

УДК 532.517.2

ПРИМЕНЕНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ДОБАВОК ПОЛИМЕРОВ И ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ В ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЯХ

А. Б. СТУПИН*, П. В. АСЛАНОВ*, А. П. СИМОНЕНКО**,
Н. В. БЫКОВСКАЯ*, С. А. ФОМЕНКО*

* Донецкий государственный университет, Украина,

** СКТБ "Турбулентность", г. Донецк, Украина

Получено 01.02.2000

Приведены результаты систематизации снижающих турбулентное трение добавок, композиций на их основе, освещены технологии их приготовления и применения в энергосберегающих технологиях, представлены основные закономерности снижения сопротивления в трубах и каналах. Показано, что повышение эффективности работы систем водяного пожаротушения, аварийной откачки воды, гидроструйного разрушения материалов, водяного тепло- и холодоснабжения гидротранспорта материалов могут стать классическими примерами применения снижающих турбулентное трение добавок.

Наведені результати систематизації домішок, що знижують турбулентне тертя, композицій на їхній основі, освітлені технології їх приготування і застосування в енергосберігаючих технологіях, подані основні закономірності зниження опору в трубах і каналах. Підвищення ефективності роботи систем водяного пожежегасіння, аварійної відкачки води, гідроструменевої руйнації матеріалів, водяного тепло- і холодопостачання гідротранспорта матеріалів можуть стати класичними прикладами застосування домішок, що знижують турбулентне тертя.

The results of systematization of both additives reducing turbulent friction and compositions on their basis are presented. It also deals with the technologies of their preparation and applications in energy-saving technologies, presenting the main regularities of drag reduction in pipes and channels are presented. The increase of the efficiency of work of the systems of water extinguishing, emergency evacuation of water, water jet cutting, water warm- and coldsupplies, of the hydrotransport of materials can become classical examples of the application of the additives, wich reduce turbulent friction.

ВВЕДЕНИЕ

Важным резервом экономии энергии может быть использование явления снижения гидродинамического сопротивления в проточных частях гидромашин, в трубопроводах, при внешнем обтекании тел. Наряду с другими известными способами, обеспечивающими значительное снижение сопротивления за счёт уменьшения турбулентного трения (создание податливых поверхностей, газонасыщение жидкости, тепловое воздействие и т.п.), введение микродобавок (при концентрации $C=0,001-0,1\%$) специальных веществ (высокомолекулярных полимеров - ВП и мицеллообразующих поверхностно-активных веществ -МПАВ) в поток жидкости является весьма перспективным.

В настоящей работе приведены результаты многолетних исследований по систематизации снижающих турбулентное трение добавок, композиций на их основе, разработке способов их приготовления и применения в энергосберегающих технологиях, определению основных закономерностей снижения сопротивления в трубах и каналах [1-22].

На основании проведенных исследований уста-

новлено, что, в зависимости от условий эксплуатации, добавки могут быть рекомендованы к использованию в виде концентрированных растворов, тонкодисперсных суспензий или эмульсий (жидкие полимерные композиции - ЖПК), брикетов (твёрдые полимерные композиции - ТПК), специальных порошков и др. При этом для каждого вида добавки рекомендуется применять специальное оборудование и оснастку, обеспечивающие оптимальное использование добавок. Повышение эффективности работы систем водяного пожаротушения, аварийной откачки воды, гидроструйного разрушения материалов, водяного тепло- и холодоснабжения гидротранспорта являются классическими примерами применения снижающих турбулентное трение добавок [11,12,14-20].

1. ДОБАВКИ ПОЛИМЕРОВ

1.1. Пожаротушение

Стендовые и полигонные испытания, проведенные авторами совместно со специалистами горноспасательной и противопожарной служб Укра-

Табл. 1. Различные виды реализации эффекта снижения сопротивления при использовании добавок полимеров

Наименование улучшаемого параметра	Величина эффекта снижения гидродинамического сопротивления, %			
	20	40	60	80
Увеличение длины трубопровода, к-во раз	1,25	1,67	2,5	5,0
Увеличение расхода пожаротушающей жидкости, к-во раз	1,12	1,29	1,58	2,24
Уменьшение внутреннего диаметра труб, %	4	10	17	28

