

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ПОТОКА В КРУГЛОЙ ТРУБЕ ЗА ХОНЕЙКОМБОМ

© 2016 И.Б. Александров, Е.И. Куркин, О.Е. Лукьянов, В.О. Садыкова, В.Г. Шахов

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

Статья поступила в редакцию 12.05.2016

В работе проведено математическое моделирование течения воды в канале за выпрямляющим устройством - хонейкомбом. Рассмотрено влияние хонейкомба на поле скоростей в канале, а также изменение профилей скоростей жидкости в сечениях канала по его длине. Проведён анализ влияния величины расхода воды в канале на профили скоростей по высоте канала. Определено расстояние от хонейкомба, где происходит выравнивание профиля скорости потока за счёт внутреннего трения слоёв жидкости.

*Ключевые слова:* моделирование, канал, хонейкомб, выпрямители потока, профиль скорости.

### ВВЕДЕНИЕ

Широкое распространение в технике получили различные устройства и системы, основным рабочим телом которых является газ или жидкость. Это могут быть пневмо- и гидросистемы, топливные системы и трубопроводы дренажа, вентиляционные каналы, элементы пневмоавтоматики и пр. В отдельную группу таких систем следует отнести пневмо-гидравлические устройства, где к потоку жидкости предъявляют особые требования по равномерности скорости в сечениях канала. Ярким примером таких агрегатов и систем могут служить аэродинамические трубы, газотурбинные двигатели, устройства для градуировки измерительных приборов. Для подготовки потока в подобных агрегатах используют различного рода устройства, позволяющие сделать его более однородным по скорости, разбить крупные вихри, спрямить по определённому направлению [1]. Высокую эффективность для достижения этих целей показали хонейкомбы [2], которые, однако, обладают рядом недостатков. Хотя и поле скоростей потока после прохождения хонейкомба по средним значениям становится однородным, векторы скорости в каждой точке потока становятся параллельными, но за перегородками хонейкомба образуется падение скорости [3],

что в совокупности делает профиль скорости по форме, напоминающей расчёску. Через некоторое расстояние за счёт внутреннего трения слоёв жидкости происходит полное выравнивание профиля скорости по сечению канала.

Цель проведенной работы – изучение выравнивания полей скоростей и следов от пластин при удалении от хонейкомбов.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Рассматривается течение воды в канале. Изучено течение в трубе с хонейкомбом, установленным на входе в неё, и входной конус. Исследование процесса выравнивания полей скоростей проведено с помощью математического моделирования, основанном на решении основных уравнений гидродинамики в системе ANSYS CFX.

На рис. 1 представлен общий вид и основные геометрические характеристики канала установки, который состоит из входного конуса, хонейкомба и трубы.

На рис. 2 более подробно представлена геометрия хонейкомба шириной 80 мм, состоящего из ячеек размером 40 x 40 мм, образованных перегородками толщиной 2 мм.

### РАСЧЕТНЫЕ МЕТОДЫ И МОДЕЛИ, ГРАНИЧНЫЕ УСЛОВИЯ

Моделирование проведено методом конечно-го объёма, примененного для численного решения систем дифференциальных уравнений в частных производных Навье-Стокса, осреднённых по методу Рейнольдса. Для замыкания этих уравнений используется модель турбулентности переноса касательных напряжений SST. Для реализации данного метода на основе трёхмерных геометрических моделей была создана рабочая область установки, образованная дискретизацией её объёма.

---

*Александров Игорь Борисович, руководитель отдела опытных изделий и оснастки, ООО "КРОНЕ-Автоматика". E-mail: Ialeksandrov@krohne.su*

*Куркин Евгений Игоревич, кандидат технических наук, доцент кафедры конструкции и проектирования летательных аппаратов. E-mail: eugene.kurkin@mail.ru*

*Лукьянов Олег Евгеньевич, аспирант института авиационной техники. E-mail: lukyanovoe@mail.ru*

*Садыкова Владислава Олеговна, студентка института авиационной техники. E-mail: vladislaava.s@yandex.ru*

*Шахов Валентин Гаврилович, кандидат технических наук, профессор кафедры конструкции и проектирования летательных аппаратов. E-mail: shakhov@ssau.ru*

