

УДК 532

В. А. Кравець, д.т.н., професор
orcid.org/0000-0003-2099-9467
Д. А. Новак, студент

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, г. Краматорск, Украина
nik@donnaba.edu.ua

ВЛИЯНИЕ ЧИСЛА РЕЙНОЛЬДСА НА ДВИЖЕНИЕ СВОБОДНОПАДАЮЩЕЙ СТРУИ ВОДЫ

Одним из типов газоочистного оборудования является оборудование, которое осуществляет мокрую очистку газов от частиц пыли и вредных загрязнений. В таких аппаратах используют струи жидкостей, которые ведут себя по-разному. В данной работе рассмотрены основные режимы течения свободнопадающей струи воды в зависимости от величины критерия Рейнольдса.

Ключевые слова: ламинарный режим, турбулентный режим, струи жидкости, критерий Рейнольдса.

В. А. Кравець, д.т.н., професор
orcid.org/0000-0003-2099-9467
Д. О. Новак, студент

Донбаська національна академія будівництва і архітектури, м. Краматорськ, Україна
nik@donnaba.edu.ua

ВПЛИВ ЧИСЛА РЕЙНОЛЬДСА НА РУХ ВІЛЬНОПАДАЮЧОГО СТРУМЕНЯ ВОДИ

Одним з типів газоочисного устаткування є обладнання, яке здійснює мокре очищення газів від частинок пилу і шкідливих забруднень. У таких апаратах використовують струмені рідин, які ведуть себе по-різному. У даній роботі розглянуті основні режими течії вільно падаючого струменя води в залежності від величини критерію Рейнольдса.

Ключові слова: ламинарный режим, турбулентный режим, струмені рідини, критерій «Рейнольдса».

V. Kravets, DSc., Professor
orcid.org/0000-0003-2099-9467
D. Novak, student

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, Kramatorsk, Ukraine
nik@donnaba.edu.ua

INFLUENCE OF THE REYNOLDS NUMBER ON THE FLOW OF A FREE-FALLING WATERJET

One type of gas cleaning equipment is the equipment that performs wet cleaning of gases from dust particles and harmful contaminants. Such devices use jets of liquids that can behave differently. In this paper, we consider the basic flow regimes of free-falling waterjets depending on the the Reynolds criterion value.

Key words: laminar mode, turbulent mode, fluid jets, Reynolds criterion.

Постановка проблеми. Существует два основных режима движения жидкости – ламинарный и турбулентный. Ламинарным называется слоистое течение без перемешивания частиц жидкости и без пульсаций скоростей и давлений. При таком течении все линии тока вполне определяются формой русла, по которому течет жидкость, поперечные перемещения жидкости отсутствуют.

Турбулентным называется течение, сопровождающееся интенсивным перемешиванием жидкости и пульсациями скоростей и давлений. Движение отдельных

частиц оказывается подобным хаотическому движению молекул газа. При турбулентном течении векторы скоростей имеют не только осевые, но и нормальные к оси русла составляющие, поэтому наряду с основным продольным перемещением жидкости вдоль русла происходят поперечные перемещения и вращательное движение отдельных объемов жидкости. Этим и объясняются пульсации скоростей и давлений [1]. Изучение режимов течения жидкости имеет большое практическое значение.

Анализ предшествующих исследований и публикаций. На свободно падающих водяных струях было установлено, что струя жидкости по мере увеличения скорости меняет свою структуру, проходя при этом последовательно следующие стадии [2-3].

1. При малых скоростях истечения поверхность струи гладкая, ровная, течение носит, видимо, ламинарный характер, струя жидкости по мере возрастания скорости сжимается.

Следует отметить, что при больших размерах выпускного отверстия этот участок на реальных жидких струях вообще отсутствует [3].

2. При увеличении скорости и диаметра струя жидкости начинает закручиваться. Направление закручивания определяется случайными факторами, связанными с формой выпускного отверстия. Возникающие центробежные силы приводят к расширению струи, но силы поверхностного натяжения стремятся сохранить её форму. В результате в струе развиваются осесимметричные колебания, сопровождающиеся её сплющиванием и образованием плоского винта. Для водяных струй небольшого диаметра (10-30 мм) граница перехода от гладкой формы к волновой структуре, лежит в области значений скоростей 20-25 м/с [3,4]. Для струй большего диаметра скорость изменения структуры струи уменьшается.

3. При дальнейшем увеличении скорости, колебания в струе принимают асимметричный характер. Струя периодически смещается в стороны, одновременно вращаясь вокруг продольной геометрической оси.

