

РАСЩЕПЛЕНИЕ ВИХРЕВОЙ ВОРОНКИ

М.Ю. Базаров.¹, Ю.Б.Базаров^{2,3}, М.Б.Голубев², Е.Е.Мешков³.

¹МБОУ «Гимназия №2», Саров

²РФЯЦ-ВНИИЭФ, Саров

³СарФТИ НИЯУ «МИФИ», Саров

Во многих бытовых и промышленных устройствах, в которых происходит вытекание жидкости из емкости через сливные отверстия, образование вихревых воронок является серьезной проблемой. Оно приводит к существенному снижению пропускной способности сливных отверстий [1,2] и препятствует нормальному функционированию этих устройств (проникновение воздуха в трубопроводы, изменение характеристик потока и т.д.).

Исследование возникновения и развития воронок при истечении воды через отверстие в дне аквариума ведётся на базе гидродинамической лаборатории СарФТИ НИЯУ МИФИ с участием старшеклассников школ г.Сарова с 2008года [3,4]. В одном из экспериментов было обнаружено необычное явление, получившее название «*расщепление воронки*» по аналогии с расщеплением топором древесного полена. В этом эксперименте металлическая линейка, поставленная вертикально на дно аквариума по оси отверстия во время истечения воды, привела к разделению одной воронки на две, возникших по обе стороны линейки и существовавших до конца слива воды.



Рис.1 Лабораторная установка. 1-трубка для подачи воды в аквариум, 2-линейка для измерения уровня воды в аквариуме, 3- разделитель, установленный над сливным отверстием

Ниже описаны результаты экспериментов по исследованию этого явления и демонстрирующие некоторые новые возможности затягивания начала образования воронки и, как следствие, снижения ее негативного действия.

Эксперименты проводились на аквариуме квадратной формы 1×1 м и высотой 0.5 м с отверстием диаметром 16 мм в центре дна (рис.1).

В ёмкость заливалась водопроводная вода до уровня $h_0=80$ мм (уровень воды в аквариуме, при достижении которого при вытекании стабильно образуется воронка). Вода подавалась в аквариум вдоль одного из горизонтальных рёбер аквариума через трубку (1) для создания небольшого начального вращения воды, одинакового для всех опытов. Уровень воды в аквариуме определялся при помощи металлической линейки (2), установленной внутри аквариума на передней стенке и упирающейся в дно аквариума.

В опытах исследовалось влияние разделения сливного отверстия аквариума перегородкой на две и четыре части и время полного вытекания воды. Разделение на две части производилось помещением над сливным отверстием *разделителя* в виде стальной пластинки шириной 2 см и толщиной 0,5 мм (торец пластинки упирался в дно аквариума). При делении отверстия на 4 части разделитель собирался из четырех пластинок из жести (при помощи пайки) и в сечении имел форму четырехлучевой звезды.