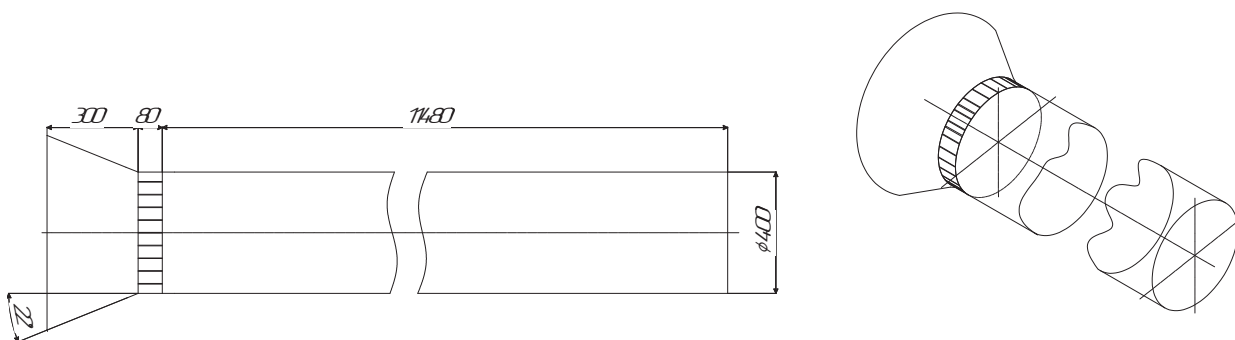


Рис. 1. Общий вид канала

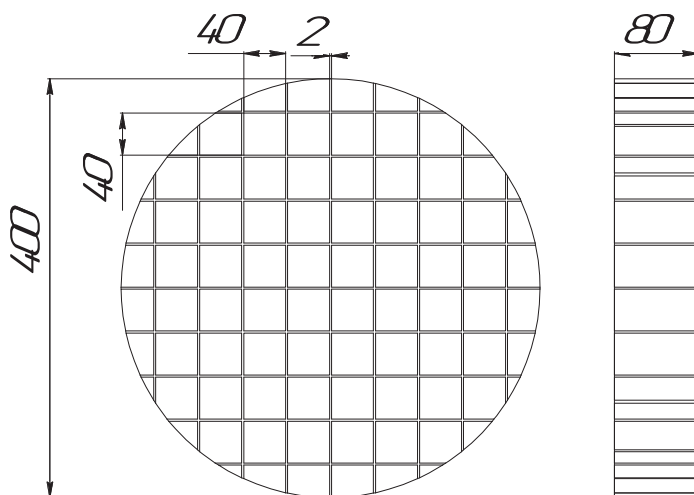


Рис. 2. Общий вид и геометрические характеристики хонейкомба

ёма на конечные ячейки, в каждой из которых происходит интегрирование основных уравнений. В силу большой размерности задачи используется регулярная структурированная сетка, позволяющая получать более быструю и качественную сходимость задачи при меньшем количестве ячеек. Для моделирования вязкого взаимодействия газа и стенок канала установки на поверхности стенок организовано измельчение сетки таким образом, чтобы получить значение относительной толщи-

ны первой ячейки на поверхности в приемлемом диапазоне для принятой модели турбулентности. Построение сетки осуществлено с помощью сеткогенераторов ANSYS ICEM CFD и ANSYS Workbench. На рис. 3 показана расчётная сетка в продольном и поперечном сечении трубы в районе стыка конуса, хонейкомба и трубы.

На рис. 4 приводится расчётная сетка, сгенерированная по объёму хонейкомба. На стенках перегородок хонейкомба произведено измельче-

