

# ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЗОДИНАМИКИ СЕПАРАЦИОННОГО ПРОФИЛЯ МАСЛООТДЕЛИТЕЛЯ

С. С. Рыжков, канд. техн. наук;  
И. В. Литвинов, техник 3-й категории

*Научно-исследовательский институт проблем экологии и энергосбережения  
Национального университета кораблестроения, г. Николаев*

**Аннотация.** Проведено исследование газодинамики сепарационного профиля маслоотделителя на основе двухмерного моделирования элементов рабочего канала. Выполнен расчет гидродинамических характеристик потока в рабочем элементе.

**Ключевые слова:** 2D моделирование, газодинамика, двухфазная среда, маслоотделитель.

**Анотація.** Виконано дослідження газодинаміки сепарационного профілю масловіддільника на основі двомірного моделювання елементів робочого каналу. Виконано розрахунок гідродинамічних характеристик потоку у робочому елементі.

**Ключові слова:** 2D моделювання, газодинаміка, двофазне середовище, оливовідбірник

**Abstract.** Research of gas flow of oil separator element on the basis of 2D modeling has been made. Calculation of hydrodynamic parameters of flow in working area has been made.

**Keywords:** 2D simulation, flow dynamics, two-phase medium, oil separator.

## ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Попадание аэрозольных сред из энергетических установок в окружающую среду вызывает загрязнение атмосферы и потерю дорогостоящих материалов.

Улавливание и возвращение в технологический процесс аэрозольных сред позволяет решать как экологические, так и ресурсосберегающие проблемы. Для этого целесообразно разрабатывать и создавать высокоэффективное газоочистное оборудование, использующее различные механизмы очистки.

Разработка моделей и методов исследований, позволяющих производить расчеты гидродинамической обстановки и визуализацию потока в элементах газоочистных устройств, создает основу для повышения их эффективности сепарации двухфазных сред.

## АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ДОСТИЖЕНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Газодинамика элементов очистителей с градиентами скоростей в продольном и поперечном направлениях ( $u_r = 1 \dots 15$  м/с) описываются дифференциальными уравнениями турбулентного течения газа, которые решаются конечно-разностными методами. Для практических приложений наиболее эффективными считают методы, основанные на усреднении системы уравнений в частных производных, описывающих универсальные законы сохранения массы, энергии, импульса в турбулентной системе. Современные пакеты прикладных программ позволяют численным методом решать сложные практические задачи газодинамики, используя несколько базовых моделей турбулентности.

Для решения задач газодинамики в элементах сепарационного оборудования перспективно применение RSM модели (Reynolds Stress Model), верификация которой для решения подобных задач осуществлена в работах [1, 2]. По результатам исследования установлено, что расхождение экспериментальных и расчетных данных для различных каналов истечения при использовании модели k-epsilon, k-omega достигает 10...17%. При моделировании стационарного течения моделью RSM расхождение составляет — 3...7% [1], [3-7].

**ЦЕЛЬ РАБОТЫ** — исследование газодинамики сепарационного профиля маслоотделителя на основе RSM модели турбулентности с различными начальными и граничными условиями.

$$\frac{\partial}{\partial \chi_k} (\rho u_k \overline{u'_i u'_j}) = \frac{\partial}{\partial \chi_k} \left[ \frac{\mu_T}{\sigma_T} \frac{\partial \overline{u'_i u'_j}}{\partial \chi_k} \right] + \frac{\partial}{\partial \chi_k} \left[ \mu_L \frac{\partial}{\partial \chi_k} (\overline{u'_i u'_j}) \right] - \rho \left[ \overline{u'_i u'_k} \frac{\partial u_j}{\partial \chi_k} + \overline{u'_i u'_k} \frac{\partial u_i}{\partial \chi_k} \right] - 2\mu_L \frac{\partial \overline{u'_i}}{\partial \chi_k} \frac{\partial \overline{u'_i}}{\partial \chi_k} \quad (2)$$

где  $u'$  — пульсационная составляющая скорости;  $\mu_T$  — коэффициент турбулентной вязкости;  $\mu_L$  — коэффициент ламинарной вязкости;  $\sigma_T = 0,82$  — аналог числа Прантля.

Система дополнена уравнениями состояния и связи параметров, а также начальными и граничными условиями и позволяет выполнять расчет основных параметров однофазной турбулентной среды. В процессе расчета задавались следующие начальные и граничные условия: плотность газов  $\rho_f = 1,225 \text{ кг/м}^3$ ; вязкость  $\mu_f = 1,79 \cdot 10^{-5} \text{ кг/(м}\cdot\text{с)}$ , материал стенки канала — алюминий с шероховатостью 0,1 мм и плотностью  $\rho_{ал} = 2690 \text{ кг/м}^3$ . Исследовался диапазон начальных скоростей  $u_f = 1...15 \text{ м/с}$ .