Табл. 2. Влияние эффективности добавок полимеров на параметры системы пожаротушения

N/пп	Потери напора в подводящей линии, МПа	Расход огнетушащей жидкости, $10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$	Дальность струи, м
Огнетушащая жидкость - вода			
1	0,06	1,3	19
2	0,10	2,7	21
3	0,12	3,3	25
4	0,14	4,4	31
Огнетушащая жидкость - водный раствор полимера			
5	0,10	3,60	27
6	0,10	4,55	32
7	0,05	4,60	30
8	0,02	6,60	36
9	0,10	6,67	34

ины, показали, что в пожаротушающих жидкостях, приготовленных с помощью ЖПК или проточных кассет с ТПК (при концентрации добавок полимера 0,002-0,006 вес. %), в трубах и пожарных рукавах различных диаметров легко достигается снижение гидродинамического сопротивления на 70-80 %. При этом установлено, что в большей мере эффект проявляется на протяженных трубопроводах, имеющих длину 100 и более метров.

Такое существенное снижение гидродинамического сопротивления позволяет значительно улучшить работу противопожарных установок и других гидравлических систем различных конструкций. Возможные варианты использования явления снижения гидродинамического сопротивления в пожаротушении, достигаемый при этом результат, в зависимости от величины эффекта снижения гидродинамического сопротивления приведены в табл. 1.

В ходе проведенных полигонных испытаний установлено, что микродобавки полиэтиленоксида (ПЭО) и полиакриламида (ПАА), при указанных выше концентрациях, в 1,3-1,4 раза увеличивают дальность сформированных в проти-

вожарных стволах струй. Результаты полигонных испытаний приведены в табл. 2.

Особый интерес представляют исследования по влиянию микродобавок высокомолекулярных ПЭО и ПАА на огнетушащие свойства воды, водных растворов неионного поверхностно-активного вещества "Превоцелл" и фторированного поверхностно-активного вещества "Кубоксалим", широко применяемых в пожаротушении.

В качестве горящих материалов в испытаниях использовали шахтную транспортную ленту, рубероид, пенопласт, масляную краску, полистирол, керосин и т. д. Установлено, что введение в пожаротушающие жидкости 0,002-0,006 вес. % ПЭО или ПАА в 1,3-6,0 раз уменьшает время тушения испытуемых горящих материалов. Так, время тушения керосина уменьшается в 1,5-2,0 раза, а транспортёрной ленты - в 6 раз. Полученные результаты объясняются тем, что введение полимеров уменьшает испарение воды из пожаротушающей жидкости, а на поверхности горящего материала образуется высоковязкая жидкая плёнка, предотвращающая доступ кислорода из воздуха к поверхности горящего материала.

1.2. Гидроразрушение твёрдых пород

В различных отраслях промышленности Украины и других стран широко используется оборудование для разрушения твёрдых пород с помощью импульсных струй жидкости. Для расширения области применения гидроимпульсной техники возникает необходимость улучшить геометрические и динамические параметры струи. Традиционные пути улучшения этих показателей (увеличение диаметра формирующей струю насадка; повышение давления; выбор рациональной проточной части исполнительного органа) связаны с необходимостью внесения значительных изменений в конструкцию основных узлов и увеличением потребляемой оборудованием мощности.

При промышленном использовании гидроимпульсных машин также возникает необходимость снижения гидравлических потерь в трубопроводах подвода рабочей жидкости, поскольку в ряде случаев они могут достигать 25% от общих потерь. Важнейшей проблемой при использовании гидроимпульсной техники является уменьшение разрушающего действия струи в глухих отверстиях глубиной 0,2 - 0,3 и более метров, так как в этом случае взаимодействие ее с массивом материала приобретает характер "затопленной" струи, что резко снижает производительность гидроимпульсной машины.

Одним из способов повышения эффективности работы генератора импульсной струи (ГИС), без изменения его конструкции, может быть использование в качестве рабочей жидкости водных растворов гидродинамически активных веществ.

Нами проведены исследования по проверке эффективности использования струй с добавками полимеров путем разрушения гипсовых, вяжущих и из углецементной смеси блоков. Результаты этих исследований представлены на рис. 1, 2 и в табл. 3.

