

*СЕКЦИЯ 17. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ ТРАНСПОРТИРОВКИ  
И ХРАНЕНИЯ НЕФТИ И ГАЗА. ПОДСЕКЦИЯ 1. МЕТОДЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО  
МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ТРАНСПОРТА И ХРАНЕНИЯ  
УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ*

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТУРБУЛЕНТНОЙ СЕПАРАЦИИ НЕФТИ**

**А.Э. Волков, А.А. Марина**

Научный руководитель – профессор С.Н. Харламов

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

Гидроциклоны представляют собой аппараты, которые используются для выделения взвешенных частиц из жидкого раствора (суспензии). Гидроциклоны широко применяются в нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности для механического разделения полидисперсных гетерогенных систем.

В гидроциклоне проходит достаточно сложный гидродинамический процесс, так как режим течения потока жидкости в корпусе аппарата является турбулентным [3]. Вследствие турбулентного характера режима течения возникает явление турбулентной диффузии, которая представляет собой локальный перенос частиц дисперсной среды и макромасс жидкости. Явление турбулентной диффузии оказывает значительное влияние на процесс разделения дисперсной среды в гидроциклоне. Следовательно, расчет эффективности турбулентной сепарации при разделении дисперсной среды является важной задачей [2].

При расчете турбулентных пульсаций поля скорости используется модель Прандтля, рекомендованная к прогнозу процессов переноса импульса в гидродинамическом пограничном слое. В данной модели учитывается, что структура пограничного слоя включает две зоны: вязкий подслоя (тонкая пристеночная область чисто вязкого движения); турбулентное ядро потока (область с турбулентным движением потока жидкости).

Задачи исследования включают изучение эффектов, сопровождающих турбулентную сепарацию суспензии. Здесь дисперсную среду представляет нефть, а дисперсной фазой выступают механические примеси (песок) с минимальным размером улавливаемых частиц.

В основе расчета эффективности турбулентной сепарации частиц  $\eta$  лежит энергетическая модель, в соответствии с которой  $\eta$  определяется по выражению [3]:

$$\eta = 1 - EXP(-N), \quad (1)$$

$$N = \frac{\beta_D F}{Q}, \quad (2)$$

где  $\beta_D$  – коэффициент переноса дисперсной фазы суспензии, м/с;  $Q$  – производительность гидроциклона, м<sup>3</sup>/с;  $N$  – число единиц переноса;  $F$  – полная поверхность стенок корпуса гидроциклона, м<sup>2</sup>.

Коэффициент переноса дисперсной фазы для частиц, обладающих инерционностью по отношению к увлечению турбулентными пульсациями, рассчитывается в соответствии с формулой [1]:

$$\beta_D = \frac{0,0112V_t u_*}{R_1 0,0112\bar{V}_t + u_* \ln(R_\infty / R_1)}, \quad (3)$$

Где  $\bar{V}_t$  – тангенциальная скорость, м/с;  $R_\infty = \frac{u_* R}{\nu}$  – безразмерная координата стенки (так как в расчете по всему радиусу гидроциклона  $R$  учитывается турбулентный перенос частиц);  $R_1 \approx 11,6$  – безразмерная толщина вязкого подслоя (в соответствии с моделью Прандтля);  $u_*$  – динамическая скорость трения, м/с.

Минимальный диаметр улавливаемых частиц определяется в виде:

$$d_c = \sqrt{\frac{K \mu_{ж}}{L \left( \frac{\rho_c - \rho_{ж}}{\rho_{ж}} \right) \frac{\Delta p}{Q}}}, \quad (4)$$

где  $\mu_{ж}$  – вязкость дисперсной среды (жидкости), Па·с;  $\rho_{ж}$  – плотность дисперсной среды (жидкости), кг/м<sup>3</sup>;  $K$  – критерий эффективности гидроциклона;  $Q$  – производительность гидроциклона, м<sup>3</sup>/с;  $L$  – рабочая длина, м;  $\rho_c$  – плотность частиц, кг/м<sup>3</sup>;  $\Delta p$  – гидравлическое сопротивление гидроциклона, Н/м<sup>2</sup>.

Оценка размера частиц проведена в соответствии с зависимостью:

$$0,134\sqrt{R\mu_{жс} / \rho_{ч}u_*} < d_{ч} < 13,4\sqrt{R\mu_{жс} / \rho_{ч}u_*}; \quad (5)$$

*Результаты и их анализ.* Полученное значение эффективности составило 41,95%; минимальный диаметр улавливаемых частиц – 5,9 мкм. В результате оценки размеров частиц было установлено, что частицы с размером  $d_{ч} < 62$  мкм полностью захватываются турбулентными пульсациями дисперсной среды.

