

## КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВОРОТНОГО УЧАСТКА ЗЕМСНАРЯДА

**Хвитько К.В., Качанов И.В., Шаталов И.М.,  
Щербакова М. К., Скачко А.А.**

Белорусский национальный технический университет,  
Минск, Беларусь

Для проверки теоретических предположений о гидродинамике перекачиваемой пульпы на поворотных участках пульпопровода земснаряда, на кафедре ГЭСВТГ БНТУ было проведено предварительное компьютерное моделирование поворотных участков (колена с углом поворота на  $90^\circ$ ) трубы пульпопровода с различными поперечными сечениями круглой, прямоугольной и овальной.

Компьютерное (численное) моделирование поворотных участков пульпопроводов земснаряда различной формы поперечного сечения и разработка твердотельной их модели проводились в прикладном программном пакете «Solid Works», а моделирование течения несжимаемой вязкой жидкости в поворотных участках пульпопровода было проведено на базе математического пакета «Cosmos Fleo Works».

Для проведения компьютерного моделирования течения рабочей жидкости внутри проточной части различной формы поперечного сечения поворотного участка пульпопровода, также была создана обобщенная имитационная математическая модель течения несжимаемой вязкой жидкости на основе уравнений Навье-Стокса.

$$\frac{\partial V_i}{\partial t} + V_k \frac{\partial V_i}{\partial x_k} = F_i - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + V \cdot \nabla^2 \cdot V_i,$$

в этом уравнении  $\frac{\partial V_k}{\partial x_k} = 0$  ( $i, k = 1, 2, 3$ ).

Результаты компьютерного моделирования представлены на рисунках 1, 2, 3.

Круглое поперечное сечение

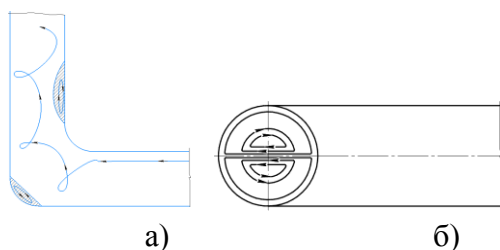


Рисунок 1 – Схема формирования парного вихря в колене пульпопровода земснаряда круглого поперечного сечения

а) образование «парного вихря» на поворотном участке; б) схема «парного вихря» в колене пульпопровода с углом поворота на  $90^\circ$ ;

### Прямоугольное поперечное сечение

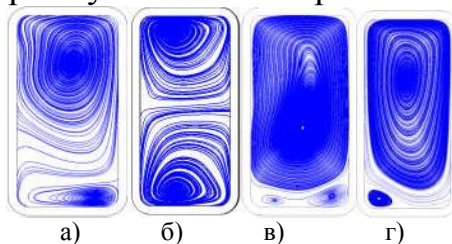


Рисунок 2 – Схема формирования «парного вихря» в колене пульпопровода земснаряда прямоугольного поперечного сечения

а) на входе в колено; б) в наивысшей точке; в) на выходе из колена;  
г) в отводящей трубе

### Овальное поперечное сечение

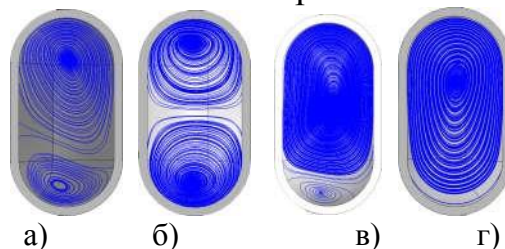


Рисунок 3 – Схема формирования «парного вихря» в колене пульпопровода земснаряда овального поперечного сечения

а) на входе в колено; б) в наивысшей точке; в) на выходе из колена;  
г) в отводящей трубе

Компьютерное моделирование позволило сделать следующие выводы:

Физическая сущность сопротивления в изогнутых гидравлических каналах (трубах) заключается в следующем. В изогнутых каналах (трубах) скорость движения жидкости изменяет свое направление, что сопровождается искривлением линий тока (поворот потока) и появлением центробежных сил, приводящих к тому, что по направлению от центра кривизны давление увеличивается, а скорость соответственно падает и, наоборот, по направлению к центру кривизны скорость возрастает, а давление падает. Поэтому в коленах и отводах при переходе жидкости из прямолинейного участка в изогнутый скорость вблизи внутренней стенки повышается (рисунок 1а), а давление соответственно уменьшается, т.е. возникает кофузорный эффект. Вблизи внешней стенки колена происходит обратное явление: скорость падает, а давление растет, т.е. возникает диффузорный эффект. Переход жидкости из изогнутой части в прямолинейный участок (после поворота потока) сопровождается противоположными явлениями: диффузорным эффектом вблизи внутренней стенки и кофузорным вблизи внешней стенки. Диффузорные явления приводят к соответствующему отрыву потока от обеих стенок. При этом отрыв от внутренней стенки усиливается стремлением потока по инерции двигаться прямолинейно – в данном случае – по направлению к внешней стенке.

Вихревая зона, возникающая вследствие отрыва потока от внешней стенки, незначительна: она заполняет только внешний угол поворота, не стесняя заметно сечения основного потока. Наоборот, отрыв от внутренней стенки приводит к интенсивному вихреобразованию, зона которого распространяется далеко за изгибом канала.

Помимо вихревых областей у внутренней и внешней стенок, в изогнутом канале возникает ещё так называемый «парный вихрь». Появление этого вихря обуславливается наличием пограничного слоя и соответственно – ядра потока с максимальными скоростями. Это ядро, стремясь в изогнутом канале двигаться по инерции в направлении к внешней стенке, т.е. к стенке, расположенной дальше от центра кривизны канала, в силу неразрывности движения заставляет более медленные слои жидкости в пограничном слое двигаться вблизи обеих боковых стенок в сторону внутренней стенки поворота, т.е. к стенке, расположенной ближе к центру кривизны канала, в результате чего в поперечном сечении канала возникают два вихря (рисунок 1,2,3).

Вторичные токи, создаваемые «парным вихрем», налагаются на главный поток, параллельный оси канала, и в результате придают линиям тока винтообразную форму, которая распространяется на прямой участок за изгибом и исчезает весьма медленно на большой длине. Практически закручивание потока заканчивается на длине  $10\div 15$  калибров.

Анализ результатов компьютерного моделирования колен с круглым и прямоугольным поперечным сечением показал, что минимальным моментом инерции обладает круговое сечение вихря, к тому же круговое сечение имеет не плоскость, а линию контакта вихрей, что в свою очередь существенно снижает гидравлическое сопротивление колена в целом.

В связи с этим основной формой поперечного сечения была выбрана овальная форма с соотношением меньшей оси к большей 1:2 (как у прямоугольной формы), причем большая ось овала была направлена вдоль оси кривизны колена.

Компьютерное моделирование такого колена выявило, что соотношение малой и большой осей 1:2 не является оптимальным, так как парный вихрь сохраняет ярко выраженную сплюсненную форму (рисунок 1). Это явление можно полностью или почти полностью устранить, увеличив соотношение осей овала до 1:3 или 1:4, сохраняя направление большей оси вдоль кривизны колена. Следует отметить, что у овальной формы поперечного сечения отсутствуют угловые локальные вихревые течения, что является преимуществом по сравнению с прямоугольным сечением.

К тому же применение овальных сечений с соотношением малой к большей осей 1:3 или 1:4 позволит придать «парному вихрю» круговую форму с минимальным моментом инерции и линией (а не плоскостью) контакта парного вихря, что позволит снизить гидравлическое сопротивление от 1,5 до 2 раз по нашему предположению.