4. В дальнейшем асимметричные колебания разрывают струю, превращая её в поток параллельных струй, соприкасающихся краями или даже разделённых некоторым промежутком. Видимый объём струи возрастает за счёт включения некоторого объёма воздуха в структуру струи.

5. Параллельные потоки, в свою очередь, разрушаются, и струя приобретает капельную структуру дождя, рассеивающегося на определённой площади.

Стадии развития структуры свободно падающих струй жидкости показаны на рис. 1.

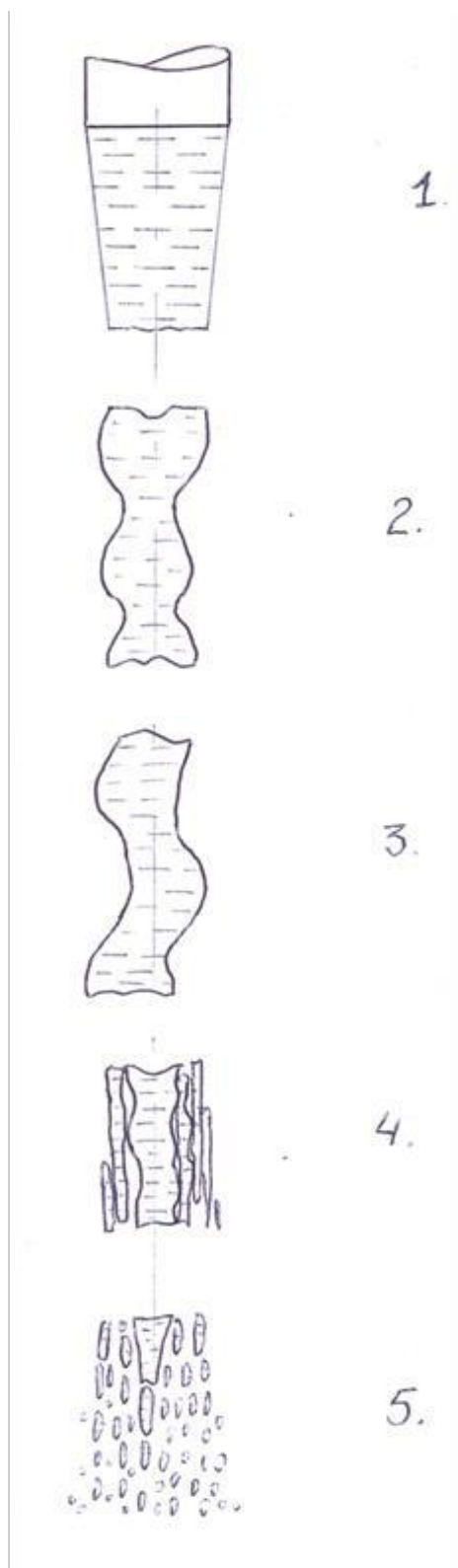


Рис.1 Стадии развития структуры свободно падающих струй жидкости.

1 – ламинарный поток; 2 – осесимметричные колебания; 3 – асимметричные колебания; 4 – распад на параллельные струи; 5 – капельная структура.

Исследование. Достаточно полные лабораторные исследования режимов движения и вопрос их влияния на зависимость потерь напора от скорости впервые исследовал английский физик Рейнольдс. Он предложил критерий, который назвали критерий Рейнольдса.

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu}$$

где

v - скорость потока, м/с;

d - характерный размер, м;

ν - кинематическая вязкость воды, м/с².

Проведён опыт в ходе которого определены стадии развития свободно падающих струй жидкости, а именно, с помощью обычного трубопроводного крана, а также рассчитаны числа Рейнольдса.

Открываем кран полностью, тем самым достигаем полную мощность струи, затем прикручиваем кран до тех пор, пока не увидим границу перехода одного потока в другой. Видим точки перехода на рис 2:

1-переход к осесимметричным колебаниям (Re_1);

2-переход к ассиметричным колебаниям(Re_2);

3-распад струи(Re_3).

