

## СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ КОРПУСА СУДНА

*Бутько Е.В., Буглак М.Ю., Сокол В.А.*

*Белорусский национальный технический университет*

Снижение энергозатрат и повышение скорости движения судов является весьма актуальной и важной технической проблемой, разрешение которой на современном этапе позволяет существенно повысить эффективность использования речных судов. Довольно перспективным для этих целей является использование растворов гидродинамически активных веществ.

Одним из наиболее широко используемых методов снижения гидравлического сопротивления является подача на корпус растворов гидродинамически активных веществ, снижающих коэффициент гидравлического трения. Наиболее дешевыми и широко применяемыми веществами является полиакриламид (ПАА) и полиэтиленоксид (ПЭО) (Рисунок 1), являющиеся высокомолекулярными веществами, широко применяемыми в современной технике не только для снижения гидравлического сопротивления, но и в качестве флокулянтов, используемых для осаждения мелкодисперсных твердых частиц в суспензиях. Оба указанных вещества выпускаются современной промышленностью как в виде гелей, так и в виде твердых частиц. Наиболее широкое распространение получили вещества, применяемые в виде твердых частиц.



Рис. 1 - Гидродинамически активные материалы (ГАМ)

Приготовление растворов полиакриламида и полиэтиленоксида является достаточно сложной технической проблемой. При соприкосновении частицы с водой на ее поверхности образуется оболочка геля. Для предотвращения слипания отдельных частиц между собой с целью недопущения образования комьев, которые в дальнейшем практически не растворяются, необходимо процесс растворения совмещать с интенсивным перемешиванием. Для приготовления растворов ГАМ наиболее часто процесс растворения осуществляют в имеллерных мешалках.

Снизить гидравлические потери можно с помощью безреагентных и реагентных методов.

Безреагентные методы включают в себя:

- а) введение в пограничный слой газовых пузырьков;
- б) создание на обтекаемых жидкостью поверхностях нерастворимых гидрофильных или гидрофобных покрытий;
- в) технологические и конструкторские приемы.

Реагентные методы снижения гидравлических потерь включают в себя:

- а) растворение гидродинамически активных веществ непосредственно в пограничном слое;
- б) введение в пограничный слой заранее приготовленных растворов гидродинамически активных веществ.

Наиболее простым способом интенсификации растворения является увеличение скорости вращения вала импеллера, благодаря чему повышается скорость движения потока в жидкости в емкости мешалки. Однако при увеличении частоты вращения вала необходимо иметь в виду, что одновременно с увеличением скорости движения потока приготавливаемого раствора увеличивается величина касательных напряжений, воздействующих на молекулы ГАМ, в результате чего происходит их деструкция, т.е. макромолекула большого размера разрушается на несколько молекул с более короткой цепочкой. При этом эффективность воздействия вещества на раствор существенно понижается, поэтому увеличивать частоту вращения импеллера мешалки необходимо столько лишь до того значения, при котором начинает проявляться деструкция макромолекул. Это явление необходимо контролировать в процессе разработки и исследования всех конструкций импеллера.

Интенсивность растворения может быть также повышена за счет резкого периодического изменения скорости движения частиц ГАМ по трубопроводу, что может быть достигнуто путем использования труб с изменяющейся площадью поперечного сечения. В качестве такого трубопровода можно применять трубы Вентури, последовательно расположенные друг за другом. На рисунке 2 показана формула определения центробежного числа Рейнольдса, критерия интенсивности перемешивания суспензии.

Интенсивность перемешивания суспензии в аппаратах с мешалками определяется центробежным критерием Рейнольдса:

$$Re_{ц} = \frac{\rho \cdot n \cdot d^2}{\mu}$$

где  $\rho$  – плотность перемешиваемой среды;  
 $n$  – частота вращения импеллера мешалки;  
 $d$  – диаметр лопастей импеллера мешалки;  
 $\mu$  – динамический коэффициент вязкости.

Рис. 2 – Формула определения числа Рейнольдса

Эффективность растворения может быть также повышена за счет воздействия на растворяемый материал ультразвука. Ультразвуковые колебания ускоряют процесс растворения и снижают энергетические затраты, связанные с получением растворов ГАМ.

Все известные устройства и методы воздействуют на интенсивность растворения за счет пульсаций скоростей и связанных с ними давлений. При этом необходимо иметь в виду, что возникновение деструкции недопустимо, т.к. приводит к резкому снижению эффективности действия веществ. На рисунке 3 представлены пульсации давления для лопастных импеллеров 1, 2, 5. На рисунке 4 - схема установки для измерения пульсаций давления.

