

А.В.Тишина, А.С.Шульдешов Упр. Конкурентоспособность. Автоматиз. 2002.-№1,- С.83-92. 6.Маковецкий А.В. Приемы ротационной формовки и математическая модель оборудования // А.В.Маковецкий, В.И.Чередниченко, В.В.Маковецкий / Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Зб. Наукових праць. Вип.14. – Краматорськ: ДДМА -2003. - С.90-95. 7. Декларативный патент Украины № 43135. *МкВ 21 Д 51/02*. Верстат для виготовлення заготовок типу ступінчастих валів обкочуванням. Опубл.15.11.2001. Бюл.№10.8. Декларативний Патент України № 5985. *МкВ 21 Д 51/02*. Верстат для виготовлення заготовок з прокату обкочуванням. Опубл.15.06..2005. Бюл.№6. 9. Корнилова А.В. К вопросу проектирования станин открытых кривошипных прессов // Сб. науч. труд. Вып.10. Моск. гос. технол. ун-т «СТАНКИН». М.: Изд-во МГТУ «СТАНКИН». М.: Янус-К. 2004. -С.108-112. 10.Song Y.H., Yan Y.N., Zhang R.J. Finite element analysis of the prestress wire – winding press. *J.Mater. Process/Technol.* 2004.151..№1-3, -с. 255-257. 11. Алямовский А..А и др. *Solid Works*. Компьютерное моделирование в инженерной практике /А.А. Алямовский, Собачкин А.А., Е.В. Одинцов, А.И. Харитонович, Н.Б. Пономарев – СПб.: БХВ-Петербург, 2005.- 800 с.

Сдано в редакцию 6.06.06

Рекомендовано д.т.н., проф. Параскив Д.

## ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ГАСИТЕЛИ ЭНЕРГИИ ПОТОКА В СИСТЕМАХ ГИДРОПРИВОДА СУДОВ

**Малахов А.В., Калуев А.Г., Бачериков В.А., Леонов В.В.** (ОНМА, г. Одесса, Украина), **Сторожев В.П.** (ОНМУ, г. Одесса, Украина), **Рублев А.В.** (НТУ, г. Киев, Украина)

*There are considered modern problems connected with energy diminishing for moving flows in ship's hydraulic drives. The necessity for development of new controlling technologies for such systems is shown. There are presented results of theoretical and experimental works. Investigation results are describing interaction between cone and disk-type foils and moving flow that possess big inertia.*

Проблема качественного управления судовыми системами гидропривода является очень актуальной, поскольку используемые в настоящее время современные системы гидропривода судов являются очень чувствительными к возникающим в них динамическим нагрузкам [1]. В качестве примера можно рассмотреть работу судового грузового устройства. Во время его эксплуатации очень часто возникает необходимость остановки работающих в единой схеме основной рабочей или вспомогательной стрелы. Остановка должна осуществляться в четко зафиксированных положениях стрелы. Следует отметить, что возникающая в этом случае инерционность используемой рабочей жидкости гидропривода, а также сложность механической части его тормозного устройства не позволяет добиться пространственно фиксированных положений, которые при этом являются технологически необходимыми. В результате данного недостатка грузовая стрела очень часто осуществляет колебательные движения, около требуемого положения, что вызывает осложнения в работе оператора и обслуживающего персонала трюмов или других грузовых помещений (автопалуба, рефрижераторные отсеки и т.д.). Рассматриваемый недостаток является причиной более раннего износа механических частей и существенным образом влияет на командно-контроллерную аппаратуру

управления грузового устройства. На современных судах проблемы пространственной фиксации грузовой стрелы дополнительно могут оказывать влияние на коммутационные процессы в используемых схемах электронного управления.

Аналогичные технические проблемы очень часто имеют место в случае использования гидропривода в швартовых устройствах, где необходимо регулировать плавность работы шпиля или брашпиля. Частично они встречаются в шлюп-балках аварийно-спасательного оборудования, а также в системах люковых закрытий трюмов или при работе подъемно-транспортного оборудования специализированных судов (РО-РО, паромы и т.п.). Указанные технические устройства должны обеспечивать устойчивую работу в сложных условиях плавания судна при высоких динамических нагрузках, например при грузовых операциях в открытом море. Сложные условия работы также могут возникать при выполнении различных гидротехнических работ в случае сложной навигационной обстановки и погодных условий. Примером подобной ситуации является монтаж или эксплуатация морских нефте- или газодобывающих терминалов, где суда играют неотъемлемую часть технологического процесса.