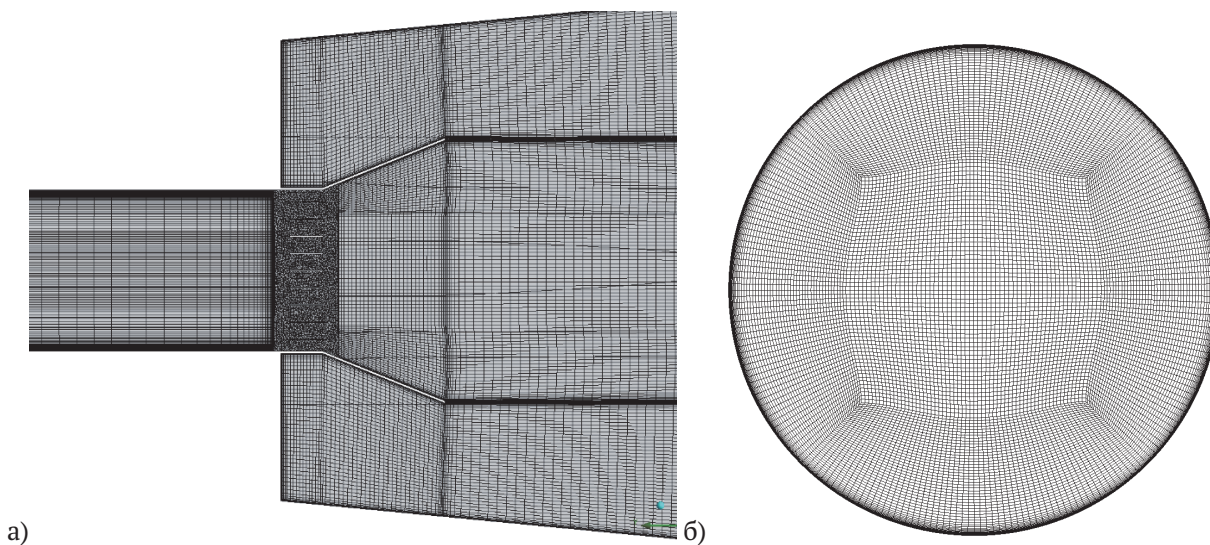
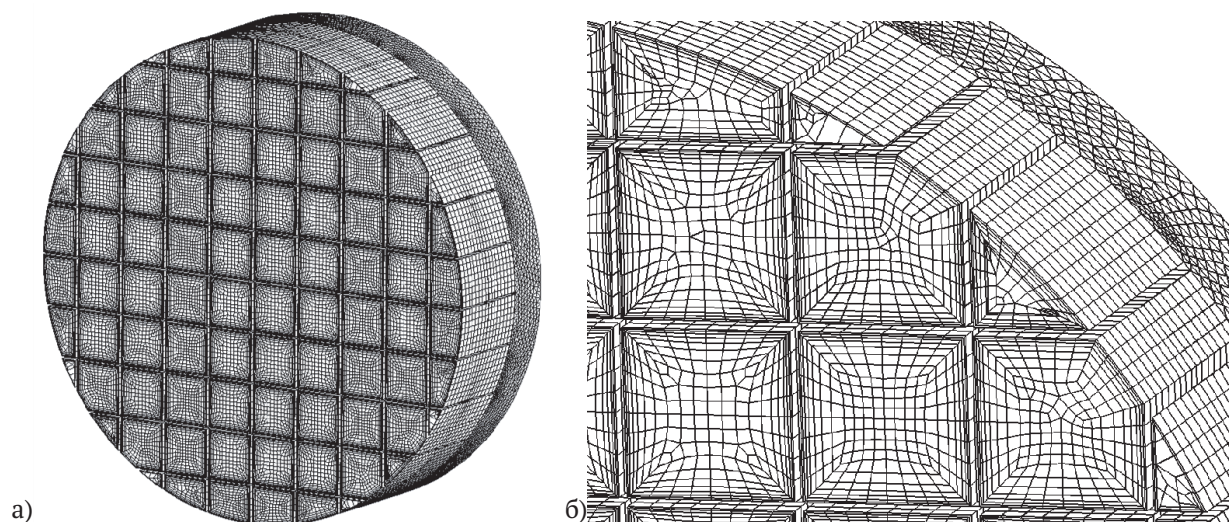


Рис. 3. Расчётная сетка в сечениях трубы: а – продольное сечение, б – поперечное сечение



**Рис. 4.** Сетка хонейкомба:

а – общий вид; б – вблизи перегородок хонейкомба

ние ячеек сетки для получения достоверного значения гидравлического сопротивления от него.

