

Таблиця 1. Кути прецесії сферичної течії

Re_0	1650	2200	5600	8600	9500	12500
γ , град	0	0	0,5	1,0	2,0	2,5

Висновки

Дослідження осесиметричних течій у сферичному резервуарі щодо їх інерційних властивостей за допомогою тензо- і термоанемометричних перетворювачів швидкості вимагали тонкої орієнтації їх чутливих елементів у потоці і визначення впливу кожної конкретної складової швидкості потоку, з чим цілком коректно впоралися оригінальні конструкції насадок на чутливі елементи датчиків.

Виявлений завдяки вимірюванням полів швидкості у діапазоні чисел Рейнольдса $Re = 1650 \dots 12500$ перерозподіл силових інерційних впливів з боку рідини дозволив скоректувати трьохмірну картину течії, визначити відхилення (до 2,5 градусів) векторів кругових моментів в'язкого тертя рідини на стінках паливного баку КА. Програмування цих даних у бортовому обчислювальному комплексі КА забезпечить більш точні компенсаційні дії системи орієнтації та стабілізації на траєкторію та характер польоту КА. Це, у свою чергу, дозволить заощадити запаси рідкого пального на борту об'єкта і збільшити його надійність і керованість у цілому.

Список використаних джерел

1. Микишев Г.Н., Рабинович Б.И. Динамика тонкостенных конструкций с отсеками, содержащими жидкость.- М.: Машиностроение, 1971.- 564 с.
2. Ковалев В.А. Влияние момента трения вязкой жидкости на стенки содержащей ее сфероидальной емкости // Вісник Східноукр. Держ. Ун-ту, 1999, № 4 (20), стр.222...228.
3. Ковальов В.А. Особливості нестационарного розподілу швидкості в'язкої нестисненої рідини при обертанні сферичної ємності // Наукові Вісті Нац. Техн. Ун-ту України «КПІ», 2000, вип.3, стр.47...51.

УДК 532

Лукьянов П.В., канд. физ.-мат. наук, с. н. с. Макаренко Р.А., канд. техн. наук, доцент
Национальный авиационный университет, Киев, Украина

ОСОБЕННОСТИ ТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТИ, ВЫЗВАННОГО СТАЦИОНАРНЫМ ВРАЩЕНИЕМ ДИСКА В ЗАМКНУТОЙ ОБЛАСТИ

Представлены результаты численного расчета течения несжимаемой жидкости в цилиндрической замкнутой области, вызванное источником циркуляции на дне. Источником циркуляции служит вращающийся диск радиуса, меньшего радиуса основания. Целью исследований была апробация существующих моделей компактных вихревых течений путем сравнения их с численным экспериментом. Результаты численного эксперимента указали качественное совпадение модели компактного компенсированного вихря с радиальными распределениями поля азимутальной скорости. Кроме того, численный эксперимент подтвердил наличие, хотя и незначительной, так называемой зигзагообразной неустойчивости, которая сводится к искривлению оси вращения вихря при взаимодействии с твердой поверхностью – неподвижной границей напротив вращающегося диска. Таким образом, при построении моделей трехмерных течений, как стационарных, так и нестационарных, оправдано использование модели компактного компенсированного вихря в качестве «пробного» решения, на основании которого можно строить уже полную трехмерную нелинейную модель.

Ключевые слова: компактный компенсированный вихрь, вращающийся диск, течение в замкнутой области

Введение, движение жидкости, вызванное вращающимся диском

Впервые движение жидкости под действием вращающегося диска исследовал Карман [1]. Он получил аналитические решения для всех трех (радиальной, азимутальной и осевой) компонент скорости для случая бесконечной области и диска бесконечного радиуса. С тех пор прошло много времени и опубликовано десятки работ по этой теме. Так, например, [2], рассматриваются растяжимые диски, а также тепло, выделяемое при этом. Течение, связанное с разбрызгиванием от вращения жидкости, также представляет определенный технологический интерес. В данных исследованиях преследовался, прежде всего, научный интерес. Необходимо было подтвердить, хотя бы приближенно, что когерентные вихревые течения имеют радиальное распределение азимутальной скорости, близкое к компактному компенсированному вихрю [3]. Известное течение между двумя концентрическими цилиндрами (Тейлора--Куэтта) формально совпадает с моделью компактного компенсированного вихря. Но то, что эта структура сохраняется и при отсутствии внутреннего вращающегося цилиндра – было еще не известно. Теперь, после проведения численного эксперимента и сравнения с существующими моделями, стало понятно, что это так.