Сложившаяся ситуация напрямую определяет цель выполненных исследований и делает насущным решение гидродинамической задачи о быстрой остановке рабочей жидкости, которая движется внутри системы гидропривода. На основании результатов, полученных в ходе решения такой задачи, может быть разработано устройство, позволяющее добиваться необходимых режимов работы без использования дополнительных механических узлов, которые зачастую только осложняют используемую технологическую схему в целом. Новым принципом, который закладывается в постановку такой задачи, является использование известных физических принципов поведения движущегося внутри трубопровода потока жидкости при его взаимодействии с обтекаемыми телами.

Известно [2], что обтекатели, установленные внутри цилиндрического трубопровода являются местными гидравлическими сопротивлениями. В зависимости от своего пространственного расположения по отношению к стенкам трубопровода они могут оказывать различное влияние на получаемую в конечном итоге картину течения. Данное изменение гидромеханических характеристик движущегося потока может быть направлено на решение рассмотренной технической проблемы. Если в цилиндрической рабочей камере гидропривода установить дисковый обтекатель, то в зависимости от угла его поворота (степени перекрытия потока) могут быть получены различные коэффициенты его сопротивления. Другими словами энергетические характеристики потока, а, в частности, его потери могут регулироваться обычным поворотом дискового обтекателя.

Вторым вариантом подобного отбора избыточной энергии потока может являться технология создания кумулятивных течений. В данном случае речь идет об установке конусного обтекателя внутри цилиндрической рабочей камеры магистрального трубопровода судовой системы гидропривода. В ходе исследовательских работ [3] были получены результаты, указывающие на существование четких кинематических диапазонов, при которых вся энергия потока аккумулируется в ограниченной области движущейся жидкости. Возникающая в этом случае кумулятивная струя направлена в сторону, которая противоположна направлению основного течения и передает практически всю свою энергию жестко зафиксированному конусному обтекателю. Воздействие струи на обтекатель в этом случае четко ограничено контуром его тыльной части. Подобный гидромеханический отбор инерционного напора у потока является достаточно перспективным, поскольку не требует использования сложных технических решений.

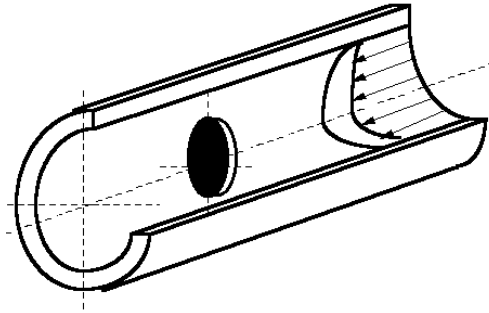


Рис. 1. Схема рассматриваемой задачи

Общая схема рассматриваемой задачи показана на рисунке 1. Ограниченный стенками цилиндрической камеры поток рабочей жидкости набегаёт на симметрично установленный обтекатель (диск). В теоретической постановке рассматриваемая задача описывается системой нестационарных уравнений Навье-Стокса (1). Поскольку эти уравнения содержат три неизвестные составляющие вектора скорости  $\bar{V}$  и давление  $P$ , система (1) является переопределённой. В этом случае для возможности её решения необходимо добавить или уравнение неразрывности (2), указывающее на отсутствие в жидкости разрывов или уравнение фон Неймана (3), связывающее эти переменные с неявным учетом времени  $t$ .

В ходе теоретических исследований использовались уравнения (1) – (2). Поскольку решаемая задача является краевой и нестационарной то необходимо задавать начальные и граничные условия. Эти соотношения формулировались в виде (4)-(5) – начальные условия и (6) – граничные условия:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial V_x}{\partial t} + V_x \frac{\partial V_x}{\partial x} + V_y \frac{\partial V_x}{\partial y} + V_z \frac{\partial V_x}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \nu \left( \frac{\partial^2 V_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V_x}{\partial z^2} \right) \\ \frac{\partial V_y}{\partial t} + V_x \frac{\partial V_y}{\partial x} + V_y \frac{\partial V_y}{\partial y} + V_z \frac{\partial V_y}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + \nu \left( \frac{\partial^2 V_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V_y}{\partial z^2} \right) \\ \frac{\partial V_z}{\partial t} + V_x \frac{\partial V_z}{\partial x} + V_y \frac{\partial V_z}{\partial y} + V_z \frac{\partial V_z}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + \nu \left( \frac{\partial^2 V_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V_z}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V_z}{\partial z^2} \right) \end{aligned} \right\}; \quad (1)$$

$$\frac{\partial V_x}{\partial x} + \frac{\partial V_y}{\partial y} + \frac{\partial V_z}{\partial z} = 0 \quad (2)$$