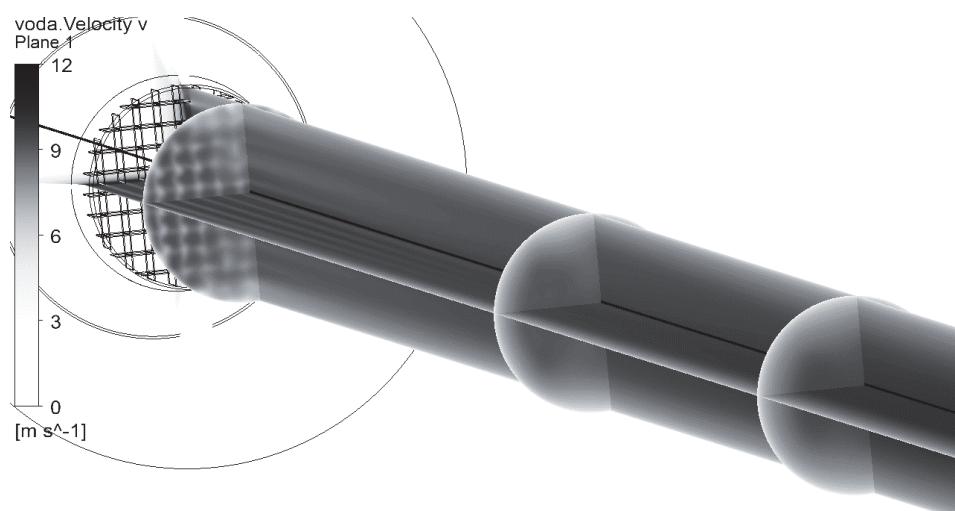
Перед проведением моделирования течения воды в канале установки произведены предварительные исследования на сеточную сходимость и определение оптимального значения относительной толщины первой ячейки  $Y^+$ . Исследования показали, что общее количество ячеек в 17 539 200 оказалось наилучшим. Граничные условия определяются следующим образом. На входе в канал задана величина расхода воды, который для различных вариантов расчёта составил 500; 1000; 1500; 2000; 2500; 3000; 3500; 4000 м<sup>3</sup>/ч. На выходе из канала задано статическое давление, равное атмосферному (101325 Па), температура воды 25 °С.

Моделирование проведено на суперкомпьютерном вычислительном центре «Сергей Королёв» Самарского университета. Сходимость решения была достигнута после 1000 итераций, потребовавших 17 часов решения на 96 ядрах суперкомпьютера на каждый вариант расхода воды в канале.

## РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

На рис. 5, 6 представлены поля скоростей потока воды в канале трубы. За решетками хонейкомбов наблюдается след от перегородок из-за торможения жидкости на их поверхностях. Свой вклад в неравномерность поля скоростей вносит и толщина перегородок хонейкомба, за которыми образуются срывы потока. В результате образуется распределение скоростей потока по высоте канала в форме «расчёски» (рис. 6).

На рис. 7 и 8 приведены графики изменения скорости потока по высоте канала трубы для разных сечений при расходах воды в канале 1000 и 4000 м<sup>3</sup>, соответственно. Анализируя эти графики, можно заключить, что неравномерный характер профиля скорости, вызванный прохождением потока через решётки хонейкомба, выравнивается за счёт внутреннего трения слоёв вязкой жидкости уже через 10 калибров. На таком расстоянии от хонейкомба формируется устойчивый качественный однородный прямолинейный поток жидкости (рис. 7 в, г; рис. 8. в, г). Величина



**Рис. 5.** Поле скоростей в канале трубы за решёткой хонейкомба в продольном и поперечном сечениях



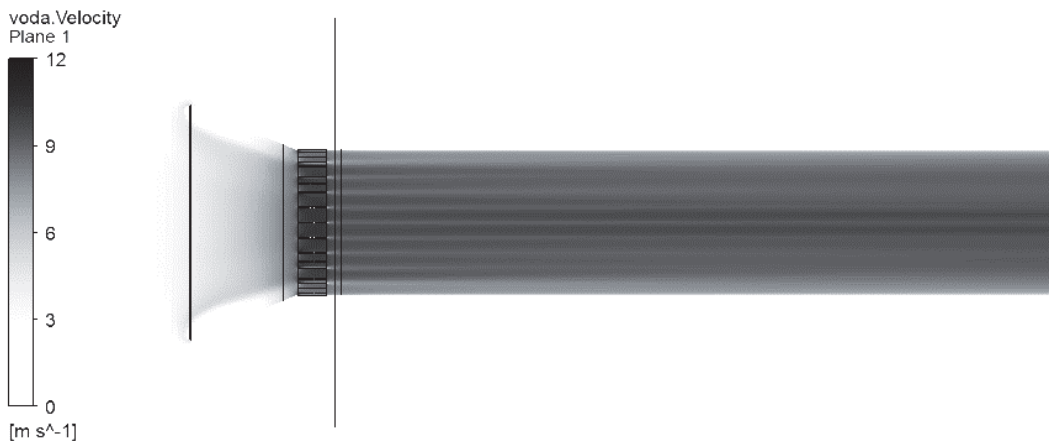


Рис. 6. Поле скоростей в канале трубы за решёткой хонейкомба в продольном сечении

