

Ю.Г. Абросимов, Хоанг Зань Бинь (Вьетнам)  
(Академия Государственной противопожарной службы МЧС России,  
e-mail: info@academygps.ru)

## ЭФФЕКТ АНОМАЛЬНОГО СНИЖЕНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРИ ВВЕДЕНИИ В ПОТОК ВОДЫ ЛИНЕЙНЫХ ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ ПОЛИМЕРОВ

В статье рассмотрено влияние полимерных добавок в поток воды на структуру потока и снижение гидравлического сопротивления. Показано, что эффект может быть использован для снижения трения воды при турбулентном течении в трубах и шлангах; улучшения параметров центробежных насосов, снижения энергетических затрат при тушении пожаров и повышения эффективности тушения. Обосновывается необходимость дальнейших исследований.

Ключевые слова: гидравлическое сопротивление, аномальное снижение, полиакриламид, полиэтиленоксид, турбулентное течение.

Yu.G. Abrosimov, Hoang Zan Binh (Vietnam)  
THE EFFECT OF THE ANOMALOUS REDUCTION  
OF HYDRAULIC RESISTANCE IS INTRODUCED  
INTO THE FLOW OF THE WATER LINE OF HIGH-POLYMER

In article it is considered influences of polymeric additives in a water stream on structure of a stream and decrease in hydraulic resistance. Be shown that effect can it is used for decrease in a friction of water at a turbulent current in pipes, hoses; for improvement of parametres of centrifugal pumps and for decrease in power expenses at suppression of fires and increases of efficiency of suppression. Necessity of the further researches is proved.

Key words: hydraulic resistance, abnormal decrease in resistance (ACC) polyacrylamide (PAA), polyetilehocitde (PEO); a turbulent current.

Проведенные в последние годы систематические исследования в Институте механики МГУ, ВНИИПО МЧС России и других организациях свидетельствуют о возможности значительного уменьшения гидравлического сопротивления в трубах при введении в жидкость малых концентраций полимерных добавок. Экспериментально исследована гидравлика "скользящей воды" в пожарных рукавах и технических трубах, аналитически описан закон сопротивления при течении разбавленных в воде растворов линейных полимеров, разработана система дозирования полимеров.

Так как вязкость этих растворов, измеренная обычными вискозиметрами, несколько выше, чем у чистого растворителя, тот факт, что происходит снижение турбулентного трения, требует объяснения с позиции гидромеханики.

Экспериментально установлено, что незначительное содержание в воде линейных высокомолекулярных полимеров (полиакриламида (ПАА), полиэтиленоксида (ПЭО)) при турбулентном течении ведет к аномальному

снижению гидравлического сопротивления труб (АСС).

Для объяснения обнаруженного эффекта были проведены исследования, основные результаты которых сводятся к следующему. Измерение профиля осредненных скоростей показало утолщение ламинарного пограничного подслоя, что способствует гашению турбулентных пульсаций. Причем эффект лучше наблюдается в трубах малого диаметра, поскольку в них пограничный слой составляет большую часть полного потока. В развивающемся пограничном слое происходит уменьшение образования мелких вихрей.

Перспективной областью применения полимеров и сополимеров является использование их в качестве агентов, снижающих гидравлическое сопротивление жидкостей при движении в турбулентном режиме (эффект Томса). Турбулентное течение возникает в пограничных слоях около движущихся в жидкости в трубах и струях твердых тел. При введении малых добавок (0,0001 %) высокомолекулярных полимеров в пристенный слой уменьшается турбулентность и гидравлическое сопротивление. При этом, чем больше молекулярная масса (ММ) и размеры макромолекул в растворе, тем больше они снижают турбулентность в пристенном слое. Применение растворов ПАА в этом качестве позволяет стабилизировать буровые растворы при нефтедобыче и газодобыче, увеличить скорость проходки пород при бурении скважин и снизить мощность силовых установок. Этот эффект используют при быстрой перекачке по трубам в турбулентном режиме течения нефтепродуктов, эмульсий и водных суспензий. В пожарной технике этот эффект можно использовать для повышения дальности выброса струи воды из стволов.

Введение ПАА или ПЭО используется для увеличения скорости движения судов и подводных лодок, когда в носовой части судна водные растворы полимеров впрыскиваются в воду.

