

УДК 621.928.93:004.67:004.421

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ПЫЛЕОСАДИТЕЛЬНЫХ КАМЕР

И.М. Кулакова, А.Ю. Кулаков, В.С. Асламова

Ангарская государственная техническая академия, г. Ангарск

E-mail: veras@pisem.net

Представлен модуль автоматизированной системы технологического расчета пылеуловителей по определению технологических параметров и эффективности очистки. Рассмотрены алгоритмы расчета габаритных параметров и величины фракционного проскока, приведен пример работы модуля, позволяющего снизить трудоемкость обработки данных, выбрать оптимальные режимы функционирования пылеуловителей, сократить сроки исследования.

Ключевые слова:

Автоматизированная система, пылеосадительная камера, технологический расчет пылеуловителей, эффективность пылеулавливания.

Key words:

The automated system, dust-precipitation chamber, technological calculation of dedusters, de-dusting efficiency.

На сегодняшний день актуальна проблема защиты атмосферы от загрязнений, связанных с выбросами в атмосферу пылевидных отходов производства. Также существует необходимость очистки газов для подачи в рабочие области установок промышленного применения. При очистке газов с содержанием крупных частиц размером более 100 мкм на предварительной стадии устанавливают пылеосадительные камеры для разгрузки аппаратов последующих ступеней (циклоны, скрубберы, фильтры и др.). До изготовления опытных образцов пылеосадительной камеры следует учесть технологические параметры процесса производства и на основе этого рассчитать ее размеры, эффективность очистки и гидравлическое сопротивление, определяющие качество очистки и энергозатраты на его достижение.

При обзоре существующих программных разработок в области пылеочистки и природоохранной деятельности предприятий «ЛОГУС», «Интеграл», «Лазурит» [1] было выявлено, что нет программного обеспечения для прогнозирования эффективности очистки проектируемых пылеуловителей. Программное обеспечение, имеющиеся на рынке, обеспечивает лишь инвентаризацию источников выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, расчет валовых выбросов, подготовку проектов разрешений на выбросы и ведение учета полученных разрешений и не позволяет произвести подобные расчеты. На основании вышеизложенного возникает необходимость разработки автоматизированной системы исследований процесса сепарации в пылеуловителях для оптимального выбора пылеуловителя и расчета режима его эксплуатации по заданным техническим условиям.

Авторами разработан программный модуль автоматизированной системы исследований процесса сепарации в пылеуловителях [2, 3], позволяющий производить расчет размеров прямоугольных пылеосадительных камер и их эффективности очистки на основании методик [4–6].

Пылеосадительные камеры относятся к аппаратам сухой очистки, в которых запыленный газовый поток перемещается с малой скоростью, делающей возможным гравитационное осаждение (седиментацию) транспортируемой взвеси.

Размеры камеры (H , L , B) определяются размером δ^* наименьших частиц, которые должны быть осаждены полностью.

Габаритные размеры камеры необходимые для гравитационного осаждения частиц крупнее заданного размера частиц δ^* , определялись по соотношению [4]:

$$L = \frac{HW_c}{V_s^*},$$

где L – длина камеры; H – высота камеры; W_c – продольная скорость движения газов в камере (обычно выбирается в пределах 0,2...0,8 м/с); V_s^* – скорость седиментации частиц, равная:

$$V_s^* = \tau^* g,$$

где g – ускорение силы тяжести; τ^* – время динамической релаксации частицы размером δ^* :

$$\tau^* = \frac{(\rho_m - \rho)\delta^2 \xi_c}{18\mu\xi},$$

где ρ_m и ρ – плотности частиц и газа; μ – динамическая вязкость; ξ – коэффициент сопротивления частиц; ξ_c – стоксовский коэффициент сопротивления:

$$\xi_c = \frac{24}{Re_{\delta^*}},$$

где Re_{δ^*} – число Рейнольдса обтекания частицы размером δ^* при ее седиментационном осаждении:

$$Re_{\delta^*} = \frac{V_s^* \delta^* \rho}{\mu}.$$

Необходимая суммарная поверхность осаждения F_0 рассчитываемой камеры:

$$F_0 = \frac{W_c}{V_s^*}$$

Ширина B и высота H камеры бесполочного типа определялись по уравнениям:

$$B = \frac{F_0}{L}, \quad H = V_s^* \tau^*$$

Для камеры полочного типа, предварительно выбрав ширину B , подсчитывали необходимое число полок n и расстояние между полками h :

$$n = \frac{F_0}{BL}, \quad h = V_s^* \tau^*$$

Тогда общая высота пылесадительной камеры H составляет:

$$H = n(h + h_n),$$

где h_n – толщина одной полки.

На рис. 1 приведен пример расчета габаритных параметров прямоугольной пылесадительной камеры по алгоритму, блок-схема которого представлена на рис. 2.

Учитывая, что при движении запыленных газов в камере турбулентность потока нарушает нормальное гравитационное осаждение, в особенности, частиц малых размеров, действительная степень очистки газов оказывается ниже, чем теоретически рассчитанная. В связи с этим был реализован приближенный расчет эффективности осаждения, учитывающий диффузию частиц в турбулентном потоке и основанный на использовании вероятностных функций.