Для точности расчетов в программном пакете использовался критерий сходимости  $10^{-4}$  для переменных скоростей, условия неразрывности потока, кинетической энергии турбулентности и напряжения Рейнольдса. Расчетная сетка канала строилась с помощью треугольных сегментов площадью  $S = 30 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2$ .

**Расчетная методика.** Расчетная геометрия с учетом габаритов сепарационного

## МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования осуществлялись с помощью современного пакета прикладных программ. Расчет динамики вязкого газа выполнялся с помощью основного уравнения Навье—Стокса и уравнения неразрывности

$$\frac{\partial}{\partial \chi_k} \left( \mu_{eff} \frac{\partial u_i}{\partial \chi_n} \right) = \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial \chi_k} + \frac{\partial u_i u_k}{\partial \chi_n}; \frac{\partial u_n}{\partial \chi_n} = 0, \quad (1)$$

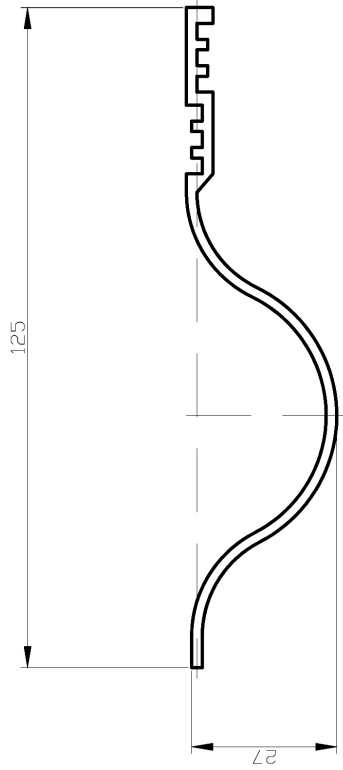
где  $u$  — скорость потока;  $\mu_{eff}$  — коэффициент вязкости;  $p$  — давление;  $x$  — координата;  $t$  — время;  $\rho$  — плотность;  $i, j, k$  — индексы координаты векторных величин.

Расчет пульсационных характеристик газового потока осуществлялся с помощью транспортного уравнения напряжений Рейнольдса

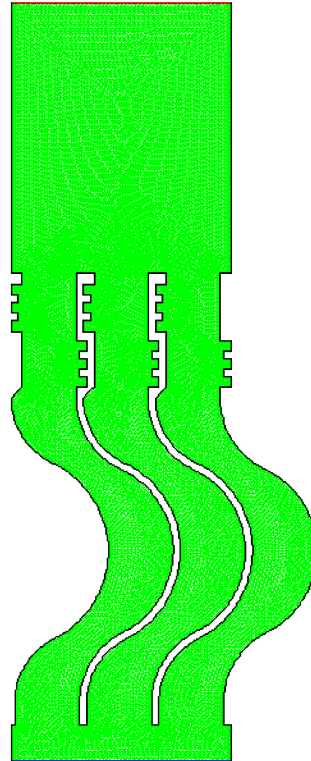
оборудования представлена на рис. 1. В процессе построения учитывались количество профилей исходной геометрии сепарационного элемента маслоотделителя, а также его габаритные размеры.

В процессе выполнения работы построена расчетная геометрия, состоящая треугольных сегментов площадью  $S = 30 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2$ , учитывались шероховатость стенок 0,1 мм, характеристики материала, коэффициент пульсаций и максимальный радиус турбулентного вихря сепарационного элемента. Изучался 2D элемент в нестационарных условиях с постоянной осредненной скоростью истечения газовой струи из входного сопла  $U_0 = 3 \text{ м/с}$ .