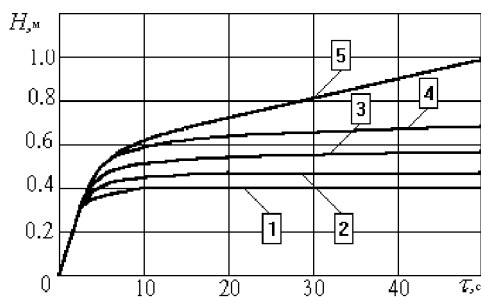


Рис. 1. Кривые изменения глубины пробиваемого в гипсовом блоке отверстия от времени воздействия струи

Кривая 1 на рис. 1 получена для водяной струи; кривые 2 и 3 - при применении струй, сформированных из заранее приготовленных однородных растворов ТПК с содержанием полимера (полиэтиленоксида-ПЭО) соответственно 0,002 и 0,004% по весу; кривые 4 и 5 соответствуют струям из растворов ТПК, приготовленных в кассетах, когда с момента первого контакта материала ТПК с водой прошло 25 минут и 4 часа соответственно. Начальное расстояние от среза насадка до поверхности гипсового блока в процессе испытаний было постоянным и равным 0,14 м.

Как следует из рис.1, импульсные струи, сформированные ГИС из заранее приготовленных однородных растворов ТПК, обладают более высокой разрушающей способностью. Однако глубина пробиваемого отверстия по сравнению с водой увеличилась незначительно. Это связано с механической деструкцией (разрушением) макромолекул ПЭО в насосной установке высокого давления УНГ. Следовательно, использование заранее приготовленного полимерного раствора нецелесообразно, а кассеты с ТПК для сохранения качества раствора необходимо устанавливать на участке высокого давления между УНГ и ГИС. Увеличение времени контакта материала ТПК с водой повышает эффективность разрушения гипсового блока (кривые 4 и 5 рис. 1). Это связано с повышенной массоотдачей ПЭО из брикета, приводящей к увеличению содержания гидродинамически-активного вещества в растворе.

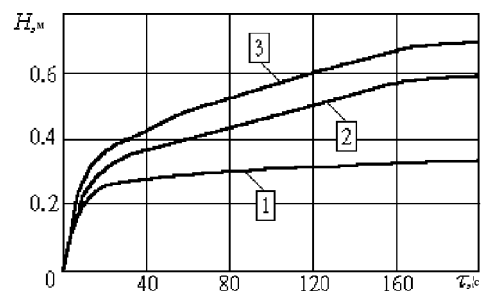


Рис. 2. Зависимость глубины пробиваемого отверстия в углещементном блоке с коэффициентом прочности по шкале М.М. Протодьяконова, равным 1,6, от времени воздействия струи

Кривая 1 на рис. 2 соответствует разрушению блока струей воды; кривые 2 и 3 - струями из растворов ТПК, приготовленными в двух кассетах. При этом кривая 3 относится к случаю, когда центр пробиваемого отверстия находился на удалении 0,35 м от бокового и верхнего ребер куба, а кривая 2 - к 0,5 м. Из приведенных данных видно, что если в качестве рабочей жидкости использо-

Табл. 3. Геометрические параметры пробиваемых отверстий при использовании растворов ТПК

Вода			Водный раствор ТПК		
τ , с	H, м	D, мм	τ , с	H, м	D, мм
10	0,19	75	10	0,34	45
20	0,22	75	20	0,37	45
30	0,22	75	30	0,49	48
40	0,22	75	40	0,56	48

вать водные растворы ТПК, то глубина пробиваемого отверстия в 1,5 - 3,5 раза (в зависимости от продолжительности работы ГИС) больше глубины отверстия, пробиваемого струей воды.

Особый интерес представляют результаты эксперимента по разрушению углицементного блока, у которого коэффициент прочности по шкале М.М. Протодьяконова равен 2,5. Этим опытом проверялась эффективность работы импульсных струй в условиях моделирования угольного пласта повышенной прочности. Установлено, что импульсные струи из воды и водных растворов ТПК пробивали в блоке за 60 секунд работы отверстия глубиной 0,22 и 0,71 м соответственно.

