

*Никитин В.А.*

*Студент магистратуры*

*1 курс, Отделение нефти и газа*

*Национальный исследовательский Томский политехнический*

*университет*

*Россия, г. Томск*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ СТАТИЧЕСКИХ ВИХРЕЙ В ПРОТОЧНЫХ КАНАЛАХ ПОГРУЖНЫХ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ ГАЗОСЕПАРАТОРОВ**

***Аннотация:** Вихрь, формирующийся в проточных каналах погружных газосепараторов, захватывает и накапливает механические примеси, что приводит к гидроабразивному износу корпуса, вплоть до разделения сепаратора на две части. В данной работе с помощью численного моделирования течения жидкости исследован механизм возникновения вихря. Установлено, что природа появления вихря обусловлена тейлоровской неустойчивостью. Доказано, что для избежания вихря в проточном канале газосепаратора необходимо ограничивать область рабочих подач, а также уменьшать длину шнека.*

***Ключевые слова:** вихрь Тейлора, погружной газосепаратор, численное моделирование течения, шнек с постоянным шагом, геликоидальный шнек.*

***Abstract:** The vortex formed in the flow channels of the submersible gas separators captures and accumulates mechanical impurities, which leads to hydroabrasive wear of the body, up to the separation of the separator into two parts. In this paper, using a numerical simulation of fluid flow, we investigated the mechanism of the onset of a vortex. It has been established that the nature of the appearance of the vortex is due to the Taylor instability. It has been proven that in order to avoid a vortex in the gas separator flow channel, it is necessary to limit the*

*area of working feeds and also reduce the length of the screw.*

**Keywords:** *Taylor's vortex, submersible gas separator, numerical simulation of flow, constant pitch auger, helical auger.*

Последние 10-15 лет многие нефтяные компании стали интенсивно использовать технологии интенсификации добычи нефти путем проведения гидроразрывов и кислотных обработок пластов, увеличения депрессии на пласт. Часто эти мероприятия приводят к увеличению концентрации механических примесей в добываемой жидкости. В газосепараторах механические примеси прижимаются центробежными силами к внутренней поверхности корпуса и вызывают его гидроабразивный износ, вплоть до разделения газосепаратора на две части. Нижняя часть падает на забой скважины. Ликвидация последствий такой аварии – дорогостоящая операция [1].

Механизм гидроабразивного разрушения корпуса был изучен [2,3], показано, что разрушение всегда происходит в области вихря, формирующегося в проточном канале газосепаратора. Вихрь захватывает и накапливает механические примеси так, что их локальная концентрация может увеличиться на два порядка. Цель данной работы состояла в установлении механизма образования этого вихря и нахождении путей его подавления.

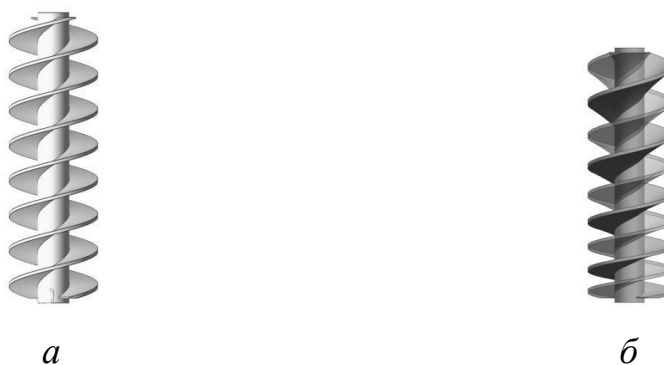
Проточные каналы газосепаратора образуются двумя цилиндрическими коаксиальными поверхностями (неподвижным корпусом и вращающимся валом, точнее, втулкой шнека, закрепленной на валу), а также лопастями шнека, образующими спиралевидные каналы. Вихри в проточных каналах образуются в результате взаимодействия жидкости со стенками каналов. Средствами вычислительной гидродинамики последовательно изучим влияние коаксиальных стенок и поверхностей лопастей шнека на формирование вихрей в проточных каналах. Основные геометрические размеры проточной части шнека взяли такими же, как в газосепараторе ГН5А-350: внутренний диаметр  $D_1 = 30$  мм, внешний  $D_2 = 85$  мм. Длина шнека была 270 мм, на выходе шнека

располагалась вихревая камера, длиной 200 мм, состоящая из корпуса и вращающегося вала тех же диаметров  $D_1$  и  $D_2$ . Частота вращения  $f$  была постоянной и равной 2910 об/мин.

