

## О модернизации поворотного участка пульпопровода землесосного снаряда

Хвитько К. В., Качанов И. В., Шаталов И. М., Кособуцкий А. А.  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*В статье представлены результаты компьютерного моделирования поворотного участка нагнетательной трубы землесосного снаряда с различной формой поперечного сечения и выбрана оптимальная, овальная форма поперечного сечения поворотного участка нагнетательной трубы.*

В настоящее время в Республике Беларусь эксплуатируется около 30 земснарядов, которые постоянно сталкиваются с проблемой низкой производительности и энергоэффективности из-за износа и существенного увеличения гидравлического сопротивления нагнетательной трубы грунтового насоса земснаряда, особенно его фасонных элементов. К фасонным элементам обычно относят: переходники, тройники и поворотные участки нагнетательной трубы (рис. 1) [1].



Рис. 1. Земснаряд для дноуглубительных работ и добычи речного песка с поворотным участком пульпопровода

На кафедре ГЭСВТГ БНТУ был разработан инновационный отечественный способ повышения производительности и энергоэффективности земснаряда путем улучшения гидродинамики перекачиваемой пульпы различного гранулометрического состава на поворотных участках пульпопровода, применяя на этих участках овальную форму поперечного сечения трубы пульпопровода (рис. 2).

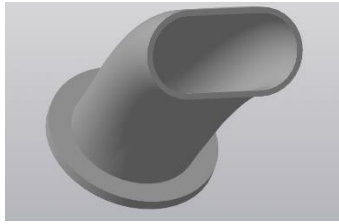


Рис. 2. 3D-модель предложенной (овальной) формы поперечного сечения поворотного участка

Использование овальной формы поперечного сечения трубы пульпопровода на поворотных участках позволит существенно (примерно в 1,5 раза) снизить гидравлическое сопротивление поворотного участка (колена) пульпопровода и потери механической энергии (напора) при перекачке пульпы, что в свою очередь приведет к увеличению производительности и энергоэффективности работы земснаряда в целом на 20–30 %, а также попутно и снижению абразивного износа.

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

Компьютерное моделирование поворотных участков и разработка их твердотельной модели проводились в прикладном программном пакете «Solid Works», а моделирование течения несжимаемой вязкой жидкости в поворотных участках нагнетательной трубы было проведено на базе математического пакета «Cosmos Fleo Works».

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

$$\vec{F} - \frac{1}{\rho} \text{grad}p = \frac{d\vec{u}}{dt} - \nu \nabla^2 \vec{u}.$$

Совместно с уравнением Навье-Стокса рассматривалось уравнение неразрывности в виде

$$\frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial u_z}{\partial z} = 0.$$

Результаты компьютерного моделирования представлены на рис. 3–5.

### Круглое поперечное сечение

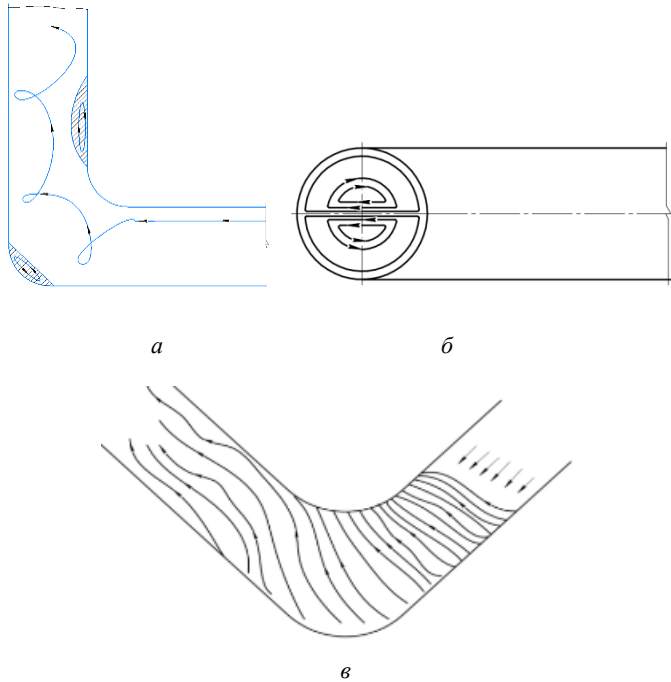


Рис. 3. Схема формирования «парного вихря» в круглом поперечном сечении трубы земснаряда:

*a* – образование продольного вихревого течения на поворотном участке круглого поперечного сечения; *б* – «парный вихрь» в колене круглого поперечного сечения; *в* – абсолютные линии тока в колене круглого поперечного сечения

### Прямоугольное поперечное сечение

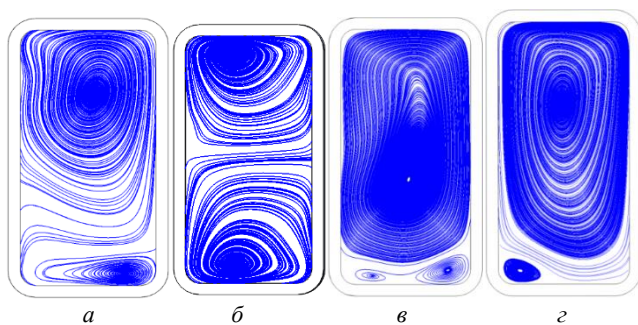


Рис. 4. Схема формирования «парного вихря» в прямоугольном поперечном сечении трубы земснаряда:  
*a* – на входе в колено; *б* – в наивысшей точке;  
*в* – на выходе из колена; *г* – в отводящей трубе