По данным [1] частицы с диаметром 5,26 мкм удаляются с механическими примесями с эффективностью 42%. Следовательно, результаты показывают практически полное соответствие экспериментальным данным, что говорит об адекватности математической модели.

По исходным данным о параметрах гидроциклона [1] проведено компьютерное моделирование в САПР SolidWorks Flow Simulation. Приведено наглядное представление поведения потока дисперсной среды в корпусе гидроциклона.

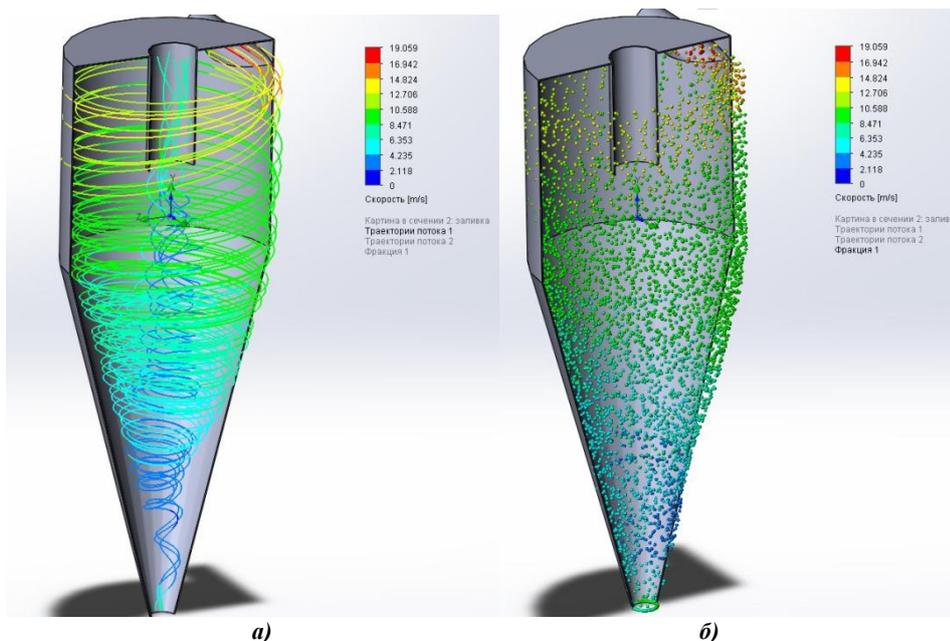


Рис. 1 - Движение частиц механических примесей (песка) (а) и потока нефти (б) в гидроциклоне

Исследование показывает формирование сложной структуры вихревого потока, прогноз которой должен осуществляться с учетом локальных эффектов в изменении пульсационных полей скорости, состава смеси. На это способны реагировать более тонкие модели, включающие транспортные уравнения изменений локальных свойств сдвигового течения. И это может составить предмет дальнейших исследований.

#### Литература

1. Мустафаев А.М., Гутман Б.М. Гидроциклоны в нефтедобывающей промышленности. М., Недра, 1981, 260 с.
2. Cullivan, J.C., Williams, R.A., Cross, C.R., 2003. Understanding the hydrocyclone separator through computational fluid dynamics. Transactions of the IChemE, Part A, Chemical Engineering, Research and Design 81, 455–466.
3. <http://www.psl.bc.ca/downloads/presentations/cyclone/cyclone.html> (дата обращения 09.12.2017)

### РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПОИСКА ОПТИМАЛЬНОЙ ТРАССЫ ТРУБОПРОВОДА

К.С. Воронин, П.В. Григорьева

Научный руководитель – доцент Д.А. Черенцов

ФГБОУ ВО Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

Проектирование трубопровода — это важная задача при строительстве трубопровода. Этот вопрос рассматривают на этапе трассировки, которая состоит из комплекса инженерных и геодезических мероприятий по изысканию трассы. Трассировка включает в себя два основных элемента:

1. Вертикальный разрез трассы по линии проекции – продольный профиль. Этот план состоит из отрезков прямых линий с различным уклоном, которые при необходимости могут быть соединены круговыми кривыми.

2. Точная проекция трассы на горизонтальной плоскости, т.е. план трассы.

Трасса трубопровода в идеале должна быть прямолинейной, без отклонений и перегибов, которые на практике приводят к значительному увеличению стоимости строительства и ее эксплуатации. Однако чаще всего прямой и продольный план не соответствуют друг другу, и впоследствии эти несоответствия решаются при