Вихри, на изучение формирования которых направлена данная работа, в стендовых условиях наблюдали как при прокачивании через газосепаратор газожидкостной смеси, так и однофазной жидкости (воды) [4,5]. Следовательно, эффекты многофазности течения не являются определяющими при формировании вихрей и поэтому в данной работе в качестве рабочей жидкости была выбрана вода.

Варьировали скорость прокачки жидкости в осевом направлении (подача  $Q$  изменялась от 25 до 300 м<sup>3</sup>/сут), а также число ( $z = 0, 1, 2, 3$ ) и форму лопастей (постоянного шага и геликоидальные переменного шага, см. рис. 1).

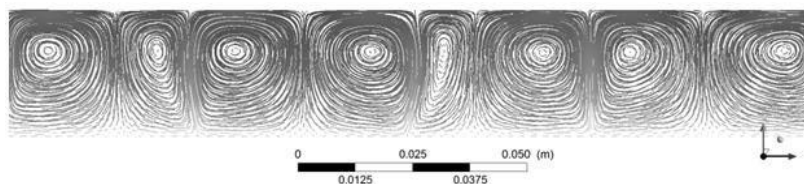
В этих условиях число Рейнольдса изменяется в интервале от  $5 \cdot 10^5$  до  $6,6 \cdot 10^5$ , поэтому считали течение турбулентным. В расчетах использовали осредненную по Рейнольдсу систему уравнений Навье – Стокса, для замыкания которой, как это принято в гидромашиностроении [6–8], применяли  $k$ - $\varepsilon$  модель турбулентности. Поскольку типичные скорости были порядка 1 м/с, сжимаемостью пренебрегали.



**Рисунок 1.** Шнеки: постоянного шага (а) и геликоидальный переменного шага (б)

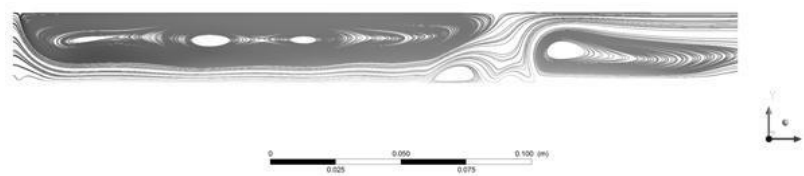
В начале были проведены расчеты течения между коаксиальными цилиндрами в случае отсутствия прокачки жидкости ( $Q = 0$ ): внутренний вращался, внешний был неподвижен, число лопастей шнека равнялось нулю

( $z = 0$ ). Было получено вихревое течение, см. рис. 2, состоящее из тороидальных вихрей, вращающихся в противоположных направлениях (вихрей Тейлора [9, 10]).

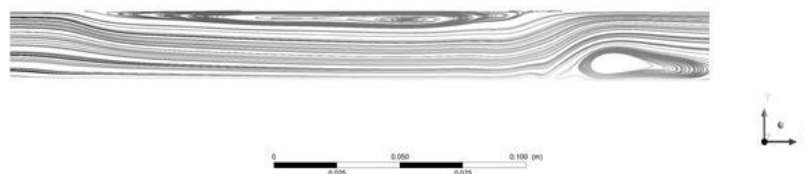


**Рисунок 2.** Линии тока при  $Q = 0$ ,  $\omega = 2910$  об/мин

В случае  $z = 0$  и в условиях прокачки жидкости ( $Q > 0$ ), тейлоровские вихри дробятся потоком на группы, обтекаемые осевым потоком (см. рис. 3). Интенсивность вихрей уменьшается при увеличении прокачки (см. рис. 4). При подачах  $Q \geq 100$  м<sup>3</sup>/сут течение уже не содержит вихрей.