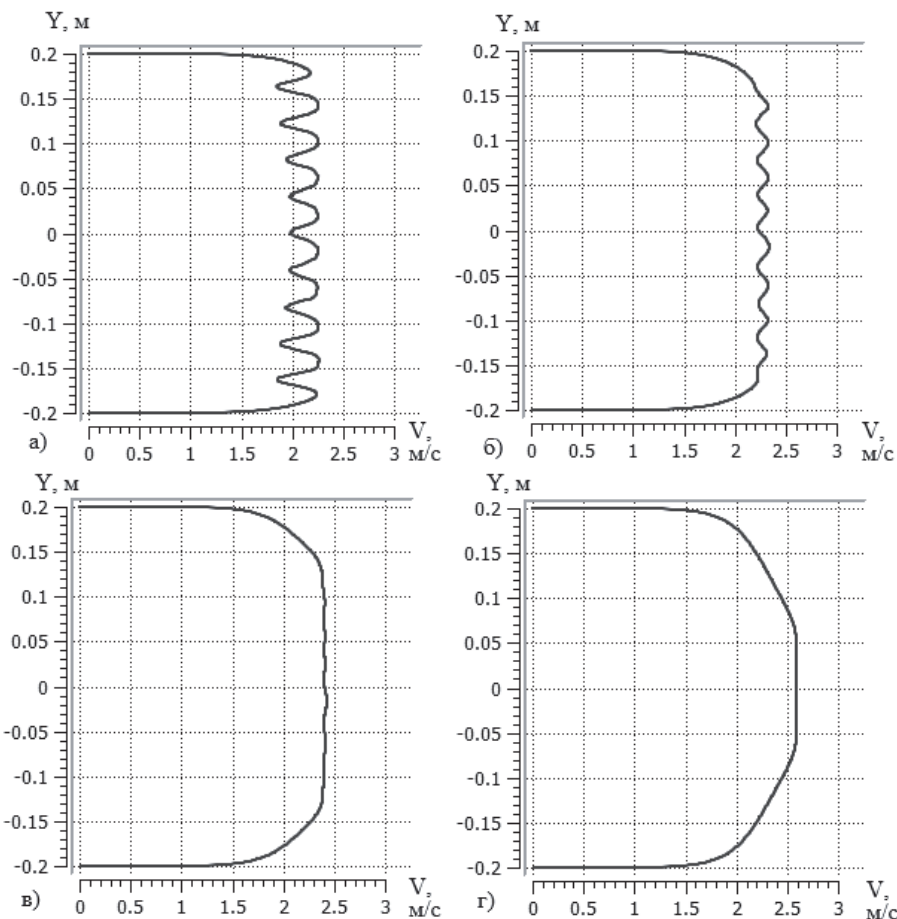


Рис. 7. Профили скорости жидкости в трубе при расходе  $1000 \text{ м}^3/\text{ч}$  на расстоянии от хонейкомба: а – 0,2 м; б – 1,6 м; в – 4 м; г – 10 м

расхода жидкости в канале трубы практически не влияет на скорость выравнивания потока. Это хорошо видно при сопоставлении рис. 7 б, в и 8 б, в.

**ВЫВОДЫ**

Анализ полученных результатов моделирования течения воды позволяет сделать ряд

выводов. За хонейкомбами образуется неравномерный профиль скоростей, вызванный пластинками хонейкомба. Вниз по потоку происходит выравнивание профиля скорости за счёт внутреннего трения слоёв жидкости. Выравнивание профиля скорости за пластинами хонейкомба в исследованном диапазоне расходов не зависит от величины расхода и происходит через 10 калибров.