Дальнейшие испытания были направлены на определение глубины H и диаметра d пробиваемых отверстий в зависимости от времени работы ГИС τ . Результаты испытаний приведены в табл. 3, из которой видно, что импульсная струя воды к 20 секунде пробивает в блоке отверстие глубиной 0,22 м и дальнейшее воздействие струи не увеличивает глубину этого отверстия. В то же время при разрушении блока импульсной струей раствора ТПК глубина пробиваемого отверстия растет и к 40 секунде становится равной 0,56 м.

Результаты дополнительного эксперимента, имитирующего процесс гидродобычи угля (разрушение углицементного блока импульсными струями, перемещающимися с заданной скоростью вдоль грани блока), подтвердили повышенную эффективность струй из растворов ТПК. Так, глубина щели, образующейся в блоке после однократного прохода водяной струи, равна 0,19 м, а после прохода струи раствора ТПК - 0,34 м.

Проведенными экспериментами также установлено, что при использовании в качестве рабочей жидкости растворов ТПК уменьшается диаметр пробиваемого отверстия. Так, водяная струя образует в гипсовом блоке отверстие со средним диаметром 77 мм, а струя из раствора ТПК - 52 мм. Аналогичные результаты для углицементно-

го блока с коэффициентом прочности 2,5 соответственно равны 75 и 48 мм. Это связано с тем, что гидродинамически-активный полиэтиленоксид повышает не только эффективную дальность струй, но и их компактность.

Таким образом, использование в качестве рабочей жидкости водных растворов полиэтиленоксида, приготовляемого из ТПК в проточных кассетах, существенно улучшает эффективность работы ГИС без изменения его конструкции. При этом повышение эффективности достигается за счет увеличения глубины пробиваемого отверстия и расстояния от среза насадка до обрабатываемого блока, снижения гидравлических потерь в проточной части основных узлов генератора и подводящих трубопроводах.

1.3. Гидрорезание конструкционных материалов

Добавка в воду растворимых высокомолекулярных полимеров приводит также к увеличению производительности процесса резки различных конструкционных материалов высокоскоростными струями жидкости, расширению технологических возможностей струи как инструмента (возрастают глубина реза, скорость перемещения обрабатываемого материала относительно струи), т.е. увеличивает эффективность процесса гидрорезания.

В ходе проведенных нами работ по разработке гидроразрезного оборудования установлено, что разрушающая способность струи во многом зависит от строения молекул в полимерных растворах и его концентрации (см. рис. 3). Так, при обработке материала струей чистой воды и струей раствора ПЭО с давлением истечения 240 МПа и диаметром сопла 0,25 мм при скорости подачи материала 25 мм/с было отмечено, что глубина реза резко возрастает при увеличении концентрации ПЭО в воде и достигает максимума при $C = 0,05\%$, дальнейшее увеличение концентрации полимера роста эффективности обработки не вызывает. На рис. 4 приведены результаты эксперимента по разрезке листовых материалов (текстолит) водой (3), водными растворами ПАА с молекулярной массой $2 \cdot 10^6$ (1) и ПЭО с молекулярной массой $4 \cdot 10^6$ (2). Из представленных данных видно, что производительность гидрорезания возрастает (по сравнению с водой) при использовании полиэтиленоксида - на 22 - 30,5%, полиакриламида - на 25-35%. В целом, исследования по применению добавок полимеров в гидрорезании показали, что использование в качестве рабочих жидкостей

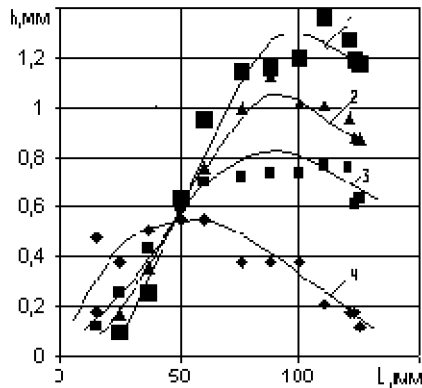


Рис. 3. Зависимость глубины среза материала (алюминия) от расстояния между его поверхностью и срезом сопла при различной концентрации полиэтиленоксида в воде (1 - 4 - $C = 0,05; 0,025; 0,0125$ и 0 % соответственно)