$$\nabla^2 P = 2\rho \left[ \frac{\partial V_x}{\partial x} \frac{\partial V_y}{\partial y} - \frac{\partial V_y}{\partial x} \frac{\partial V_x}{\partial y} + \frac{\partial V_y}{\partial y} \frac{\partial V_z}{\partial z} - \frac{\partial V_y}{\partial z} \frac{\partial V_z}{\partial y} + \frac{\partial V_z}{\partial z} \frac{\partial V_x}{\partial x} - \frac{\partial V_z}{\partial x} \frac{\partial V_x}{\partial z} \right]; \quad (3)$$

$$V_z = \frac{8}{Re} \frac{V_{cp}^2}{2R\nu} [R^2 - h^2]; \quad (4)$$

$$p = const - 8\mu V_{cp} \frac{PZ}{R^2}; \quad (5)$$

$$V_x = V_y = 0. \quad (6)$$

где  $V_i$  – проекция скорости на соответствующую координатную ось;  $P$  – давление потока;  $t$  – время;  $\nu$ ,  $\mu$  – кинематическая и динамическая вязкость рабочей жидкости;  $V_{cp}$  – средняя скорость на входе в расчетную область;  $Re$  – число Рейнольдса потока;  $R$  – радиус расчетной области;  $h$  – текущая координата по высоте.

В ходе конечно-разностного решения приведенных выше уравнений движения был использован метод расщепления Н.Н. Яненко [4, 5] благодаря чему была достигнута высокая сходимость и устойчивость вычислительного процесса. Полученные со вторым порядком точности результаты для обтекателя выполненного в виде диска показаны на рисунке 2. Поток движется слева направо и как видно перед лобовой поверхностью диска возникает интенсивная зона вихреобразования. Данный гидродинамический эффект как раз и предлагается использовать для отбора энергии у движущегося потока. Возникающая локально "застойная" зона с энергетической точки зрения является очень емкой, поскольку постоянное образование и взаимодействие вихрей, как крупно, так и мелко масштабной турбулентности требует значительного подвода энергии. Необходимо отметить, что размеры такой гидродинамической зоны напрямую определяются скоростью и давлением движущейся в системе трубопроводов гидропривода рабочей жидкости.