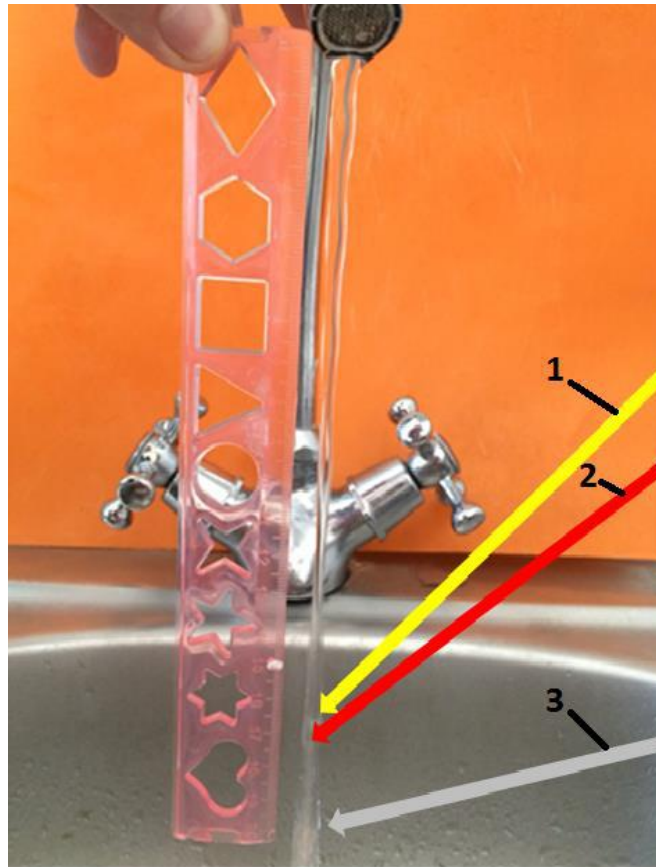


Рис. 2 Точки перехода течения струи.

Для вычисления числа Рейнольдса понадобились такие значения:

Высота от крана до критической точки ($h=17\text{ см}=0,17\text{ м}$);

Для расчёта скорости потока высчитана начальная скорость потока, для этого с помощью мерного стакана (1 л) и секундомера было засечено время, за которое вода наберётся в ёмкость.

$$V = \frac{1\text{л}}{90\text{с}} = \frac{10^{-3}\text{м}^3}{90\text{с}} = 10^{-5}\text{м}^3/\text{с};$$

$$d_0 = 0,01\text{м};$$

$$V_0 = \frac{V}{S_0} = \frac{4V}{\pi d_0^2} = \frac{4 \times 10^{-5}\text{м}^3/\text{с}}{3,14 \times 0,01\text{м}} = 0,1\text{м}/\text{с};$$

$$v = \sqrt{V_0^2 + 2 \times 9,8\text{м}/\text{с} \times 0,17\text{м}} = 1,8\text{м}/\text{с};$$

Кинематическая вязкость воды при $t\ 20^\circ\text{C}=1,006 \times 10^{-6}\text{м}^2/\text{с}$ [5];

Нахождение числа Рейнольдса в точках перехода:

$$Re_1 = \frac{0,18 \text{ м/с} \times 0,018 \text{ м}}{1,006 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}} = 3220,67;$$

$$Re_2 = \frac{0,18 \text{ м/с} \times 0,018 \text{ м}}{1,006 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}} = 3220,67;$$

$$Re_3 = \frac{0,19 \text{ м/с} \times 0,018 \text{ м}}{1,006 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}} = 3299,602;$$

Выводы. В данной работе выяснено, что существует 2 основных режима жидкоститурбулентный и ламинарный. Также рассмотрены 3 основных перехода течения струи: переход к осесимметричным колебаниям (Re_1), переход к ассиметричным колебаниям (Re_2), распад струи (Re_3), которые рассмотрены наглядно.

Литература

1. Ламинарный и турбулентный режимы движения жидкости // [Электронный ресурс].- Режим доступа: http://edulib.pgta.ru/els/2013/109_13/Gidravlika/gidravlica/modul2/1.5.htm .- Название с экрана.
2. Паримончик И.Б., Яковлев Ю.Н., Казачков И.П. Инжектирование воздуха сталью при выпуске ее из печи. / Известия вузов. Чёрная металлургия, 1971, №4, с.54-57.
3. Яковлев Ю.Н. Инжектирование воздуха струёй металла / Известия АН СССР, 1971, №4, с.51-54.
4. Гребенюк В.П., Стаханов Э.М., Ефимов В.А., Данилов П.М., Трифонов О.В., Дубина Ю.Г. Исследование на гидравлических моделях процесса истечения струи из разливных стаканов с различной конструкцией каналов // В сб. материалов 4-й Всесоюзной конф. «Проблемы стального слитка». М.: Металлургия, 1976, с.212-215.
5. Кинематическая вязкость воды при различных температурах // [Электронный ресурс].- Режим доступа: <http://thermalinfo.ru/svoystva-zhidkostej/voda-i-rastvory/vyazkost-vody-h2o> .- Название с экрана.