**Рисунок 3.** Линии тока при  $z = 0$  и  $Q = 25$  м<sup>3</sup>/сут

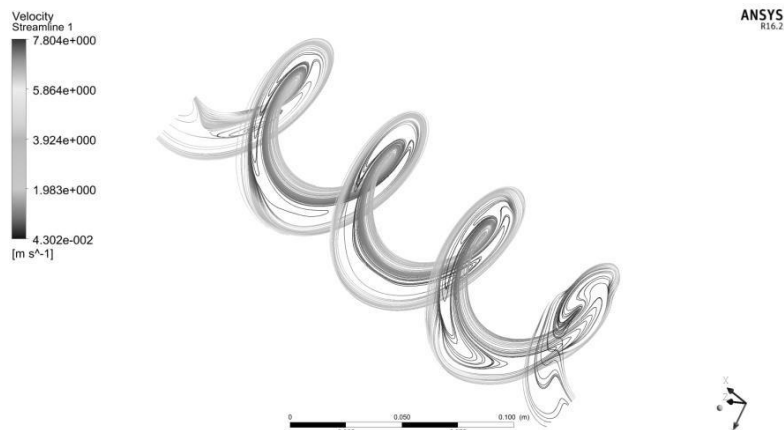


**Рисунок 4.** Линии тока при  $z = 0$  и  $Q = 75$  м<sup>3</sup>/сут

В шнеках ( $z \geq 1$ ,  $Q > 0$ ) вихри формируются в каждом проточном канале независимо друг от друга. Можно выделить два основных механизма формирования вихрей. На входе вихри образуются из-за ударного натекания жидкости на лопасти. Ниже по потоку имеются обособленные вихри, по структуре аналогичные тейлоровским для течений с прокачкой, см. рис. 5 и рис. 6.

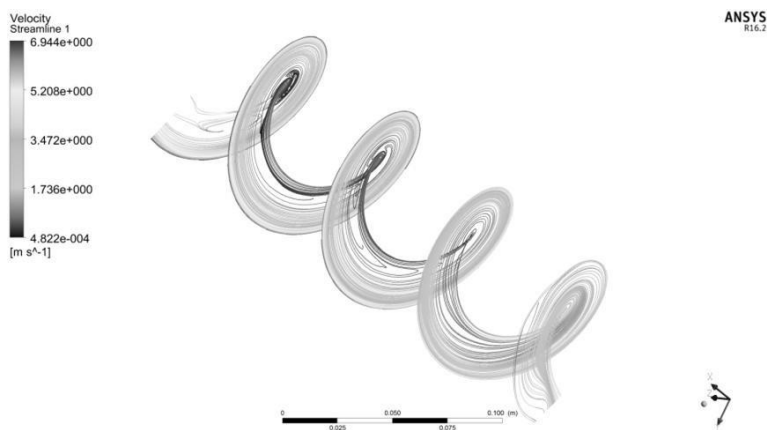
Механизм формирования тейлоровских вихрей – неустойчивость вращательного движения частиц жидкости относительно радиальных возмущений: в условиях, когда вал вращается, а корпус неподвижен, случайное смещение в радиальном направлении не приводит к появлению возвращающей силы – у частицы жидкости появляется компонента скорости

перпендикулярная основному течению.



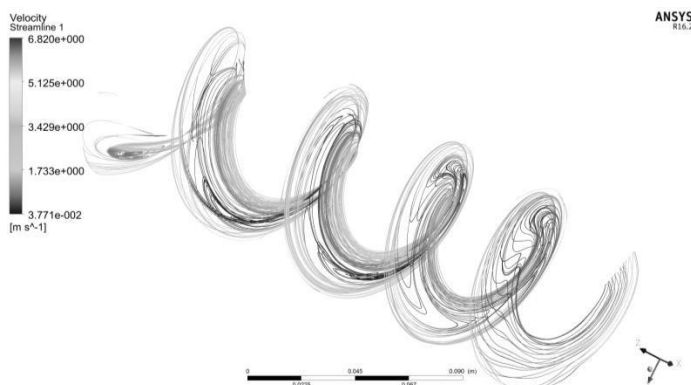
**Рисунок 5.** Линии тока в шнека постоянного шага при  $z = 2$  и  $Q = 25 \text{ м}^3/\text{сут}$

При увеличении  $Q$ , см. рис. 6, течение на входе в шнек стало практически безударным, но в средней части шнека вихри сохранились.

