Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им.Г.В.Плеханова,
т. LXXXVIII, 1981 г.

УДК 622.693.4

ВЛИЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГИДРОТРАНСПОРТА

Е.В.СЕРГЕЕВ

Аномальное влияние различных поверхностно-активных веществ (ПАВ) на гидравлические характеристики взвесенесущих потоков и потоков однородной жидкости необходимо изучать при проектировании, эксплуатации и расчете водоводов и пульповодов на обогатительных фабриках предприятий цветной и черной металлургии, угольных гидрошахтах и т.д. В частности, наличие ПАВ в водоводах и пульповодах может существенно изменить характеристики движения потоков, значительно уменьшить гидравлические сопротивления и энергетические показатели при гидротранспорте сыпучих материалов. Наибольший интерес представляет изучение влияния ПАВ на структуру потока и гидравлические сопротивления движению.

В работе излагаются результаты экспериментальных исследований гидравлических характеристик в потоках однородной жидкости, растворов полимеров и взвесенесущих потоков с полимерными добавками и без них. Эксперименты проводились на установках, оборудованных трубами диаметром 100, 150, 200 и 300 мм. В процессе экспериментов измеряли расход движущейся жидкости, среднюю скорость потока, распределение осредненных продольных скоростей по сечению потока и гидравлические сопротивления. В качестве ПАВ использовали полиэтиленоксид с $M = 5 \cdot 10^6$ и $M = 3 \cdot 10^6$ и полиакриламид с $M = 4{,}95 \cdot 10^6$ и $M = 3{,}3 \cdot 10^6$. Концентрация вводимых полимеров изменялась от 0,003 до 0,015 %. В результате обработки данных получены профили распределения продольных скоростей при течении однородной жидкости и растворов ПАВ, зависимости эффекта снижения сопротивлений в трубопроводах диаметром 100, 150 и 200 мм и выполнено сравнение зависимостей удельных потерь напора гидросмеси $I_Г$ и гидросмеси с полимерными добавками $I_{ГП}$

Приведенные на рис. 1 и в таблице данные о распределении скоростей свидетельствуют о том, что наличие в потоке однородной жидкости молекул линейных полимеров, не нарушая симметрии скоростного поля относительно гидродинамической оси потока, вызывает значительные количественные измене-