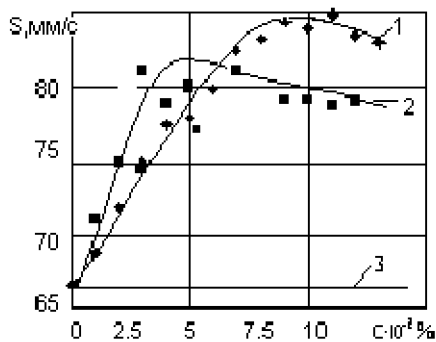


Рис. 4. Зависимость скорости подачи материала относительно струи от концентрации полимера

растворов высокомолекулярных полимеров - полиакриламида (ПАА) и полиэтиленоксида (ПЭО) – позволяет:

- увеличить расход рабочей жидкости за счёт снижения гидравлических потерь в подводящих трубопроводах в 1,2 - 1,6 раза;
- повысить стойкость сопел к износу при их эксплуатации и тем самым увеличить срок их службы;
- уменьшить ширину реза, что приводит к уменьшению работы на единицу его длины, снизит отходы материала и повысит "экологичность" процесса гидрорезания в целом;
- уменьшить (вплоть до полного исключения) содержание абразива в струе что существенно увеличивает ресурс работы гидроразрезного оборудования и уменьшает количество вторичных от-

ходов.

1.4. Гидротранспорт материалов

Введение в гипсовые и гипсоцементные растворы микродобавок высокомолекулярных водорастворимых полимеров позволяет, в зависимости от концентрации добавки, в широком диапазоне изменять время начала схватывания гипса и гипсоцементной смеси [22]. При этом увеличивается прочность образующегося гипсового (гипсоцементного) камня. Особый интерес такое воздействие добавок представляет при выполнении горноспасательных и других аварийно-восстановительных работ, когда подача гипсовых растворов осуществляется на большие расстояния по трубам и рукавам, так как возникает возможность снизить гидравлические потери в подающих трубопроводах, исключить угрозу образования в них гипсового камня, а также уменьшить толщину возводимых перемычек при сохранении их прочностных характеристик. Введение в затворяющую гипс воду 0,0002-0,0005 вес % полиэтиленоксида увеличило в 1,3 - 1,5 раза время начала схватывания гипса и гипсоцементной смеси, в 2,5 - 2,8 раза снизило гидравлические потери в рукавах диаметром 51 мм и длиной 100 м. При этом прочность образовавшегося гипсового камня возросла в 1,2 - 1,4 раза.

Проведенные нами исследования показали также, что разработанные полимерные композиции с высокой эффективностью могут использоваться при аварийной откачке воды с меньшим количеством насосов и пониженным энергопотреблением.

2. ДОБАВКИ ПОВЕРХНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

2.1. Обратимая механическая деструкция

В отличие от полимеров, добавки мицеллообразующих поверхностно-активных (МПАВ) имеют неоспоримые преимущества при применении в замкнутых гидравлических системах, так как потеря ими гидродинамической эффективности при определенных условиях (повышенная температура, перенапряжения при больших числах Рейнольдса) носит обратимый характер. На рис. 5 схематично изображена зависимость величины эффекта снижения гидродинамического сопротивления для растворов МПАВ и высокомолекулярных полимеров по длине трубопровода при их циркуляции в замкнутой гидравлической системе, состоящей из насоса, трубопровода и местного сопротивления. Предложенная схема наглядно пока-

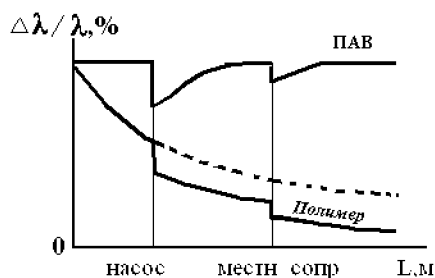


Рис. 5. Изменение величины эффекта снижения гидродинамического сопротивления в растворах полимеров и МПАВ (М.с. - местное сопротивление)

зывает, что деструкция полимерных молекул на насосе, местном сопротивлении и даже на прямолинейных участках трубопровода уменьшает величину гидродинамического эффекта. В то же время растворы МПАВ обладают свойством восстанавливать свою гидродинамическую эффективность после прохождения через насосы и местные сопротивления при определенных для каждого МПАВ концентрациях, диапазонах температур и сдвиговых напряжений. При этом они обладают высокой эффективностью в шероховатых трубах больших диаметров (50-300 мм), в широком диапазоне чисел Рейнольдса [6-12].