Постановка задачи и результаты численного эксперимента

Рассмотрим цилиндрическую область некоторого радиуса R (рис. 1). Генератором циркуляции (завихренности) служит вращающийся диск. Размеры области: диаметр 160 мм, высота – 150 мм. Диаметр диска – 120 мм. Угловая скорость вращения 50π рад в секунду. Использовалась модель вязкой жидкости. Численный расчет проводился с использованием программного продукта SolidWorks с модулем Flow Simulation. В данной программе используется метод конечных объемов. Составляющие расчетной сетки имеют форму параллелепипедов, где значения переменных рассчитывается в центрах объемов, а не в узлах расчетной сетки. Расчетная сетка формировалась с адаптацией ячеек вблизи стенок и вращающегося диска, что повышает точность расчета. В диапазоне расстояния оси Z от 0 до 5 мм от поверхности вращающегося диска ячейки сетки формировались с шагом 0,1 мм. Общее количество объемных элементов в расчетной области составляет 2098485 ячеек.

В результате численного расчета были получены картины кинематики течения в виде векторов скорости, а также графики распределения скоростей по радиусу цилиндра вблизи вращающегося диска.

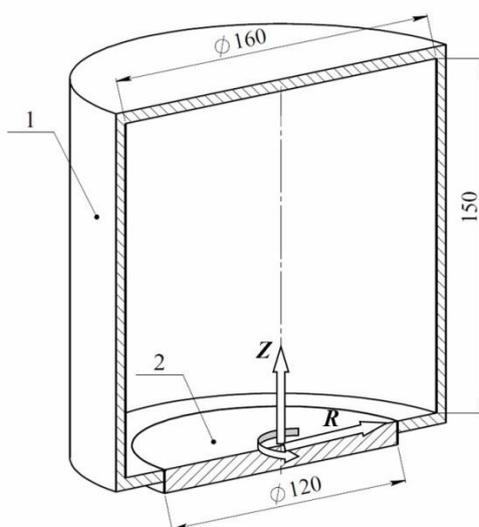


Рис. 1- Схематический рисунок к постановке задачи

На рис. 2 показано диаметрально сечение поля скорости в виде векторов, в котором видно, что ось вращения потока жидкости в центральной части искривлена. Этот феномен

уже известен науке как зигзагообразная неустойчивость [4]. Но основным моментом есть все же радиальное распределение поля азимутальной скорости, представленное на рис. 3.

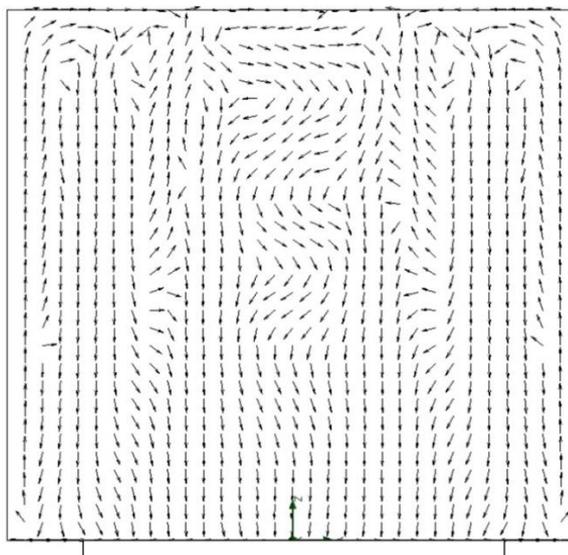


Рис. 2- Поле скорости в диаметральном сечении

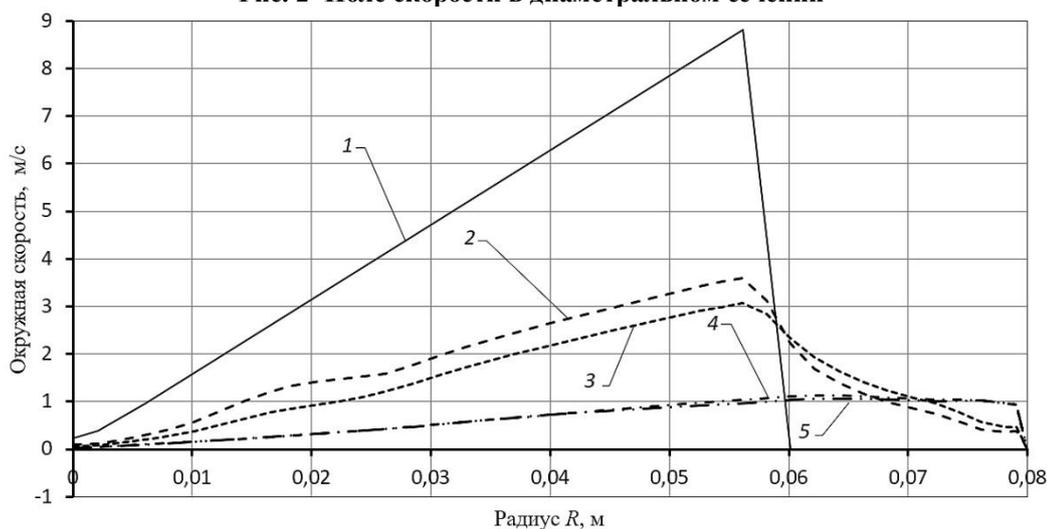


Рис. 3- Изменение окружной скорости потока вдоль радиуса по координате Z:
1 – 0 мм, 2 – 0,1 мм, 3 – 0,2 мм, 4 – 1,6 мм, 5 – 1,8 мм

