

Клементьев В. А., Скворцов К. А., Васильев В. В., Филиппенко А. В.

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КЛАПАНОВ СИСТЕМЫ ЖИДКОСТНОГО ДЫХАНИЯ

В одной из первых работ К. Э. Циолковского «Как предохранить хрупкие и нежные вещи от толчков и ударов» (1891 г.) был предложен способ предохранения экипажа ракеты от губительного воздействия перегрузок путем размещения людей в отсеках, заполняемых жидкостью.

В фильм «Космический рейс» (1935 г.), где Константин Эдуардович был научным консультантом, вошел, как волнующий эпизод, этот этап предстартовой подготовки полета на Луну.

Система жидкостного дыхания необходима для экстренного спасения экипажей подводных лодок, терпящих аварию на большой глубине [1]. Жидкостное дыхание может быть использовано в противоперегрузочных системах нового типа на пилотируемых летательных аппаратах [2].

В составе аппарата жидкостного дыхания предполагается использовать разветвленный Y – образный трубопровод, предназначенный для подвода и отвода перфтордекалина ($C_{10}F_{18}$) из легких.

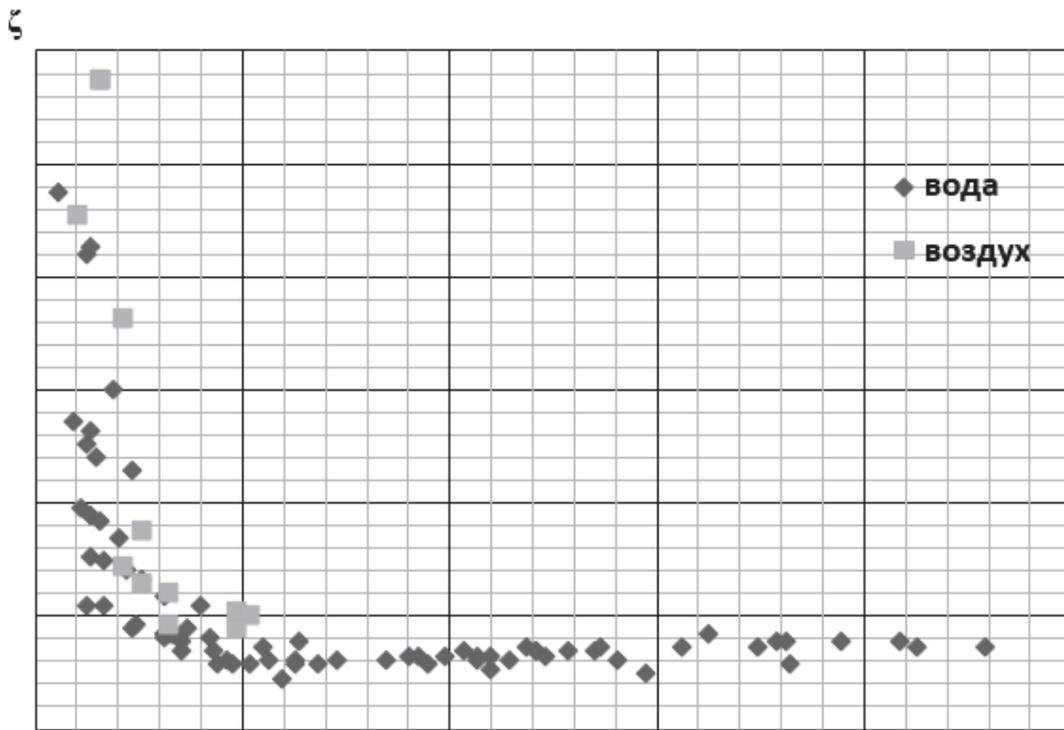
При вдохе «свежий» перфтордекалин (с необходимым содержанием кислорода) через впускной клапан поступает к легким, при этом выпускной клапан закрыт. При выдохе «отработанная» жидкость удаляется через выпускной клапан в выпускную магистраль, и двуокись углерода, насыщенная кислородом, применяется для последующего использования.

Разработчиком систем жидкостного дыхания к.м.н. Филиппенко А. В. предполагалось использовать в качестве впускного и выпускного клапана искусственные клапаны сердца (ИКС). Были исследованы различные типы клапанов, применяемых в медицине, которые представлены на рисунке 1.



Рисунок 1 – Клапаны, применяемые в медицине

Определение сопротивления ИКС в режиме работы на воздухе проводилось на пневматических установках. Сопротивление клапанов при течении через них жидкости (воды) определялось на специально созданном гидравлическом универсальном стенде [3]. Экспериментальные исследования были проведены в широком диапазоне чисел Re – от 1000 до 46 000, который охватывает как область малых расходов воздуха и жидкости (комфортный режим дыхания воздухом соответствует $Re = 3206 \dots 3848$), так и область больших расходов при заливке (сливе) жидкости через систему. Проведенные на стенде тестовые эксперименты с диафрагмами показали хорошее совпадение с аналогичными экспериментами Н. В. Левкоевой [4]. После тестовых экспериментов, доказавших правильность работы стенда, были проведены многократные опыты с двухстворчатым клапаном. Особое внимание было уделено устранению негерметичности всех стыков и соединений, так как это приводило к снижению точности измерения перепада давления до и после клапана. Кроме того, используя результаты опытов с дроссельной шайбой, была определена длина участка интенсивного вихреобразования за клапаном. Это было необходимо для правильного выбора места дренажного отверстия за клапаном. По этим причинам после проведенного анализа первые результаты экспериментов по определению гидравлического сопротивления двухстворчатого клапана были забракованы (рисунки 3 и 4 в [3]). В данной работе на рисунке 2 приведены значения коэффициентов гидравлического сопротивления ζ двухстворчатого клапана от числа Рейнольдса, полученные как на пневматической установке, так и на гидравлическом стенде. Разброс экспериментальных точек при малых числах Рейнольдса может быть связан с несимметричным открытием створок ИКС, что было зафиксировано фото- и видеосъемкой (рисунок 2 в [3]). Для детального изучения данного явления были проведены исследования поля скоростей за двухстворчатым клапаном методом цифровой трассерной визуализацией (PIV-метод) [5].