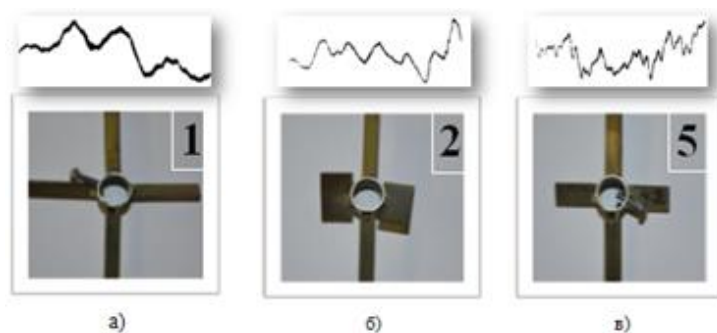


Рис. 3 – Пульсации давления для лопастных импеллеров  
 а - равновеликие лопасти (импеллер 1);  
 б – разновеликие лопасти без перфораций (импеллер 2);  
 в – разновеликие перфорированные лопасти (импеллер 5).

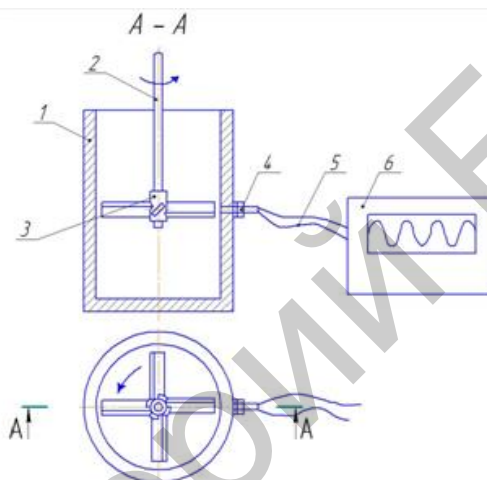


Рис. 4 – Схема установки для измерения пульсаций давления:  
 1 – ёмкость; 2 – вал мешалки; 3 – импеллер; 4 – датчик; 5 – провода; 6 - осциллограф

Одним из возможных вариантов интенсификации процесса растворения является также использование кавитации. Однако процесс кавитации также вызывает деструкцию макромолекул.

Одним из путей создания пульсаций скоростей и давлений является периодическое изменение частоты вращения вала мешалки, сопровождающееся периодическим увеличением или понижением скорости движения жидкой фазы в емкости мешалки и соответственно давления в потоке. Однако эксплуатация мешалки в таком режиме приводит к быстрому выходу из строя приводного двигателя в мешалке. Проведенные ранее исследования устанавливают, что выполнение поперечных вырезов на лопастях способствует повышению частоты пульсаций давлений и интенсифицируют процесс растворения, тем самым снижая энергозатраты. На рисунке 5 представлены конструкции импеллеров, интенсифицирующих процесс, разработанных на кафедре «Кораблестроение и гидравлика» и представляющих собой импеллеры с равновеликими лопастями, на кромках которых выполнены вырезы, что существенно интенсифицирует процесс растворения ГАМ. Разработанные конструкции импеллеров позволяют создать пульсации скоростей и давлений при постоянной угловой скорости вращения вала. Эффект достигается за счет использования лопастей разных диаметров. Благодаря этому, в соответствии с формулой рис.2 каждая лопасть обеспечивает движение потока с разными скоростями. При этом площади поверхности всех лопастей одинаковы.



Рис. 5 – исследуемые импеллеры:

- 1 – стандартный четырехлопастный импеллер;
- 2 – импеллер с разновеликими лопастями; 3 – эквивалентный импеллер;
- 4 – разновеликий импеллер с вырезами на коротких лопастях;
- 5 – разновеликий импеллер с вырезами на кромках и торцах длинных лопастей;
- 6 – разновеликий импеллер с вырезами на кромках всех лопастей

Приготовление исходных растворов ГАМ из порошкообразного полиакриламида осуществляется с помощью мешалок, представленных на рисунке 6.



Рис. 6 – Мешалки для приготовления раствора полимера

Эффективность растворения можно контролировать путем измерения вязкости раствора. Эксперименты показали, что длительность растворения оказывает существенное влияние на коэффициент гидравлического трения. График зависимости вязкости от длительности растворения изображен на рисунке 7.

Установлено, что кинематический коэффициент вязкости сильно зависит как от частоты вращения импеллера, так и от числа Рейнольдса (Рисунки 8,9).