Кривая с максимальной азимутальной скоростью соответствует точкам на дне области. На удалении от дна твердотельное вращение сохраняется, а амплитуда скорости быстро убывает. Как и положено, при указанных значениях всех величин, пограничный слой очень тонкий: падение амплитуды скорости в несколько раз достигается уже на величине порядка 0.1 мм. Весь же слой жидкости, где происходит значительное изменение амплитуды азимутальной скорости – на порядок выше и достигает 1-1,8 мм. Все сказанное отображают соответствующие кривые.

Если внимательно посмотреть на средние (по амплитудам) две кривые, соответствующие 0.1 мм и 0.2 мм, то станет понятно: в области течения жидкости, где влияние источника циркуляции еще сказывается, распределение азимутальной скорости действительно состоит из твердотельного вращения (область размера порядка вращающегося диска) и внешней области, где амплитуда скорости начинает убывать вплоть до нуля – на

боковой стенке. Это полностью согласуется с моделью компактного компенсированного вихря [3].

Вдали от вращающегося диска, где амплитуда окружной скорости уже на порядок (в 10 раз) меньше скорости на дне, область твердотельного вращения уже занимает почти весь объем жидкости кроме пограничного слоя на боковой стенке. Это течение также описывается моделью компактного компенсированного вихря: при этом в узкой области вертикальная завихренность (компонента ротора скорости) имеет достаточно большую амплитуду, чтобы компенсировать внутреннюю твердотельную область.

Таким образом, кинематическое условие компенсированности поля завихренности, определяющее конечный размер области вращающейся жидкости, является универсальным. Это условие имеет место как для свободных вихревых течений, так и для замкнутых объемов вращающейся жидкости.

Список литературы

1. Von Karman T. Uber laminare und turbulente Reibung. // Z. Angew. Math. Mech. 1921. v. 1, p. 233—252 .
2. Turkyilmazoglu M. Flow and heat simultaneously induced by two stretchable rotating disks. // Phys. Fluids. 2016. v. 28, 043601.
3. Лук'янов П.В. Одновимірні моделі компактних вихрів. // Наукові вісті НТУУ КПІ. 2010. т. 8 (80)б № 4. С. 145—150.
4. Billant P. Theoretical analysis of the zigzag instability of a vertical columnar vortex pair in strongly stratified fluid. // J. Fluid Mech. 200, v. 419, p. 29—63.

УДК 532.513.1

Ночніченко І. В., к.т.н., доц., Бєліков К. О., к.т.н., ст. викл., Галецький О.С. к.т.н., ст. викл.,
КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ВИТРАТНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДРОСЕЛЬНОГО ВУЗЛА АМОРТИЗАТОРА ЗА ДОПОМОГОЮ MATLAB Simscape

Анотація. За результатами експериментальних досліджень поршневого клапану амортизатора було отримано залежності витрати через дросельний вузол при перепадах тисків до 1...3,4 МПа і зміні температури робочої рідини в межах від 20 до 50 °С Для уточнення розрахунку і вибору параметрів дросельного вузла та можливості прогнозування його витратних характеристик в динамічних процесах було побудовано модель з використанням блоків Simscape.

Ключові слова: гідравлічний амортизатор, поршковий клапан, дросельний вузол.

У машинобудуванні гідравлічні амортизатори використовуються для гасіння і мінімізації коливань в механічних системах. Використання гідравлічних амортизаторів стало ширшим за рахунок їх компактних розмірів, низьких витрат і невеликого споживання матеріалів для проектування та виготовлення. Типовий "двотрубний" амортизатор має три камери, які з'єднані каналами через дві групи дроселів: поршковий клапан і донний клапан. Різниця тисків в камерах обумовлена опором клапанних трактів [1, 2].

При розрахунках потоки розглядаються як безперервні, відсутність кавітації та розчиненого газу, однак ці процеси мають місце в реальності і впливають на демпфуючі характеристики. Для візуалізації процесів у дросельному вузлі поршневого клапана і визначення його витратних характеристик був створений зразок (рис.1) та проведено досліді по визначенню витратних характеристик вузла при змінних температурах (рис. 2).