



ПРИМЕНЕНИЕ УРАВНЕНИЯ НАВЬЕ-СТОКСА К ИЗУЧЕНИЮ ДИНАМИКИ ЗАПЫЛЕННОГО ВОЗДУХА

Уразалиев Розикжон Туранович

Адилова Азиза Шухратовна

Ташкентский институт текстильной и лёгкой промышленности

Ул. Шохжахон, 5, 100000, г. Ташкент, Республика Узбекистан

e-mail: rozikjonu@gmail.com

<https://doi.org/10.5281/zenodo.13846063>

Аннотация: В этой статье рассматривается решение уравнений переноса для каждого из компонентов напряжения Рейнольдса уравнения Навье-Стокса, картина вихревого потока в моделировании циклонов, а также точный анализ осевой скорости, тангенциальной скорости, диаметра сдвига и перепада давления.

Ключевые слова: пылевой воздух, циклон, динамический анализ, частицы пыли, моделирование - новое моделирование, атмосфера, скорость вихревой пыли в воздухе, модель турбулентности.

Annotation: In this article examines the solution of the Reynolds equations for each of the Reynolds stress components of the Navier-Stokes equation, an accurate analysis of swirling flow structure, centripetal velocity, tangential velocity, shear diameter, and pressure drop in cyclone simulations.

Keywords: dusty air, cyclone, dynamic analysis, dust particles, modeling - new modeling, atmosphere, vortex dust velocity in air, turbulence model.

Annotatiya: Ushbu maqolada Navier-Stokes tenglamasining Reynolds komponentlari bo'yicha yechimi ko'rib chiqiladi, aylanma oqim strukturasi, markaziy oqim tezligi, tangensial tezlik, kesish diametri va siklon simulyatsiyalarida bosimning pasayishi nazariy tahlil qilinadi.

Kalit so'zlar: changli havo, siklon, dinamik tahlil, chang zarralari, modellash tirish, atmosfera, havodagi vorteks chang tezligi, turbulentlik modeli.

Решение уравнений переноса для каждой из составляющих напряжения Рейнольдса является необходимым условием модели турбулентности напряжения Рейнольдса. Это позволяет точно предсказать закрученный поток, осевую скорость, тангенциальную скорость, диаметр отсечки и перепад давления при моделировании циклона [1]. Он будет использоваться в этом исследовании, чтобы определить, как изменение размера входного отверстия циклона влияет на турбулентный поток в циклонном сепараторе.

Для потока несжимаемой жидкости уравнения неразрывности и баланса количества движения имеют вид [2]:

$$\frac{d\bar{u}_i}{dx_i} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{d\bar{u}_i}{dt} + \bar{u} \frac{d\bar{u}_i}{dx_j} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{P}}{\partial x_i} + \gamma \frac{d^2 \bar{u}_i}{dx_j dx_j} - \frac{\partial}{\partial x_i} R_{ij} \quad (2)$$

где $\bar{u}_i$ — средняя скорость, x_i — положение, $\bar{P}$ среднее давление, ρ плотность газа, γ — кинематическая вязкость газа, $R_{ij} = \overline{u'_j u'_i}$ — тензор напряжений Рейнольдса. Здесь, $u'_i = u_i - \bar{u}_i$ — пульсирующая составляющая скорости.

Модель турбулентности Рейнольдса предоставляет дифференциальные уравнения переноса для оценки компонентов напряжения турбулентности.

$$\frac{\partial}{\partial t} R_{ij} + \bar{u}_k \frac{\partial}{\partial x_k} R_{ij} = \frac{\partial}{\partial x_k} \left(\frac{\gamma_t}{\sigma^k} \frac{\partial}{\partial x_k} R_{ij} \right) - \left[R_{ik} \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_k} + R_{ik} \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_k} \right] - C_1 \frac{\varepsilon}{K} \left[R_{ij} - \frac{2}{3} \delta_{ij} K \right] - C_2 \left[P_{ij} - \frac{2}{3} \delta_{ij} P \right] - \frac{2}{3} \delta_{ij} \varepsilon \quad (3)$$

где условия производства турбулентности P_{ij} определяются как [3,4]:

$$P_{ij} = - \left[R_{ik} \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_k} \right] + R_{ik} \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_k}, \quad P = \frac{1}{2} P_{ij} \quad (4)$$

где P -флуктуирующее производство кинетической энергии. μ – турбулентная (турбулентная) вязкость; $6k = 1$, $C^1 = 1,8$, $C^2 = 0,6$ — эмпирические константы Уравнение переноса для скорости диссипации турбулентности, ε , определяется как:

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\nu + \frac{\gamma_t}{\sigma^\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] - C^{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{K} R_{ij} \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} - C^{\varepsilon 2} \frac{\varepsilon^2}{K} \quad (5)$$

В уравнении (5), $K = \frac{1}{2} u'_i u'_i$ – флуктуирующая кинетическая энергия, а ε – скорость диссипации турбулентности. Значения констант $\sigma^\varepsilon = 1,3$, $C^{\varepsilon 1} = 1,44$ а также $C^{\varepsilon 2} = 1,92$. В общем случае необходимо решать уравнение Навье-Стокса для динамики движения малых частиц.