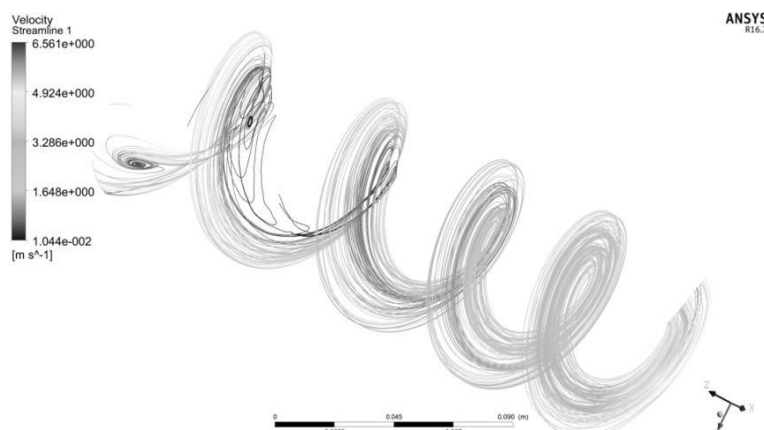


**Рисунок 6.** Линии тока в шнека постоянного шага при  $z = 2$  и  $Q = 200 \text{ м}^3/\text{сут}$

В геликоидальном шнеке, см. рис. 7 и 8, структура линий тока аналогична: на входе видны вихри, возникшие из-за ударного натекания на лопасть, в средней части течения – тейлоровского типа.



**Рисунок 7.** Линии тока в геликоидальном шнеке при  $z = 2$  и  $Q = 25 \text{ м}^3/\text{сут}$



**Рисунок 8.** Линии тока в геликоидальном шнеке при  $z = 2$  и  $Q = 75 \text{ м}^3/\text{сут}$

*Выводы:*

1. Сформулирована гипотеза о том, что вихри, возникающие в проточной области погружных газосепараторов, образуются по тейлоровскому механизму.
2. Изучено изменение структуры тейлоровских вихрей при осевой прокачке жидкости в коаксиальном канале, образованном вращающимся валом и неподвижным корпусом.
3. Показано, что вихри, возникающие в средней части проточных каналов шнеков, имеют структуру, аналогичную тейлоровским вихрям в коаксиальных каналах с осевой прокачкой.
4. Избежать формирования вихрей в проточных каналах шнеков погружных газосепараторов можно путем увеличения рабочих подач и уменьшением длины шнека.

#### **Использованные источники**

1. Дроздов А.Н., Деньгаев А.В., Вербицкий В.С. Установки погружных насосов с газосепараторами для эксплуатации скважин с высоким газовым фактором // Территория нефтегаз. – 2005. – № 6. – С. 12–20.
2. Островский В.Г., Перельман М.О., Пещеренко С.Н. Механизм гидроабразивного разрушения погружных газосепараторов // Нефтяное хозяйство. – 2013. – № 5. – С. 100–102.

3. Перельман М.О., Пещеренко М.П., Пещеренко С.Н. Особенности многофазных течений в газосепараторах, определяющие их гидроабразивную стойкость // Бурение и нефть. – 2013. – № 5. – С. 42–44.
4. Мусинский А.Н., Пещеренко С.Н. Новые абразивостойкие газосепараторы и газостабилизаторы // Актуальные проблемы повышения эффективности и безопасности эксплуатации горношахтного и нефтепромыслового оборудования. – 2016. – № 1. – С. 98 – 102.
5. Исследование характеристик абразивостойких газосепараторов в промышленных и стендовых условиях / А.Н. Мусинский, М.О. Перельман, С.Н. Пещеренко, А.В. Деньгаев, В.С. Вербицкий // Экспозиция Нефть Газ. – 2017. – № 3 (56). – С. 56–59.
6. Пугачев П.В. Развитие методов расчета элементов проточной части шнеко-центробежных насосов на основе двухмерных и трехмерных моделей течения: автореф. дис. канд. техн. наук. – СПб., 2012. – 19 с.
7. Слободкина В.А, Малинин В.В., Шигапова Д.Ю. Исследование течения флюида в ступени насоса методами математического моделирования // Авиационно-космическая техника и технология. – 2008. – № 8 (55). – С. 59–66.
8. Свобода Д.Г., Жарковский А.А. Экспериментальные и расчетные исследования осевого насоса с быстроходностью  $n_s = 570$  // Известия Самарского научного центра РАН. – 2013. – Т. 15, № 4(2). – С. 579–582.
9. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика: учеб. пособие для вузов: в 10 т. – Т. VI. Гидродинамика. – 5-е изд. стереот. – М.: Физмат- лит, 2001. – 736 с.
10. Дразин Ф. Введение в теорию гидродинамической устойчивости. – М.: Физматлит. 2005. – 288 с.