2.2. Тепло- и холодоснабжение

Обычно для увеличения пропускной способности гидравлических систем, в том числе и систем тепло- и холодоснабжения, предусматривается ряд мер, к которым следует отнести: увеличение диаметра труб, прокладку дополнительных трубопроводов или увеличение создаваемого насосами напора. Однако их реализация сложна, трудоёмка, не всегда эффективна и требует больших капитальных затрат. В свете вышеуказанного применение добавок МПАВ в гидравлических системах, особенно с рассредоточенными потребителями тепла и холода, является весьма актуальным и эффективным техническим решением.

Нами проведены комплексные исследования по разработке состава, основ технологии приготовления тепло- и холодоносителей со сниженным гидродинамическим сопротивлением, на основе промышленных паст "метаупон" и "диталан OTS", а также их испытания в лабораторных и натуральных условиях (система кондиционирования воздуха угольной шахты с длиной трубопроводов 13,5 км и диаметром труб от 100 до 500 мм) [6-9]. На рис. 6 приведены результаты натурных испыта-

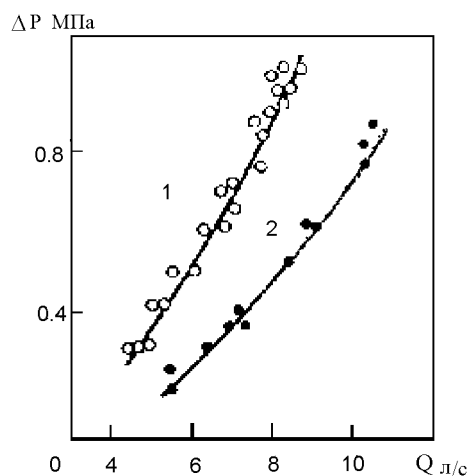


Рис. 6. Зависимость гидравлических потерь в трубах от расхода жидкости

ний (1 – штатный холодоноситель-вода; 2 – холодоноситель с добавками МПАВ-”диталан-OTS”). Видно, что применение добавок МПАВ позволяет снизить гидравлические потери в магистральных трубопроводах систем тепло- и холодоснабжения на 40-60 %, что даёт возможность реализовать одно из преимуществ (при сохранении величины других параметров гидравлической системы): увеличить длину трубопровода в 1,67-2, раза; уменьшить внутренний диаметр труб на 10-17 %; увеличить расход рабочей жидкости в 1,29-1,58 раза; уменьшить потребляемую насосами мощность на 30-50 %.

Специальными исследованиями установлено, что введение в хладоноситель промышленных МПАВ (паст "метаупон" и "диталан OTS") позволяет в 3-4 раза уменьшить глубинный показатель коррозии стали Ст.3 со стороны хладоносителя. Это позволит в значительной мере увеличить срок службы труб и холодильного оборудования.

Аналогичные результаты получены нами при использовании растворов МПАВ в качестве рабочей жидкости в системах централизованного теплоснабжения.

Циркуляция различных жидкостей (техническая вода, тепло- и холодоносителей) чаще всего осуществляется с помощью центробежных насосов. Проведенные нами исследования позволили также определить влияние гидродинамическиактивных добавок на характеристики насосов.

Результаты опытов в виде зависимости коэффициента полезного действия (к.п.д.) насоса от расхода q приведены на рис. 7. Видно, что добавки МПАВ дают наибольший эффект в области больших расходов, т.е. в рабочей части характери-

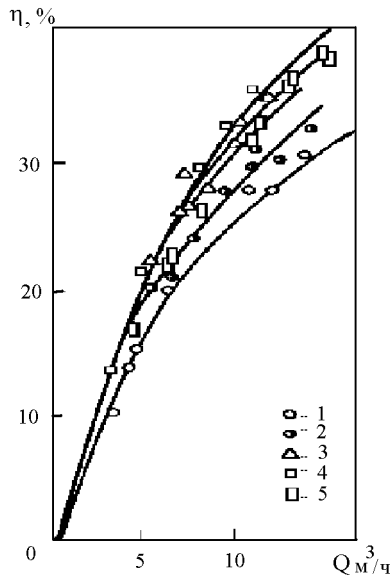


Рис. 7. Влияние концентрации метауона на к.п.д. центробежного насоса
1- вода; 2-5- растворы метауона концентрации 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 %, соответственно; концентрация хлористого натрия - 8 %