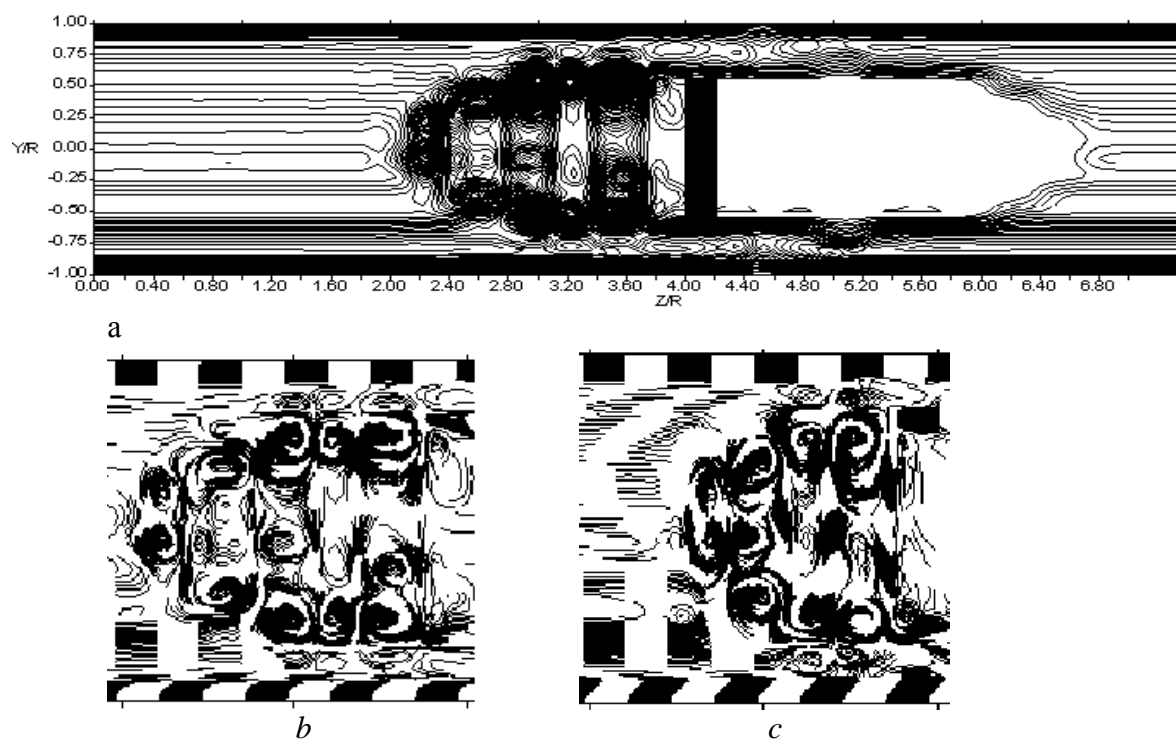


Рис. 2 Изолинии трехмерного поля завихренности в горизонтальной плоскости расчетного объема при обтекании диска. Степень асимметрии диска относительно оси симметрии расчетной области составляет 1 %. Поток движется слева направо. а – вся расчетная область при  $t=378,7$  сек.  $Re=500$ ; б – вихревая область перед диском при  $t=378,7$  сек.  $Re=500$ ; в – вихревая область перед диском при  $t=17$  сек.  $Re=10^4$

Аналогичный результат по возникновению вихревой зоны перед лобовой поверхностью обтекателя был получен и при проведении натурных экспериментальных работ. Так, на рисунке 3 для различных моментов времени показана такая зона перед обтекателем, выполненным в форме куба. Необходимо отметить, что подобный эффект у дисковых обтекателей является наиболее сильно выраженным при углах поворота от 0 до  $30^\circ$  (отсчет производится от вертикального положения).

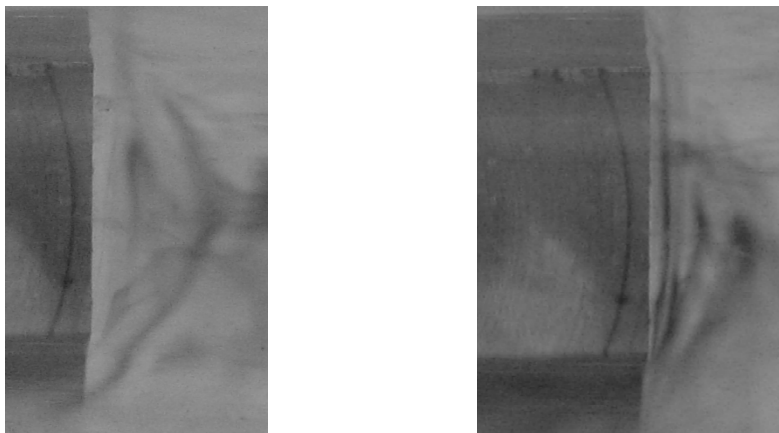


Рис. 3. Визуализация процесса движения ограниченного потока вблизи куба в различные моменты времени.  $Re=1951$ . Поток двигается справа налево

Степень перекрытия потока также является одним из факторов, который оказывает влияние по получаемый эффект. Анализ результатов выполненных экспериментов позволяет говорить о том, что минимальное значение отношения диаметра цилиндрической рабочей камеры к диаметру дискового обтекателя должно находиться в пределах  $0,6$ .

Необходимо отметить, что возникающий в ходе гидродинамического взаимодействия потока рабочей жидкости с обтекателем эффект отбора энергии характеризуется ярко выраженной нестационарностью. При этом пик отбора энергии всегда происходит в момент зарождения вихревой зоны.

Таким образом, на основании результатов, которые были получены в ходе выполненных научно-исследовательских работ, можно сформулировать следующие выводы:

1. За счет использования гидродинамических процессов, возникающих при взаимодействии потока рабочей жидкости с обтекателями возможно получение эффекта полного гашения инерционного напора. Подобный результат может быть использован для повышения качества работы и управления судовыми системами гидропривода.

2. Интенсивность вихревой зоны, возникающей вблизи гасителя энергии потока, напрямую зависит от его пространственного расположения по отношению к стенкам рабочей камеры. Максимальный эффект достигается при небольших углах отклонения от его вертикального положения.

**Список литературы:** 1. Сторожев В.П. Механические передачи. – К.: Алерта, 2005. – 786 с. 2. Малахов А.В. Гидромеханика ограниченных потоков. Одесса: Астропринт, 1999. – 204 с. 3. Калуев А.Г. Использование конических обтекателей в системах топливоподготовки судовых дизелей. // Судовые энергетические установки. Науч.-техн.сб.- Вып.10.-Одесса: ОНМА,2004. с 47-59. 4. Яненко Н. Н. Метод дробных шагов решения многомерных задач математической физики. – Новосибирск: Наука, 1966. 225 с. 5. Яненко Н. Н. Метод дробных шагов решения многомерных задач математической физики. – Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1967. 195 с.

Сдано в редакцию 22.05.06  
Рекомендовано д.т.н., проф. Михайлов А.Н.