### Овальное поперечное сечение

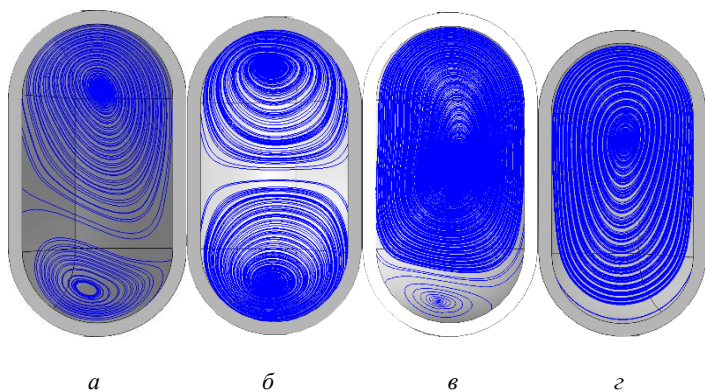


Рис. 5. Схема формирования «парного вихря» в овальном поперечном сечении трубы земснаряда:  
*a* – на входе в колено; *б* – в наивысшей точке;  
*в* – на выходе из колена; *г* – в отводящей трубе

Компьютерное моделирование показало, что на поворотном участке трубы (колена с углом поворота  $90^\circ$ ) появляются продольное винтовое течение и поперечное винтовое течение в виде «парного вихря», которые существенно увеличивают гидравлическое сопротивление этого участка и, как следствие, его износ. Кроме этого на величину гидравлического сопротивления колена трубы серьезное влияние оказывает форма его поперечного сечения [2; 3].

В колене круглого поперечного сечения «парный вихрь», как показало компьютерное моделирование, имеет форму двух сплюснутых круговых поверхностей с большой площадью поверхности контакта (рис. 3, 4), что может привести к увеличению гидравлического сопротивления колена в целом. К тому же такой «парный вихрь» имеет значительный по величине момент инерции, который также оказывает существенное влияние на величину потерь механической энергии на поворотном участке нагнетательной трубы земснаряда.

В колене прямоугольного поперечного сечения с соотношением сторон меньшей к большей 1:2, причем большая сторона направлена по нормали к оси кривизны колена, как и в колене круглого сечения происходит постепенное формирование «парного вихря» от входа, к наивысшей точке и к выходу (рис. 4).

Но в этом случае две части «парного вихря» вытягиваются вдоль большей оси прямоугольного сечения и площадь поверхности их контакта значительно уменьшается (в 1,2–1,3 раза), что может привести к снижению гидравлического сопротивления.

Однако, компьютерное моделирование показало, что прямоугольная форма поперечного сечения не является оптимальной, так как у «парного вихря» сохраняется плоскость контакта вихрей и в углах прямоугольного сечения появляются локальные вихревые течения. К тому же сохраняется довольно большое значение момента инерции «парного вихря».

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 может привести к снижению гидравлического сопротивления колена в целом.

Обобщая вышеизложенное, можно прийти к выводу, что основной формой поперечного сечения может быть выбрана овальная форма с соотношением меньшей оси к большей 1:2 (как у прямоугольной), причем большая ось овала направлена по нормали к оси кривизны колена.

Компьютерное моделирование такого колена показало, что соотношение малой и большой осей 1:2 не является оптимальным, так как «парный

вихрь» сохраняет ярко выраженную сплюснутую форму (рис. 5). Это явление можно полностью или почти полностью устранить, увеличив соотношение осей овала до 1:3 или 1:4, сохраняя направление большей оси по нормали к оси 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.

Сравнительный анализ результатов проведенного компьютерного моделирования показал, что наиболее оптимальной формой поперечного сечения поворотного участка (колена) нагнетательной трубы земснаряда с углом поворота  $90^\circ$  является овальная форма с соотношением малой и большой осей 1:3 или 1:4, причем большая ось кривизны должна быть направлена по нормали вдоль оси кривизны колена.

### Литература

1. Шкундин, Б. М. Землесосные снаряды: учебн. пособие / Б. М. Шкундин. – М.: Энергия, 1973. – 272 с.
2. Математическая модель движения огнетушащей жидкости в проточном тракте лафетного ствола с винтовой структуризацией потока / И. В. Качанов [и др.] // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2013. – № 2. – С. 156–164.
3. Теоретические и компьютерные исследования дальнобойного пожарного лафетного ствола при ликвидации чрезвычайных ситуаций на объектах промышленного и гражданского назначения / И. В. Качанов [и др.] // Проблемы управления речными бассейнами при освоении Сибири и Арктики в контексте глобального изменения климата планеты в XXI веке: сборник докладов XIX Международной научно-практической конференции, Тюмень, 17 марта 2017 г.: в 3 т. / Тюменский государственный университет; редкол.: А. Б. Храмцов (отв. ред.) [и др.]. – Тюмень, 2017. – Т. 1. – С. 59–64.