Для пылесадительных камер с $L/H > 3$ значение парциальных коэффициентов очистки находится на основании расчетов средней концентрации частиц соответствующего размера в выходном сечении пылесадительной камеры по формуле:

$$\bar{\eta}_\delta = 1 - \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N K_{\delta_i},$$

где N – число точек, для которых рассчитывается фракционный проскок частиц K_δ по высоте камеры.

Концентрация этих частиц во входном сечении принимается равномерно распределенной по сечению. Предполагалось, что распределение частиц по размерам подчиняется нормальному закону. Значение величины фракционного проскока определяется по уравнению:

$$K_{\delta_i} = \frac{1}{2} (\Phi(x_1) + \Phi(x_2)).$$

Значения функций $\Phi(x_2)$ и $\Phi(x_1)$ определялись по нормальной функции распределения, а величины x_1 и x_2 , в свою очередь, находились из выражений:

$$x_1 = \frac{H + x - V_s L / W_c}{\sqrt{2D_t L / W_r}},$$

$$x_2 = \frac{H - x + V_s L / W_c}{\sqrt{2D_t L / W_r}},$$

где x – координата по высоте камеры; D_t – коэффициент турбулентной диффузии частиц.

При выполнении условия $V_s / W_r < Lg / W_r^2$ коэффициент турбулентной диффузии частиц совпадает с коэффициентом турбулентной диффузии газового потока и рассчитывается по формуле Шервуда–Вертца:

$$D_t = 0,02 W_r H \sqrt{\lambda},$$

где λ – коэффициент гидравлического трения потока о стенки канала:

$$\lambda = 0,3164 / \text{Re}^{0,25}, \quad 2300 < \text{Re} < 5 \cdot 10^4,$$

$$\lambda = 0,182 / \text{Re}^{0,2}, \quad \text{Re} > 5 \cdot 10^4.$$

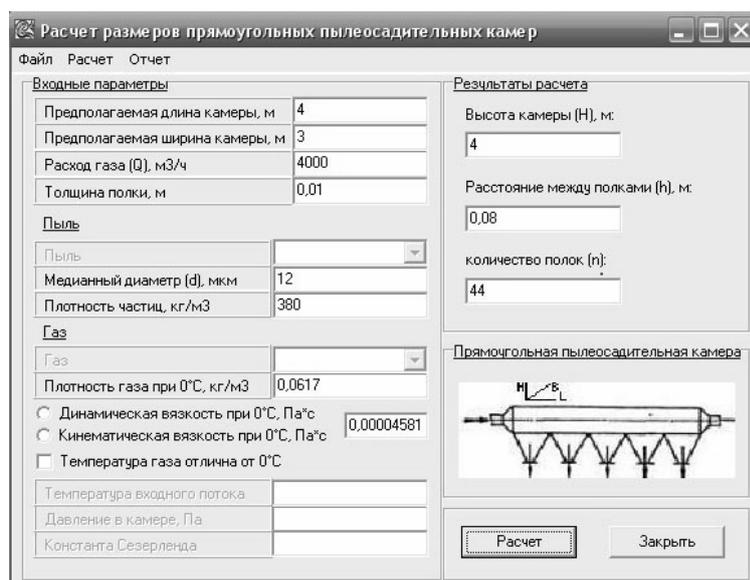


Рис. 1. Пример расчета габаритных параметров пылесадительных камер

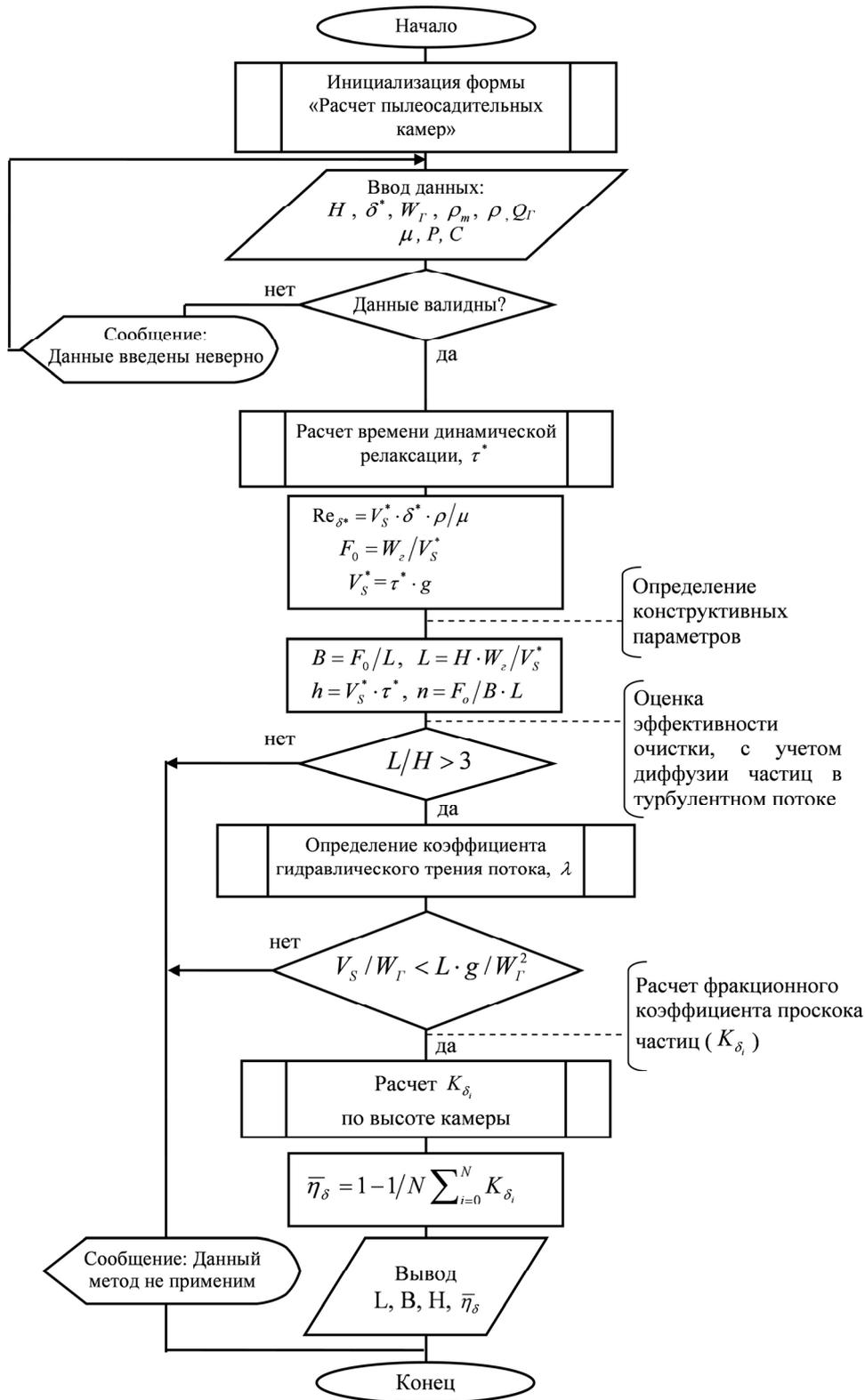


Рис. 2. Блок-схема алгоритма расчета технологических параметров пылеосадительных камер

Коэффициент гидравлического трения может быть приближенно принят равным 0,03 [6].

Точность расчетов по данному методу в значительной степени определяется размером осаждаемых частиц. Так, при медианном диаметре частиц в диапазоне от 16 до 30 мкм ошибка расчетов составляет порядка 1 %, а для диапазона 1,6...70 мкм – около 10 % [7].

Входными параметрами расчета являются: высота камеры, скорость потока, расход газа, физико-химические свойства пылей и газов. В качестве выходных представлены недостающие габаритные параметры и эффективность очистки, рассчитанная по [6].

В модуле организован доступ к таблицам базы данных автоматизированной системы [2], в которых хранятся технологические и конструктивные характеристики пылеуловителей, физико-химические свойства газов, жидкостей и пылей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Актуальные вопросы защиты окружающей среды и безопасность регионов России: Материалы II Всероссийской конференции. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2005. – 105 с.
2. Асламова В.С., Жабей А.А. Автоматизированная система технологического расчета циклонов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2009. – № 1. – С. 59–63.
3. Асламова В.С., Жабей А.А. Автоматизированная система исследования циклонов и скрубберов // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – Т. 316. – № 4. – С. 71–76.
4. Чернобыльский И.И., Бондарь А.Г., Гаевский Б.А. и др. Машины и аппараты химических производств. – М: Машиностроение, 1974. – 456 с.
5. Справочник по пыле- и золоулавливанию / под ред. А.А. Русанова. – 2-е изд. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 312 с.
6. Шилаев М.И., Шилаев А.М., Грищенко Е.П. Методы расчета пылеуловителей. – Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2006. – 385 с.
7. Никольский Б.П. и др. Новый справочник химика и технолога: Процессы и аппараты химических технологий. Ч. II / под общ. ред. чл.-корр. Б.П. Никольского. – СПб.: НПО «Профессионал», 2006. – 916 с.

Программный комплекс используется в учебном процессе Ангарской государственной технической академии на кафедрах «Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов», «Машины и аппараты химических производств» и «Автоматизация технологических процессов» в виртуальном лабораторном практикуме по дисциплинам «Промышленная экология», «Технологические процессы и производства».

Выводы

Предложен модуль автоматизированной системы технологического расчета пылеуловителей по определению технологических параметров и эффективности очистки, позволяющий определять оптимальные значения технологических параметров пылеосадительных камер. Тестирование показало, что результаты работы программного обеспечения сопоставимы с экспериментальными и расчетными данными.

Поступила 06.05.2010 г.