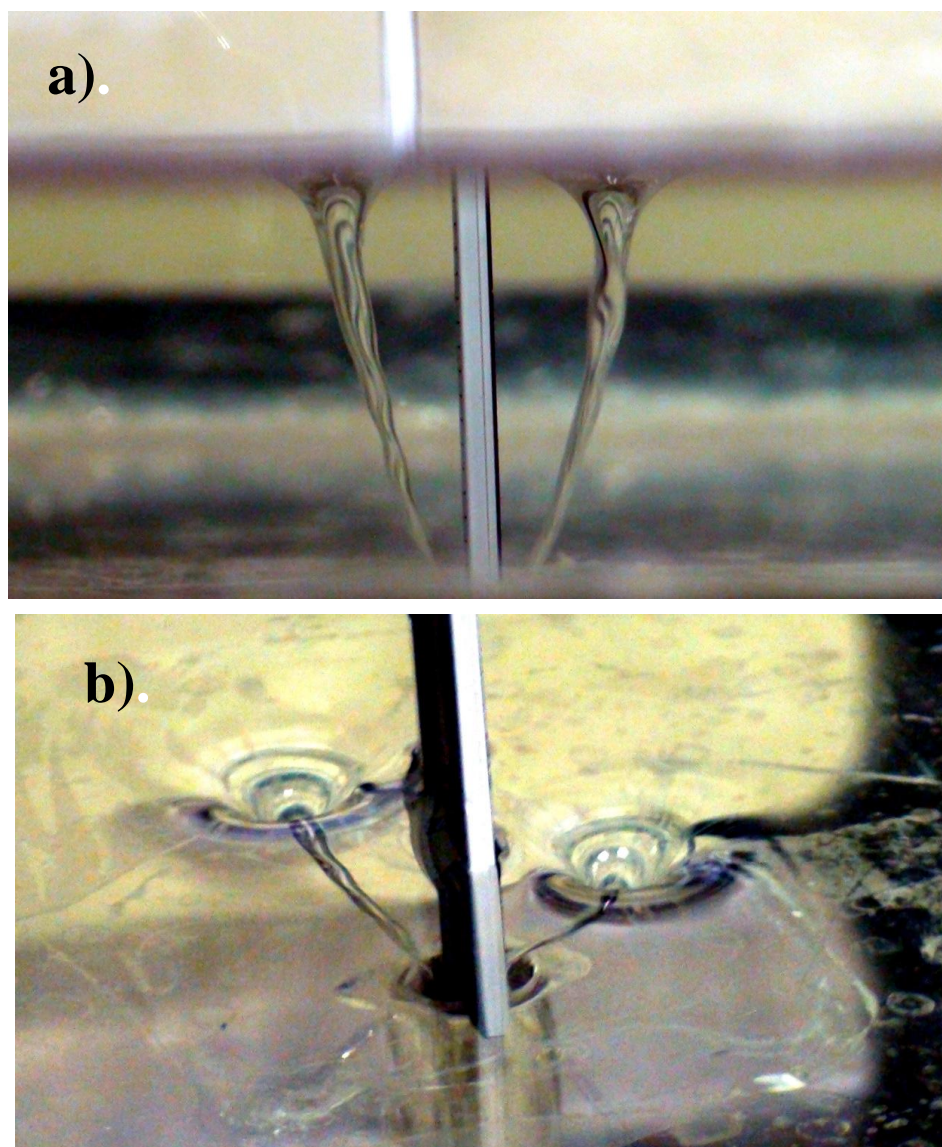


Рис.2. Образование двух воронок над отверстием, разделённым стальной пластиной.
а) вид сбоку, б) вид сверху.

Фотографии (рис.2) демонстрируют образование двух воронок при установке разделителя отверстия в виде пластины. При разделении отверстия на четыре части образуются четыре воронки (рис. 3). Все воронки закручивались в одну сторону (направление определялось начальным вращением воды в аквариуме). В обоих случаях наряду с индивидуальным вращением воды в каждой из воронок сохранялось общее вращение воды в периферийной области. Для случая двух воронок граница между областью периферийного общего вращения и индивидуальными воронками проходила на радиусе $4 \div 5$ см.

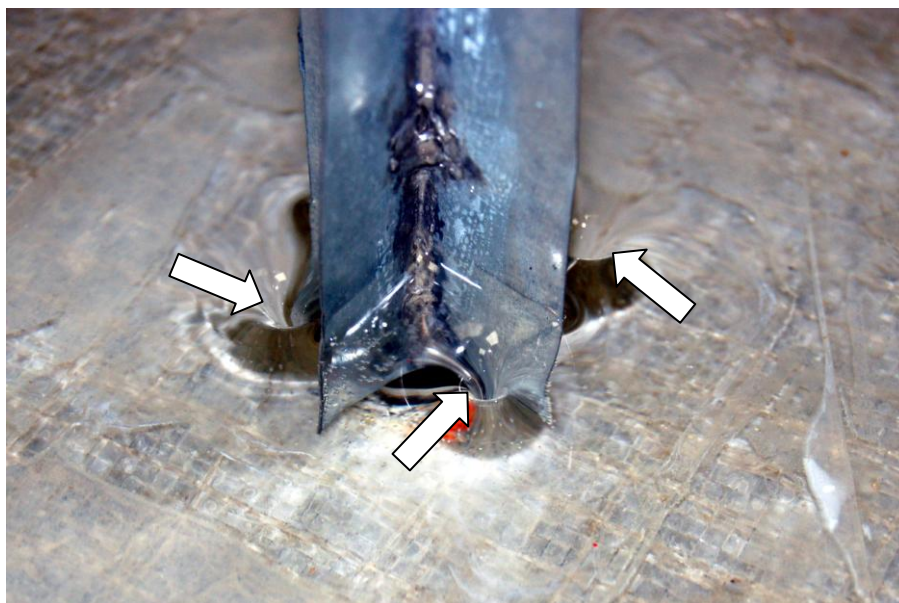


Рис.3. Образование четырёх воронок над отверстием, разделенным четырехсторонним делителем. Три воронки указаны стрелками, четвертая воронка находится за делителем.

Найдено, что установка разделителя приводит к затягиванию момента образования воронок (рис.4) и, в результате, к уменьшению времени вытекания воды (рис.5). В экспериментах зарегистрировано образование нескольких воронок одновременно над разными частями отверстия.

На рис. 4 приведена зависимость уровня h^* воды в аквариуме в момент образования воронок от их количества. Одна воронка (при отсутствии разделителя) возникает на уровне $h^* \approx 78$ мм, две воронки $h^* \approx 55$ мм, а четыре воронки $h^* \approx 25$ мм. На рис.5 приведена сравнительная $h(t)$ диаграмма процессов вытекания воды из ёмкости без разделителя и с установкой его.

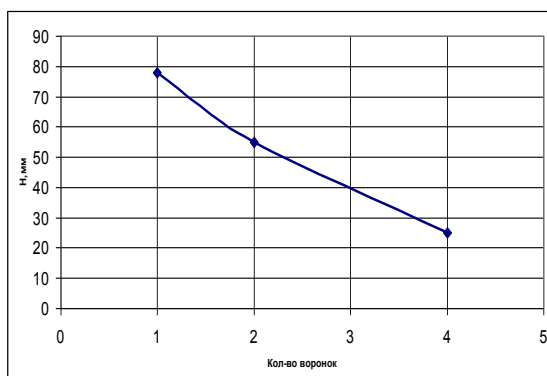


Рис. 4. Зависимость уровня образования воронок h^* от их количества

В случае образования четырёх воронок вода вытекает наиболее быстро из всех испытанных способов.