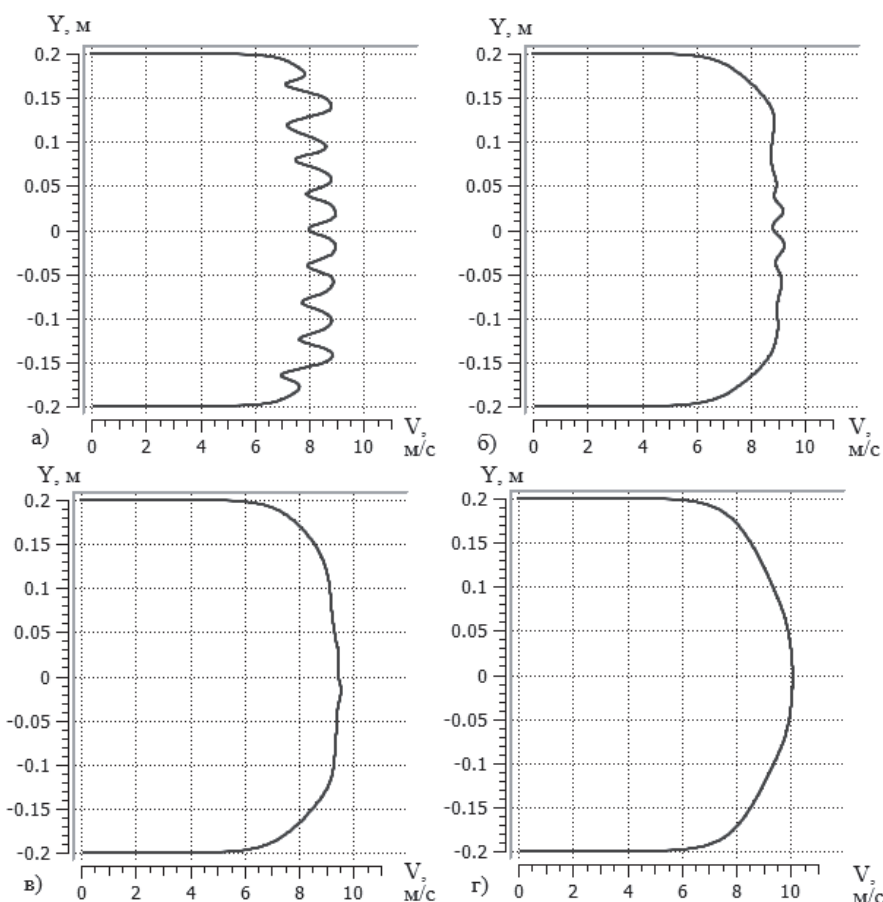


Рис. 8. Профили скорости жидкости в трубе при расходе  $4000 \text{ м}^3/\text{ч}$  на расстоянии от хонейкомба: а – 0,2 м; б – 1,6 м; в – 4 м; г – 10 м

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Vesenjak M., Ren Z., Öchsner A.* Computational Simulations of Regular Open-Cell Cellular Structures with Fillers/LS-DYNA Anwenderforum, Ulm 2006.
2. Гидравлическое сопротивление хонейкомба / Г.И. Дербунович, С.П. Лаврухина, Н.П. Михайлова, Е.У. Репик, Ю.П. Соседко // Ученые записки ЦАГИ. 1995. Т. 24. №2. С. 107-113.
3. *Kulkarni V., Sahoo N., Chavan S.D.* Simulation of honeycomb–screen combinations for turbulence management in a subsonic wind tunnel // Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, V.99, Is. 1, 2011. P.37-45.
4. Михайлова Н.П., Репик Е.У., Соседко Ю.П. Сочетание хонейкомба с сеткой для подавления турбулентности потока // Ученые записки ЦАГИ. 1998. Т. 29. № 1–2. С. 86-94.

#### COMPUTATIONAL SIMULATION OF THE FLOW FORMATION IN THE CIRCULAR PIPE AFTER THE HONEYCOMB

© 2016 I.B. Aleksandrov, E.I. Kurkin, O.E. Lukyanov, V.O. Sadykova, V.G. Shakhov

Samara National Research University named after Academician S.P. Korolyov

In this paper the mathematical modeling of water flow in channel behind rectifying device (honeycomb) is carried out. Influence of honeycomb on velocity field in channel and change of velocity profiles of liquid in channel sections along its length is considered. The analysis of influence of value of flow rate in the channel on velocity profiles on channel height is carried out. The distance from honeycomb where there is justification of fluid velocity profile due to internal friction of layers of liquid is defined.

*Keywords:* modeling, channel, honeycomb, flow straightener, velocity profile

Igor Alexandrov, Head of Experimental and Tooling Department in KROHNE Automatika. E-mail: Ialeksandrov@krohne.su  
 Evgeny Kurkin, Candidate of Technics, Associate Professor at the Aircraft Construction and Design Department.  
 E-mail: eugene.kurkin@mail.ru  
 Oleg Lukyanov, Graduate Student of Aviation Equipment

Institute. E-mail: lukyanovoe@mail.ru  
 Vladislava Sadykova, Student of Aviation Equipment Institute of Samara University. E-mail: vladislava.s@yandex.ru  
 Valentin Shakhov, Candidate of Technics, Full Professor at the Construction and Aircraft Design Department.  
 E-mail: shakhov@ssau.ru