Уравнения Навье-Стокса требуют большего количества вычислительных ресурсов. По этой причине уравнения Навье-Стокса можно упростить до уравнений Рейнольдса, которые являются усредненными по времени. Поскольку уравнение Навье-Стокса является сложным, элементы его решения увеличиваются. Уравнение значительно упрощается с помощью уравнения Рейнольдса. Это значительно облегчает изучение динамики пыли, выбрасываемой в атмосферу. Если свойство пыли (Φ -турбулентный поток пыли) можно определить, то среднее значение [2,4]:

$$\Phi = \frac{1}{\Delta t} \int_0^{\Delta t} \varphi(t) dt \quad (6)$$

Применяя эти уравнения к уравнениям Навье-Стокса, можно получить уравнения Рейнольдса:

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho U)}{\partial t} + \text{div}(\rho U \bar{U}) - \frac{\partial P}{\partial x} + \text{div}(\mu \cdot \text{grad} U) + \left[-\frac{\partial(\rho \bar{U}'^2)}{\partial x} - \frac{\partial(\rho \bar{u}'v')}{\partial y} - \frac{\partial(\rho \bar{u}'w')}{\partial z} \right] + S_{Mx} \\ \frac{\partial(\rho V)}{\partial t} + \text{div}(\rho V \bar{U}) - \frac{\partial P}{\partial y} + \text{div}(\mu \cdot \text{grad} V) + \left[-\frac{\partial(\rho \bar{u}'v')}{\partial x} - \frac{\partial(\rho \bar{v}'^2)}{\partial y} - \frac{\partial(\rho \bar{v}'w')}{\partial z} \right] + S_{My} \\ \frac{\partial(\rho W)}{\partial t} + \text{div}(\rho W \bar{U}) - \frac{\partial P}{\partial z} + \text{div}(\mu \cdot \text{grad} W) + \left[-\frac{\partial(\rho \bar{u}'w')}{\partial x} - \frac{\partial(\rho \bar{v}'w')}{\partial y} - \frac{\partial(\rho \bar{w}'^2)}{\partial z} \right] \\ + S_{Mz} \end{aligned} \quad (7)$$

Уравнения, усредненные по времени, преобразуются в шесть неизвестных, которые являются значениями Рейнольдса. Завершение и решение уравнений требуют моделирования. Многие модели турбулентности были разработаны для решения этих уравнений. Хотя турбулентное течение и движение легче описать, используя их свойства, описать турбулентность сложно. Турбулентность трудно описать точными словами, но легче описать турбулентное течение и движение по его характеристикам.

В большинстве случаев для простоты турбулентные потоки считаются средними потоками, которые не точно отражают истинное турбулентное течение. Аналитическое решение недоступно для уравнений Навье-Стокса (Karimipana 1996) [5-7]. Таким образом, численная модель может быть использована для решения уравнений Навье-Стокса вместо аналитического решения. Эти модели турбулентности

используют предположения, чтобы добавить некоторые уравнения и определить все переменные, которые нужны.

Число Рейнольдса, которое представляет собой отношение сил инерции к силам вязкости, служит индикатором турбулентности. Турбулентность зависит от значений Рейнольдса, а не от конкретного потока. Редко, чтобы числа Рейнольдса недооценивали ламинарные потоки. Турбулентные течения всегда обладают определенными свойствами, такими как хаотичность движения, неравномерность и неравномерность.

Список литературы:

1. Муро́дов О.Ж, Ади́лова А.Ш , “Kanal dagi changning xarakat dinamikasi uchun Nav'e-Stoks tenglamasini yechish bo'yicha kompyuter dasturi” O'zbekiston respublikasi adliya vazirligi huzuridagi intellektual mulk agentligi № DGU 12975. 13.11.2021;
2. Муро́дов О.Ж, Ади́лова А.Ш “Применение формулы Эйлера-Лагранжа для расчета потока частиц в циклоне” , “Проблемы развития современного общества”, 7-й Всероссийской национальной НПК, Курск: Юго-Зап. гос. ун-т, 20-21 января 2022 г/ с.57-61
3. Hinze, J., 1975. Turbulence. McGraw-Hill, USA.
4. Karimipannah, T., 1996. Turbulent jets in confined spaces. Ph.D. thesis, Royal Institute of Technology, Sweden.
5. Lim K.S, Kwon S.B., Characteristics of the collection efficiency for a double inlet cyclone with clean air, Journal of Aerosol Science 34 (8) (2003) 1085–1095.
6. Ади́лова А.Ш., “Совершенствование конструкции циклонов на основе динамического анализа перемещения вредных примесей в потоке воздуха” /Диссертация. Тошкент 2023.
7. Murodov O.J., Adilova A.Sh., Evaluation of the performance of a cyclone dust collector used to reduce environmental pollution in cotton processing plants// ETESD-2022 IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 1112 (2022). 012150. <https://www.researchgate.net/journal/IOP-Conference-Series-Earth-and-Environmental-Science-1755-1315>