Результаты исследований. В результате исследований получено распределение векторов скорости в 2D элементе сепарационного оборудования при  $U_0 = 3 \text{ м/с}$ . Визуализация газодинамической обстановки позволяет определить эффективность конструкции и возможность дальнейшей адаптации, модифицирования и повышения коэффициентов улавливания газоочистителей. Как видно из рис. 2, происходит неравно-



a)



б)

Рис. 1. Расчетная геометрия рабочей области сепарационного элемента:  
а — геометрия элемента, б — расчетная сетка канала истечения

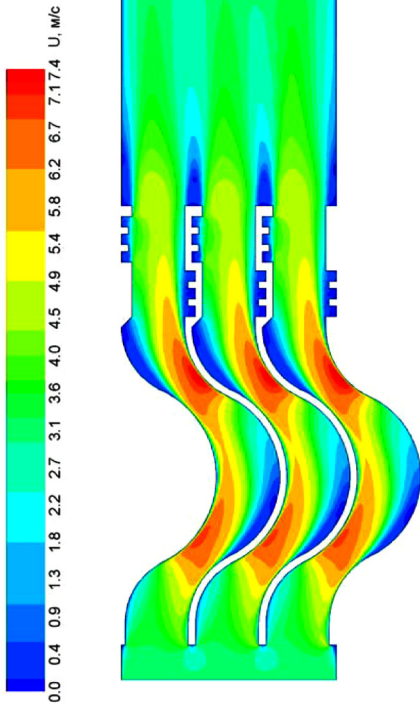


Рис. 2. Распределение скоростей в рабочем канале при  $U_0 = 3$  м/с

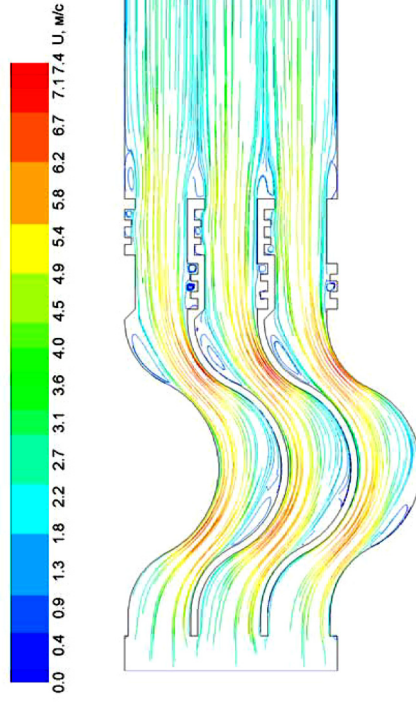
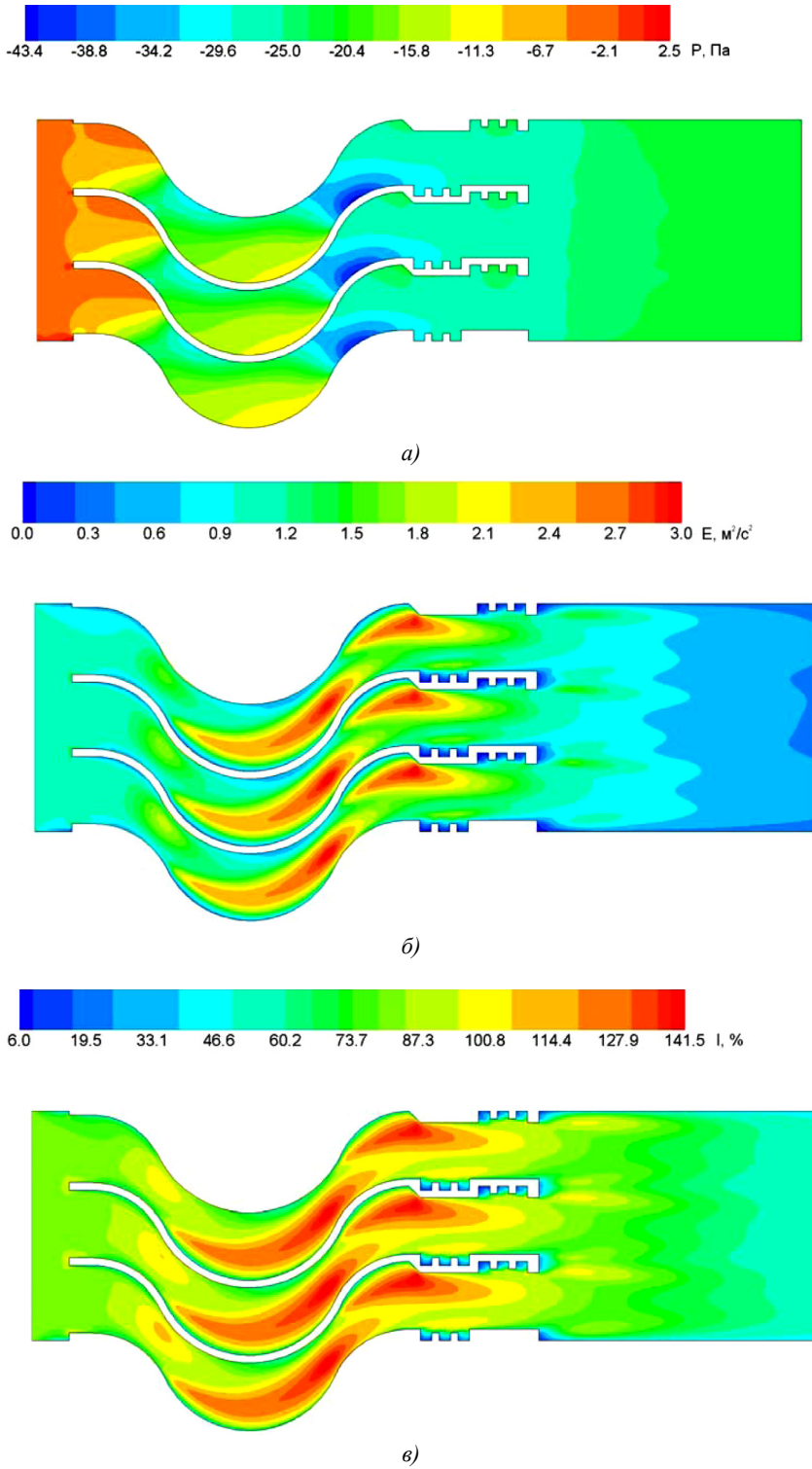