Известны следующие методы снижения сопротивления трения: замена при данном числе Рейнольдса  $Re$  турбулентного течения в пограничном слое ламинарным (ламинаризация потока), для которого характерно меньшее сопротивление трения; изменение физических свойств жидкости и поверхности обтекаемого тела; уменьшение смоченных поверхностей. Ламинаризация пограничного слоя достигается приданием телу формы, которая обеспечивает более равномерное распределение давления по его длине, повышающее устойчивость ламинарного течения в пограничном слое до  $Re = (3 \div 5) \cdot 10^5$ . При больших числах  $Re$  ламинаризация потока обеспечивается отсасыванием жидкости внутрь обтекаемого тела через его пористую поверхность (распределенный отсос) либо через отдельные щели (дискретный отсос). Отсасывание уменьшает толщину пограничного слоя и изменяет эпюру его скоростей, что способствует сохранению ламинарного течения (снижение сопротивления трения на 60-70 %).

Изменение физических свойств жидкости достигается [9]:

- введением в пограничный слой растворов полимеров – полиэтиленоксидов, полиакриламидов и др., отличающихся большой относительной молекулярной массой (до  $6 \cdot 10^6$ ) и малой долевой концентрацией по массе (порядка  $5 \cdot 10^{-6} \div 10 \cdot 10^{-6}$  кг/кг). Эти вещества с молекулами в виде длинных цепей способствуют частичному гашению турбулентности в пристенной области слоя (снижение сопротивления трения на  $60 \div 80$  %) [4, 6, 7];

- применением поверхностно-активных веществ (натриевых и алюминиевых мыл с долевой концентрацией по массе порядка  $10^{-2} \div 10^{-3}$  кг/кг), влияющих на силы поверхностного натяжения и изменяющих молекулярную структуру потока (снижение сопротивления трения на  $30 \div 60$  %);

В 1948 г. Б. Томс (Англия) установил, что при добавлении в воду полимерной добавки трение между турбулентным потоком и трубопроводом значительно снижается [3].

Сам Томс работал с полиметилметакрилатом, растворенным в монохлорбензоле. В последующие годы ученые и изобретатели в различных странах нашли много других присадок, работающих еще более эффективно. Практическое применение эффекта Томса весьма разнообразно: по традиции "смазывают" различными присадками трубопроводы, "смазывают" полимерами морские и речные суда, напорные колонны глубоких скважин и т.д.

Указанное явление, открытое почти полвека назад английским химиком Томсом, вызывает теоретический и практический интерес по следующим причинам. Во-первых, изучение механизма эффекта Томса - снижения гидравлического сопротивления турбулентных потоков - приближает к пониманию процесса возникновения, генерации и диссипации турбулентности. Во-вторых, использование возможности решения энергосберегающих проблем в технологических процессах энергоемких объектов, в частности, транспортировки энергоносителей по магистральным трубопроводам.

Особенности механизма эффекта Томса определяют необходимость поиска связи между физико-химическими свойствами растворенных полимерных макромолекул и изменениями гидродинамических характеристик турбулентного потока.

Проведены исследования влияния полиакриламида на константу турбулентности в полуэмпирической теории Прандтля.

Формула Прандтля-Никурадзе для гидравлически-гладких труб имеет вид [5]:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = \frac{0,8}{\kappa} \lg \left( Re \frac{1}{\sqrt{\lambda}} \right) - 0,8.$$

где  $\lambda$  – коэффициент гидравлического трения;  $Re$  – число Рейнольдса.

Для воды константа турбулентности в полуэмпирической теории Прандтля  $k = 0,4$  [5].

Измерение профиля скоростей в прямоугольном канале [5] и гидрав-

личные опыты (трубы с технической шероховатостью) [6] показали, что при течении воды с полимерными добавками константа может иметь значение менее 0,1.

Величина константы  $k$  определяется по тангенсу угла наклона прямой в координатах  $\frac{1}{\sqrt{\lambda}}$ ;  $\lg\left(Re \frac{1}{\sqrt{\lambda}}\right)$ .

Физически эта величина выражает длину свободного пробега турбулентных вихрей - по аналогии с длиной свободного пробега молекул в ламинарном потоке.

При практическом применении ПАА имеет преимущество перед ПЭО. Молекулярная масса ПАА, следовательно и эффективность снижения трения, в несколько раз выше, чем у ПЭО; макромолекулы ПАА в растворе более стойкие по отношению к деструкции (снижение эффекта), наступающей при турбулентном движении жидкости под действием касательного напряжения в пристенном слое.

