затратам мощности) составит

$$l_0 = \frac{N_0}{N_0'} = \frac{1,63 \cdot 10^{-4}}{1,18 \cdot 10^{-2}} = 1,38 \cdot 10^{-2}.$$

С учетом постановки второй сетки $l_0 = 9,86 \cdot 10^{-3}$;

при увеличении показателя очистки $\eta = 0,6 \cdot l_0 = 3,33 \cdot 10^{-3}$.

Определяем массу сорбента:

$$\dot{I} \tilde{n} = S_k h_c \rho_c, \quad (10)$$

$$= 0,73 \cdot 0,1 \cdot 350 = 25,6 \text{ кг},$$

где ρ_c – плотность сорбента, $\rho_c = 350 \text{ кг/м}^3$.

Аммиакоемкость сорбционного слоя находим по выражению

$$I_{\text{а}} = 0,15 \cdot 25,6 \cdot 0,8 \cdot 10^6 = 3,07 \cdot 10^6 \text{ кг} \quad (11)$$

где 0,15 – минимальный процент насыщенности сорбента аммиаком; 0,8 – влажность сухого остатка в сорбенте.

Определим длительность работы фильтра (без замены сорбента) при следующих условиях.

Начальная загрязненность помещения $\tilde{N}_i = 45,5 \text{ мг/м}^3$; объем помещения $V_n = 450 \text{ м}^3$. Тогда

$$T = \frac{M_a}{\Delta C \cdot V_n \cdot 24}, \quad (12)$$

$$T = \frac{3,07 \cdot 10^6}{15,5 \cdot 450 \cdot 24} = 18 \text{ сут.}$$

При установке двух сеток $T = 23$ сут, при показателе очистки $\eta = 0,6$ $T = 13$ сут (при расчетных параметрах фильтра).

Предложенные аналитические зависимости и пример их численной реализации могут служить основой для расчета проходных сорбционных фильтров.

Последние были использованы при расчете, разработке и внедрении фильтрующих устройств на птицефабрике «Держинская», свиноподкомплексах «Борисовское», «Турец» и др.

Литература

1. Томсон, А. И. Сравнительные характеристики устройств для очистки воздуха технологических участков предприятий агропромышленного комплекса. / М. А. Григорьева [и др.]// Агропанорама.–№ 4,– 2003.–С. 16–18.
2. Жданович, Т. В. Изучение и расчет напорных сорбционных устройств для очистки воздуха технологических участков предприятий

агропромышленного комплекса. / Т. В. Жданович [и др.]. // Инженерный вестник.–№ 1(25).–2008.–С. 44–49.

3. Николаенков, А. И. Исследование закономерностей формирования и утилизации тепла низкопотенциальных потоков в предприятиях агропромышленного комплекса АПК. Отчет по НИР / Белорусский государственный университет культуры; рук. темы А. И. Николаенков.– Минск.–2001.–С. 123.