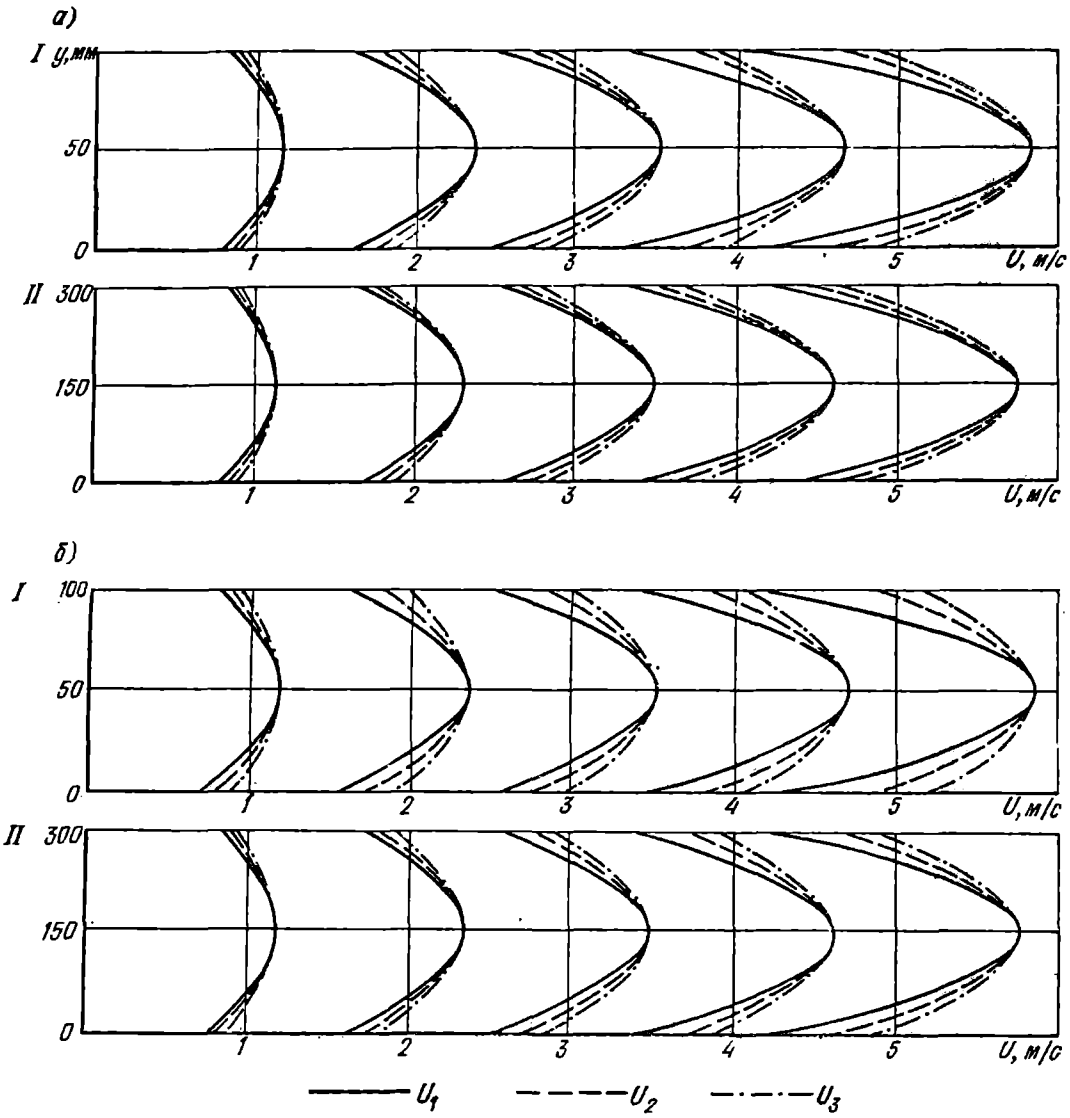


Рис. 1. Распределение продольных скоростей при движении однородной жидкости и растворов полимеров различной концентрации в трубопроводах диаметром 100 мм (I) и 300 мм (II): а – раствор полиакриламида с $M = 3 \cdot 10^6$; б – раствор полиакриламида с $M = 5 \cdot 10^6$
U_1 – однородная жидкость; U_2 – раствор полимера $C_П = 0{,}01$ %; U_3 – раствор полимера $C_П = 0{,}015$ %

ния в распределении осредненных скоростей по сечению потока. Степень этих изменений характеризуется тем, что значительно расширяется зона местоположения максимальной скорости, а градиенты скоростей в верхней и нижней частях трубы оказываются меньше, чем при движении чистой воды. Таким образом, эпюра скоростей при движении сильно разбавленных растворов ПАВ оказывается несколько вытянутой в направлении, перпендикулярном движению потока.

Деформация скоростного поля, наблюдаемая при введении в поток однородной жидкости линейных полимеров, тем больше, чем меньше диаметр трубы

Параметры распределения скоростей, м/с

Позиция рис.	Скорость		Скорость U_i			
		1	2	3	4	5
а, I	U_2	1,033	2,076	3,133	4,190	5,250
	U_3	1,048	2,112	3,192	4,280	5,360
а, II	U_2	1,012	2,040	3,075	4,110	5,140
	U_3	1,017	2,070	3,110	4,170	5,220
б, I	U_2	1,050	2,120	3,210	4,300	5,390
	U_3	1,080	2,180	3,300	4,420	5,500
б, II	U_2	1,020	2,070	3,120	4,180	5,240
	U_3	1,040	2,100	3,170	4,260	5,340

и чем выше средняя скорость потока однородной жидкости, концентрация и молекулярная масса полимеров. При увеличении диаметра трубы или уменьшении упомянутых параметров деформация в распределении продольных скоростей сглаживается. В этом случае эпюра распределения скорости приближается к таковой для потока однородной жидкости.

Большой интерес представляет также тот факт, что при течении разбавленных растворов ПАВ отношение $U_{ср.п} / U_{max}$, характеризующее качество трубы, превышает отношение $U_{ср} / U_{max}$ и обнаруживает тенденцию значительно быстрее приближаться к единице, чем при движении однородной жидкости. При этом, как видно из приведенных эпюр, изменение величины отношения $U_{ср.п} / U_{max}$ тем больше, чем меньше диаметр трубы и чем больше молекулярная масса вводимых полимеров, их концентрация и скорость движения потока. Увеличение диаметра трубы или уменьшение упомянутых параметров приводит к уменьшению величины $U_{ср.п} / U_{max}$, а следовательно, и к снижению степени выравнивания эпюры распределения.