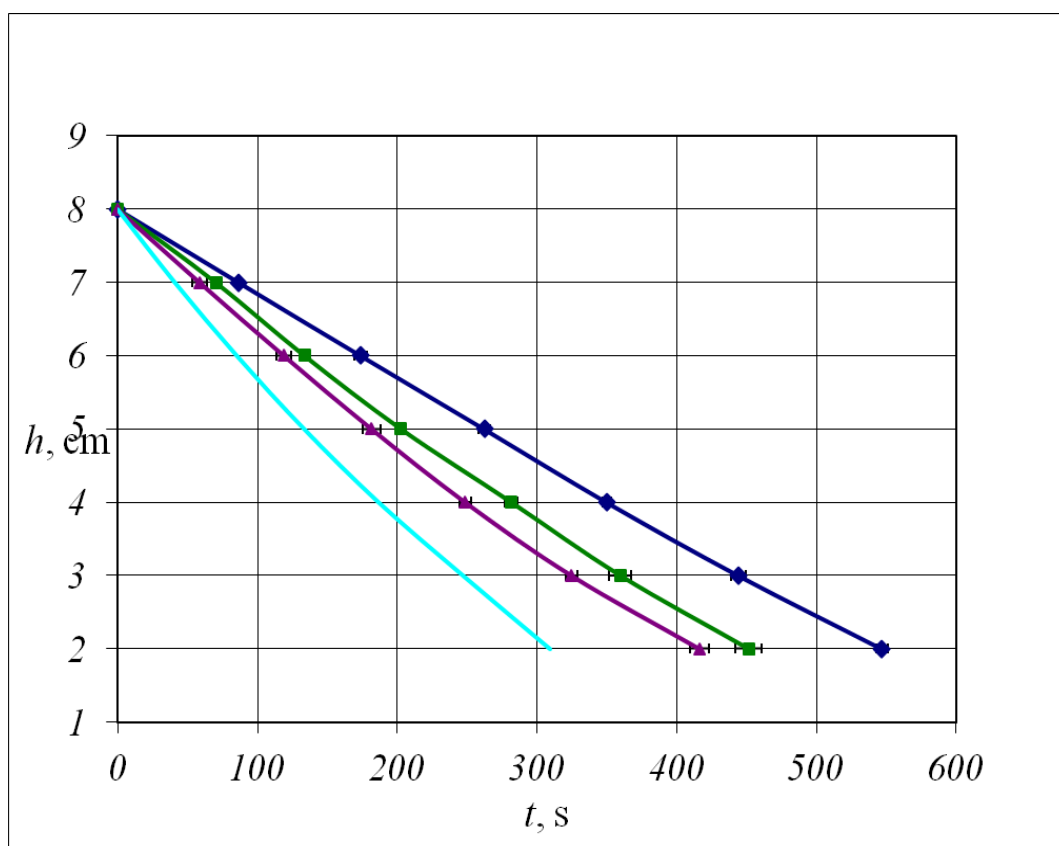


Рис.5. $h(t)$ диаграмма процесса вытекания воды из ёмкости без разделителя (♦) при образовании одной воронки и с разделителем при образовании двух (■) и четырёх (▲) воронок. Здесь же приведена расчетная зависимость, соответствующая уравнению Торричелли $v = \sqrt{2gh}$.

Как видно из приведенного графика применение разделителя с формированием четырёх воронок приводит к снижению времени вытекания почти на 25%.

1. А. А. Павельев, А. А. Штарев. Влияние симметрии положения сливного отверстия на формирование нестационарных вихревых воронок // Изв. РАН. МЖГ. 2005. № 5. С. 182-188.
2. Волосухин В.А., Белоконев Е.Н., Волинов М.А., К вопросу повышения надежности работы верхнего бьефа трубчатых водозаборных гидротехнических сооружений.// http://www.rusnauka.com/10_DN_2012/Stroitelstvo/7_104188.doc.htm
3. Bazarov V.Yu., Bazarov Yu.B., Vorsina T.A., Golubev M.B., Kortuykov A.E., Meshkov E.E., Orlov D.I. Instability as possible cause of bath-tube vortex initiation experiment. //Selected Papers of the Intern. Confer. "Fluxes and Structures in Fluids: Physics of Geospheres-2009", Moscow, 2010. Editors Yu.Chashechkin & V.Baydulov, p.p.43-48.
4. Мешков Е.Е., Сироткин А.А.. Аннигиляция воронки // Тезисы докладов. Российская конференция «Многофазные системы: природа, человек, общество, технологии», посвященная 70-летию академика Р.И.Нигматулина. Уфа, 21-25 июня 2010г., стр.155.