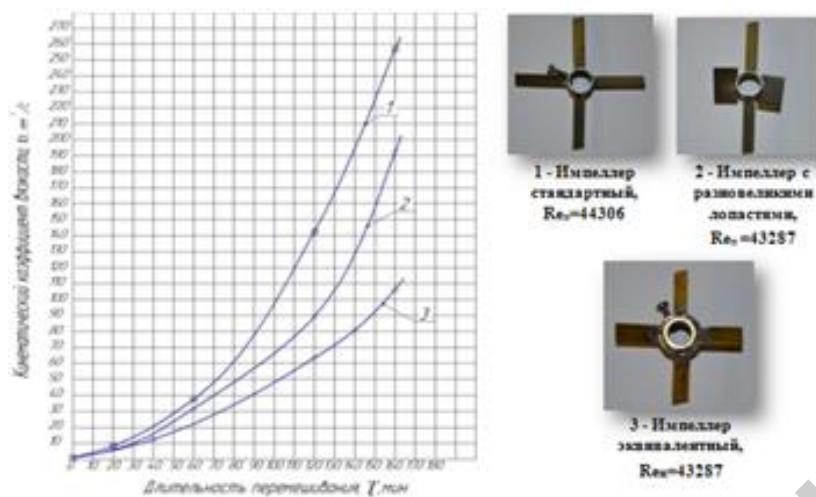


Рис. 7 – Влияние длительности растворения на вязкость  
 1 – импеллер стандартный; 2 – импеллер с разновеликими лопастями;  
 3 – импеллер эквивалентный

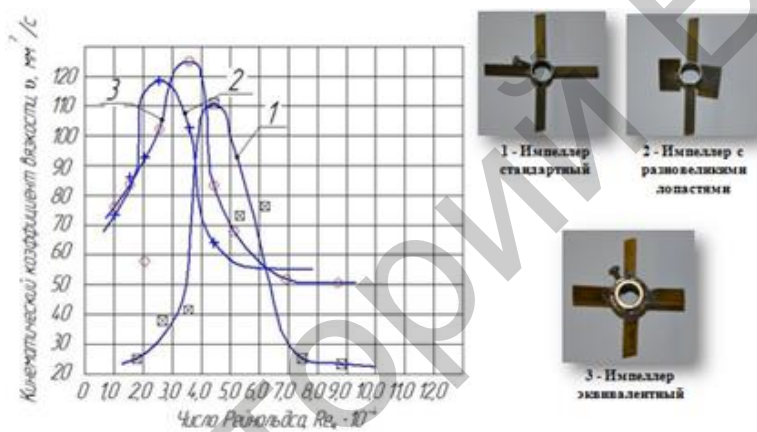


Рис. 8 – Зависимость вязкости от числа Рейнольдса  
 1 – импеллер стандартный; 2 – импеллер с разновеликими лопастями; 3- импеллер эквивалентный (длительность перемешивания 90 минут)

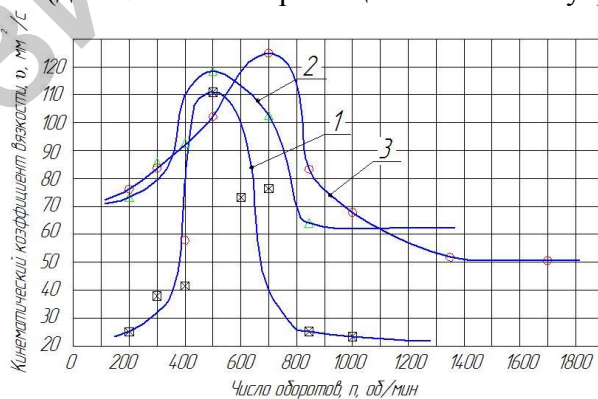


Рис. 9- Зависимость вязкости от частоты вращения  
 1 – стандартный четырёхлопастной импеллер;  
 2 – импеллер с разновеликими лопастями;  
 3 – эквивалентный импеллер

### **Вывод**

Были разработаны и изготовлены новые высокоэффективные импеллеры с различной конструкцией лопастей, существенно интенсифицирующие процесс растворения. Созданные варианты импеллеров позволяют не только повысить качество раствора, но и снизить энергоёмкость процесса растворения. Установлено также, что за счет подачи качественного раствора гидродинамически активных веществ на корпус судна, резко снижается гидравлическое сопротивление между корпусом и жидкостью, в которой он движется, в результате чего снижаются затраты энергии на его передвижение.

Репозиторий БНТУ