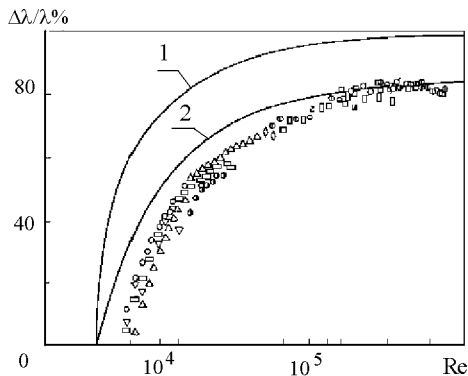


Рис. 8. Зависимость величины эффекта снижения гидродинамического сопротивления (в %) от числа Рейнольдса Re потока

ки данного насоса. Для концентрации метауона $C=0,6\%$ и расхода $q = 13 \text{ м}^3/\text{ч}$ абсолютное значение к.п.д. составляет 38% по сравнению с 30% при работе на воде. Добавки МПАВ улучшают также и другие основные характеристики насоса (напор, затрачиваемую мощность).

2.3. Максимальное снижение сопротивления

При практическом применении добавок МПАВ возникает естественный вопрос о том, каково может быть максимальное снижение гидродинамического сопротивления при движении жидкости. С

этой целью были проведены опыты по определению величины гидродинамического эффекта, результаты которых представлены на рис. 8. Число Рейнольдса получено по вязкости воды (1 – максимально возможное снижение сопротивления если реализуется ламинарный режим течения жидкости; 2 – максимальное снижение сопротивления при течении растворов высокополимеров – асимптота Вирка).

Из рис. 7 видно, что при увеличении числа Рейнольдса потока величина эффекта снижения сопротивления возрастает, и при числах Рейнольдса $Re = 2 \cdot 10^5$ достигает максимального значения – 80%. В области чисел Рейнольдса $Re < 10^5$ максимальное значение технического эффекта снижения сопротивления добавками МПАВ несколько меньше, чем для полимеров. Это можно объяснить тем, что молекулярная вязкость раствора МПАВ выше (по сравнению с растворами полимеров). Однако при $Re > 10^5$ величина гидродинамического эффекта для растворов полимеров и МПАВ одинакова, что, по-видимому, обусловлено предельной ориентацией асимметричных частиц (мицелл, макромолкул) в сдвиговом поле потока.

Таким образом, путем подбора соответствующих концентраций МПАВ можно получить максимальное снижение гидродинамического сопротивления при заданном числе Рейнольдса потока.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, проведенные исследования, а также техникоэкономическая оценка реализации предлагаемого способа снижения турбулентного трения [8] показывают, что применение снижающих гидродинамическое сопротивление добавок является важным резервом экономии электроэнергии и улучшения работы гидравлических систем.

1. Повх И. Л., Ступин А. Б. О влиянии упругости растворов полимеров на снижение сопротивления // Прикладная механика и техническая физика. – 1972. – N 1. – С. 63–68.
2. Повх И. Л., Ступин А. Б., Добрыченко В. М., Максютенко С. Н. Снижение гидродинамического сопротивления добавками поверхностно-активных веществ // Инженерно-физический журнал. – 1974. – N 4. – С. 63–68.
3. Повх И. Л., Ступин А. Б. и др. Снижение гидродинамического сопротивления взвесенесущих потоков добавками полимеров и поверхностно-активных веществ // Известия высших учебных заведений. Энергетика. – 1975. – N 4. – С. 1–2.
4. Повх И. Л., Ступин А. Б. Снижение гидродинамического сопротивления добавками. Сб. Физическая гидродинамика. – Киев-Донецк: Вища школа, 1977. – 51–54 с.