Рис. 3. Распределение линий тока газа в 2D геометрии рабочего канала при  $U_0 = 3$  м/с



**Рис. 4.** Распределение статического давления (а), кинетической энергии турбулентности (б), интенсивности турбулентности (е) в канале при  $U_0 = 3$  м/с.

мерное распределение газового потока в рабочем участке, что интенсифицирует процесс осаждения полидисперсных аэрозолей. По мере прохождения газов через пакет профилей наблюдается повышение скорости газового потока, что свидетельствует об образовании зон повышенной турбулентности, благодаря чему происходит интенсификация осаждения высокодисперсных частиц (осредненное значение скорости газа в вихревых зонах достигает  $U_T = 7,2$  м/с).

Выполнен расчет линий тока газа в 2D геометрии рабочего канала. Как видно из рис. 3, наблюдаются значительные вихреобразования при повороте течения газа, что подтверждено расчетами распределения векторов скорости. По расчету линий тока можно судить о траектории движения дисперсных частиц и основных зонах осаждения.

Выполнен гидродинамический расчет характеристик рабочего элемента (рис. 4): статического давления, кинетической энергии турбулентности, интенсивности турбулентности. Как видно из рис. 4,а наблюдается незначительный перепад давления, на рис. 4,а что подтверждает низкое аэродина-

мическое сопротивление элемента маслоотделителя, при этом из рис. 4,б в четко видны зоны вихреобразования, которые значительно влияют на процесс сепарации, разделение двухфазной среды с дальнейшим отводом рабочей жидкой фазы.

## ВЫВОДЫ

1. Для решения задач газодинамики в элементах сепарационного оборудования-маслоотделителя перспективно применение RSM модели, при котором расхождение теоретических и экспериментальных данных не превышает 3...7 %. 2. Двухмерное моделирование элементов сепарационного оборудования позволяет модифицировать базовые конструкции, повысить эффективность улавливания жидкой фазы в двухфазной среде. 3. По результатам расчета 2D геометрии рабочего канала определены зоны вихреобразования во всей области рабочей геометрии, что подтверждено расчетами распределения векторов скорости, линии тока газа по которым определяют траектории движения дисперсных частиц в основных зонах осаждения.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Белоусов В.В. Теоретические основы процессов газоочистки. — М.: Металлургия, 1988. — 256 с.
- [2] Рыжков С.С., Басок Б.И. Экологические ресурсосберегающие технологии для промышленной теплотехники на основе дисперсных двухфазных сред // Промышленная теплотехника. — 2001. — 23. № 4–5. — С. 141–145.
- [3] Ван-Дайка М. Течение жидкости и газа. — М.: Мир, 1986. — С. 114.
- [4] Райст П. Аэрозоли. Введение в теорию // Мир, 1987. — С. 34–40.
- [5] Медников Е.П. Турбулентный перенос и осаждение аэрозолей. — М.: Наука, 1981. — 176 с.
- [6] Защита атмосферы от промышленных загрязнений: Справочник Ч. 1 / Под ред. С. Калверта и Г.М. Инглунда. — М.: Металлургия, 1988. — 760 с.
- [7] Рыжков С.С., Харитонов Ю.М., Благодатный В.В. Методы очищення повітряного середовища від забруднень. — Миколаїв: УДМТУ. — 2002. — 56 с.