Re

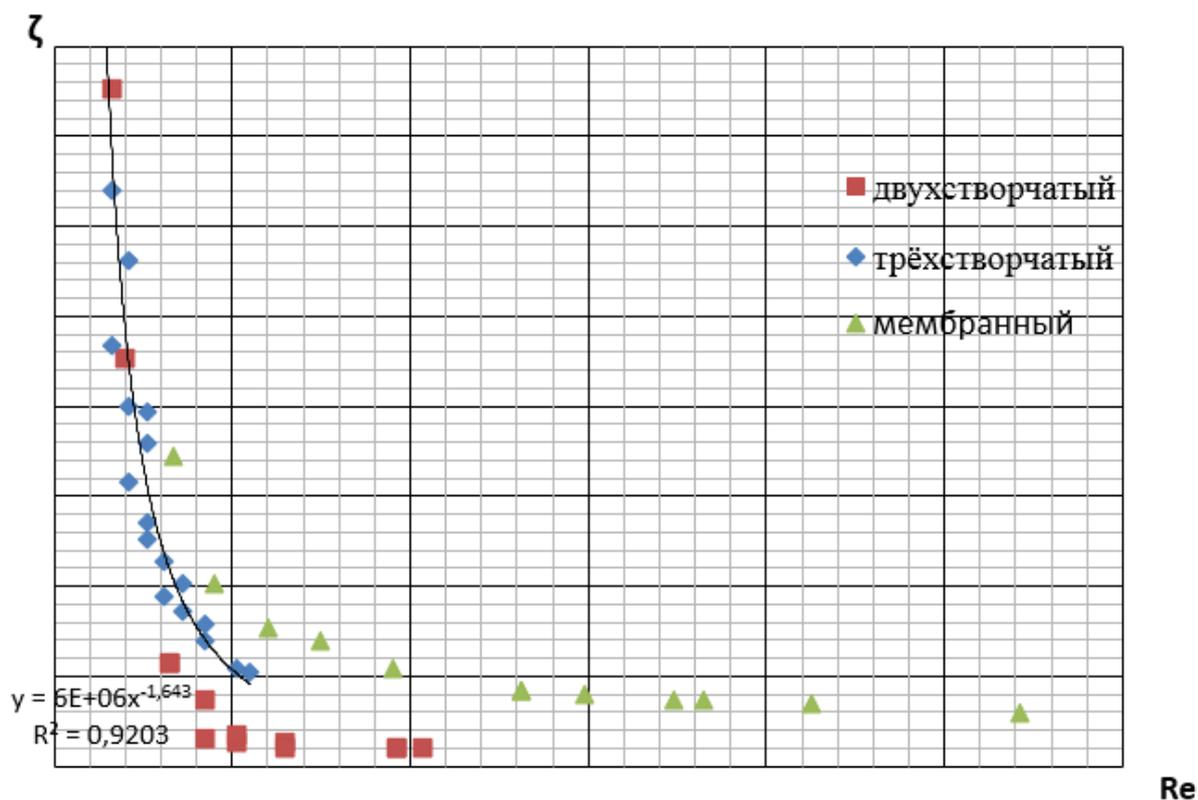
Рисунок 2 – Экспериментальные значения коэффициента гидравлического сопротивления ζ двухстворчатого клапана от числа Рейнольдса

В качестве альтернативы дорогим ИКС было предложено использовать мембранный дыхательный клапан от противогазной маски МГП (рисунок 3). Кроме того, наличие в конструкции ИКС хрупких лепестков вызывало сомнение в их стойкости к перегрузкам и виброперегрузкам в случае использования системы жидкостного дыхания для реализации концепции пилотируемого электромагнитного старта (перегрузка может достигать 1000 единиц).



Рисунок 3 – Мембранный клапан от противогаза МГП

На рисунке 4 для сравнения приведены экспериментальные значения коэффициента сопротивления ζ мембранного двухстворчатого и трехстворчатого ИКС от числа Рейнольдса.



- 3 Клементьев В.А, Васильев В.В, Скворцов К.А, Борщев А.Д. Экспериментальное определение коэффициента сопротивления двухстворчатого клапана на универсальном гидравлическом стенде. Управление движением и навигация летательных аппаратов. Сборник трудов XVI Всероссийского семинара по управлению движением и навигации летательных аппаратов (Самара, 18-20 июня 2013 г.). Часть 1. - С.185-189.
- 4 Некрасов Б.Б. Гидравлика и ее применение на летательных аппаратах. М.: Машиностроение, 1967. - 367с.
- 5 Клементьев В.А, Скворцов К.А, Филиппенко А.В. Экспериментальные исследования клапанов системы жидкостного дыхания. Неделя науки СПбГПУ: материалы научно-практической конференции с международным участием. Институт прикладной математики и механики СПбГПУ. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2014. – 316 с.