5. Povh I. L., Stupin A. B., Aslanov P. V et's Turbulent heat transfer in dilute surfactant and polymer solutions // Heat Transfer-Soviet Research.– 1998.– Vol. 10, No 1.– С. 98–105.
6. Повх И. Л., Ступин А. Б., Симоненко А. П. Повышение эффективности работы шахтных стационарных холодильных установок // Безопасность труда в промышленности.– 1979.– N 9.– С. 26–27.
7. Ступин А. Б., Симоненко А. П. Максимальное снижение турбулентного трения в водных растворах метаупона // Известия высших учебных заведений. Энергетика.– 1979.– N 11.– С. 124–127.
8. Симоненко А. П. Эффективность от снижения гидродинамического сопротивления добавками при строительстве и эксплуатации шахтных холодильных установок // В сб.: Строительство предприятий угольной промышленности.– 1979.– N 9.– С. 9–11.
9. Повх И. Л., Ступин А. Б. и др. Особенности турбулентных течений растворов мицеллообразующих поверхностно-активных веществ В сб.: Механика турбулентных потоков.– М: Наука, 1980.– 51–54 с.
10. Асланов П. В., Максютенко С. И., Повх И. Л. и др. Турбулентные течения растворов поверхностно-активных веществ // Известия АН СССР, Механика жидкости и газа.– 1980.– N 1.– С. 36–43.
11. Повх И. Л., Сердюк А. И., Симоненко А. П., Ступин А. Б. Добавка для снижения гидродинамического сопротивления теплоносителя // А.с. N777338 (СССР), опубл. в Б.И.– 1980.– N 41.– С. 1–2.
12. Повх И. Л., Ступин А. Б., Симоненко А. П. Применение поверхностно-активных веществ для уменьшения трения жидкостей в технологических аппаратах. В кн.: Аэродинамика в технологических процессах.– М: Наука, 1981.– 230–240 с.
13. Ступин А. Б., Асланов П. В. Турбулентная структура течений со снижающими трение добавками // Инженерно-физический журнал.– 1981.– т.41, N 4.– С. 809–814.
14. Повх И. Л., Ступин А. Б., Максютенко С. И. и др. Хладоноситель // А.с. 798157 (СССР), МКИ С 09 К 5/00//F 25В 1/00. - опубл. в Б.И.– 1981.– N 3.– С. 1–2.
15. Повх И. Л., Ступин А. Б., Асланов П. В. и др. Теплоноситель // А.с.1159936 (СССР). - опубл. в Б.И.– 1985.– N 21.– С. 1–2.
16. Ступин А. Б., Сердюк А. И., Павелко М. М. и др. Быстрорастворимая суспензия полиакриламида и способ ее получения // А.с. 1620459, БИ.– 1991.– N 2.– С. 1–2.
17. Ступин А. Б., Сердюк А. И., Павелко М. М. и др. Суспензия полиакриламида // А.с. 1736980, - БИ.– 1992.– N 20.– С. 1–2.
18. Ступин А. Б., Любарский Б. С., Симоненко А. П., Коломиец В. С., Гулин В. В. Повышение разрушающей способности импульсных струй путем применения гидродинамически-активных добавок // Теоретическая и прикладная механика.– 1995.– Вып 25.– С. 126–130.
19. Ступин А. Б., Симоненко А. П., Асланов П. В., Коломиец В. С., Перцев А. Ф., Любарский Б. С. Повышение эффективности работы гидроструйного оборудования путем применения гидродинамически активных добавок // Сб. трудов научно-практ. конф. "Пути развития горноспасательного дела", Донецк.– 1997.– доп.вып.– С. 6–9.
20. Ступин А. Б., Симоненко А. П., Быковская Н. В., Любарский Б. С., Перцев А. Ф. Повышение эффективности работы пожаротушащего оборудования путем применения микродобавок высокомолекулярных полимеров // Сб. трудов научно-практ. конф. "Пути развития горноспасательного дела", Донецк.– 1997.– доп.вып.– С. 9–11.
21. Ступин А. Б., Любарский Б. С., Симоненко А. П., Коломиец В. С., Гулин В. В. Исследование турбулентных течений растворов полимера и поверхностного вещества // Теоретическая и прикладная механика.– 1998.– Вып 28.– С. 142–146.
22. Ступин А. Б., Асланов П. В., Максимцов В. М. Коэффициенты сопротивления трения и профили скорости при течении растворов поверхностно-активных веществ // Теоретическая и прикладная механика.– 1999.– Вып 29.– С. 163–168.