Критические значения динамической скорости  $v^* = \sqrt{\frac{\tau}{\rho}}$  (см. [5]) при которых начинается интенсивная деструкция макромолекул ПЭО и ПАА: 10 см/с и 15 см/с соответственно [1, 2].

Известна паста ТУ 6-05-231-344-87, содержащая 29 % ПЭО (молекулярная масса 3 млн). При дозировании пасты в поток воды технически сложно создать нужную концентрацию (тысячные доли к объему воды) и растворить разбухшие частицы макромолекул ПЭО. Ничтожное количество добавки ПЭО, составляющей лишь 0,02 % по объему, во всасывающую линию пожарного насоса приводит к сильному снижению трения в пожарном рукаве, стволе, насосе, ведет к увеличению скорости струи воды до 100 % при выходе её из сопла. Это приводит к улучшению соплошности водяной струи, почти удваивает дистанцию выброса струй [8].

Германская фирма "Allgemine EleKtrizitats-Gesellschaft AEG-TelefunKen", работающая совместно с фирмой "ЮНИОН КАРБАЙД", разработала простой портативный аппарат для дозировки, который может перевозиться на любой пожарной машине или подключаться в любом месте пожарного трубопровода [3].

Использование добавки промышленного известкового "Праестол 650 ВС ММ 6 млн" в автоматических установках пожаротушения (концентрация полимера 0,02 %) повышает эффективность установок за счет увеличения вязкости воды (2-3 сст) и снижает при турбулентном режиме течения гидравлическое трение труб более чем в 3 раза [8].

Таким образом, для снижения энергозатрат и повышения эффективности тушения пожаров применение растворов с малой концентрацией полимерных добавок позволит:

- использовать рукава меньшего диаметра;
- увеличить длину пожарной струи и эффективность тушения;

- улучшить характеристики центробежного насоса.

Выполненные исследования показали эффективность использования полимерных добавок для снижения гидравлического сопротивления при течении воды в трубах и пожарных рукавах. Однако следует отметить, что результаты исследований справедливы только для использованных в них ПАА и во многом носят качественный характер и существенно расходятся в количественном отношении. Системы дозирования ПАА недостаточно отработаны, что сдерживает использование эффекта АСС. В настоящее время в России изготавливается полимер Проестол-2515 на основе ПАА (ТУ-2216-001-40910172-98) молекулярная масса, которого достигает 16 млн. Флокулянт "Проестол-2515" выпускается в виде порошка, при растворении которого в воде возникают следующие проблемы: при перемешивании порошка происходит слипание частиц, которые не растворяются; технически трудно получить концентрации более 0,2 % из-за образования при хранении крупных нерастворимых комков в связи с гигроскопичностью ПАА. Проблема дозирования несколько упрощается при использовании гелей – концентрированных растворов. Учитывая это можно сделать вывод, что целесообразно провести исследования влияния добавок водного геля "Проестол-2515" на снижение потерь напора в трубах и рукавных линиях, на увеличение радиуса действия компактных струй и повышение эффекта тушения с целью разработки рекомендаций по определению потерь напора, расчету дальности пожарных струй, изменению подачи и напора пожарных насосов.

#### Литература

1. Sellin K.H.T. Experiments with Polymer additives in long Pipeline. Proc. Int. Conf. Drag. Reduct., Cambridge, Cranfield, 1974, S.a., G 2/19- G 2/30.
2. Лебедев Н.М. Снижение гидравлического сопротивления труб с помощью добавок полиакриламида. Сб. Тр. МИИТ, № 521, 1976, 58 – 61.
3. Hydroquick System. AEG & Union Carbide (German & USA).
4. Toms B.A. First Intern. Congress Rheol. Amsterdam: Nort Holland Publ.– 1949. V.2. -135 p.
5. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. – М.: Наука, 1974.
6. Хабахпашева Е.М., Перепелица Б.В. Об особенности пристенной турбулентности в потоках воды с высокомолекулярными добавками. Инж. Физ. Журн., Т.18, № 6, 1970.
7. Лебедев Н.М. Повышение пропускной способности труб введением в поток воды полимерных добавок. Реф. дисс. на соискание учёной степени кандидат технических наук по специальности 05.14.09 "Гидравлика и инженерная гидрология". - М. 1978.
8. Экспресс-информация. Серия II, выпуск 2(85), ВНИИПО МВД СССР, 1979.
9. Интернет-журнал [www.korabel.ru](http://www.korabel.ru), № 3(2), 2008. Методы снижения сопротивления воды.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 9 февраля 2009 г.