Кроме того, введение в поток однородной жидкости ПАВ приводит к значительному увеличению турбулентности потока и ее критерия - числа Рейнольдса. Этот вывод подтверждается тем, что в отличие от турбулентного потока однородной жидкости, характеризовавшегося в пределах выполненных экспериментов отношениями $U_{ср} / U_{max} = 0,83 \div 0,87$ при $Re = 10^5 \div 3 \cdot 10^6$, в турбулентном потоке ПАВ эти соотношения изменялись в диапазоне 0,852-0,938.

Как видно, отношения $U_{ср.п} / U_{max}$ значительно превосходят отношения $U_{ср} / U_{max}$ и могут быть достигнуты в потоке однородной жидкости лишь при $Re = 4,5 \cdot 10^5 \div 5 \cdot 10^{11}$. Сравнивая эти и соответствующие средним скоростям движения $U_{ср.п}$ значения чисел Рейнольдса, полученные на основании зависимости $Re_п = U_{ср.п} D / \nu$, можно сделать вывод о том, что при течении растворов ПАВ средняя скорость потока значительно превышает $U_{срп}$. Но это как раз и является тем условием, при котором, как показано в работах Н.А.Жуков-

ского[x] и М.В.Потапова[xx], завихренный поток "завертывается" в отдельные вихри или, иными словами, условием, необходимым для возбуждения в потоке многократной циркуляции скорости в плоскости поперечного сечения трубы.

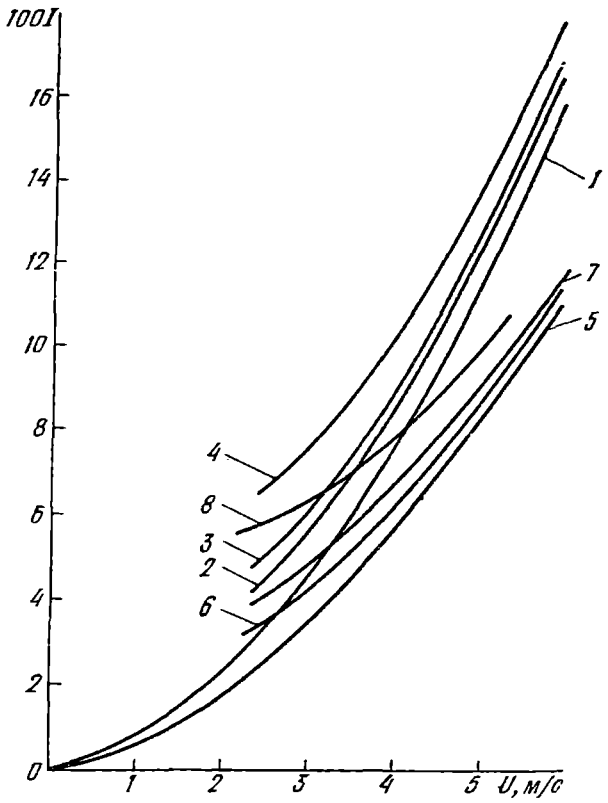


Рис. 2. Сравнение зависимостей $I_Г=f(U)$ и $I_{ГП}=f(U)$ при течении воды, раствора полиакриламида, гидросмеси ($\rho_Т$ 2,65 т/м^3; $d_{ср}$ = 0,84 мм) и гидросмеси с полиакриламидом ($M = 3{,}3\cdot10^6$, $C_П$ = 0,006 %) в трубе диаметром 150 мм
1 – вода; 2,3,4 – гидросмесь при C_V соответственно равной 0,06; 0,08; 0,012 %; 5 – раствор полиакриламида; 6,7,8 – гидросмесь с полимером при C_V соответственно равной 0,06; 0,08; 0,012 %

Этот факт свидетельствует о том, что основной причиной выравнивания эпюры распределения продольных скоростей, увеличения средней скорости, турбулентности и ее критерия – числа Рейнольдса при течении растворов ПАВ является возникновение и существование многократной циркуляции скорости в плоскости поперечного сечения трубы.

Экспериментальный материал о влиянии ПАВ на гидравлические сопротивления представлен на рис. 2 в виде изоконсистентных кривых $I_{ГП}=f(U)$. Для сравнения на нем нанесены кривые $I_Г=f(U)$, $I_w=f(U)$ и $I_{wП}=f(U)$. Минимальные скорости на графике соответствуют критическим скоростям при движении гидросмеси с полимерными добавками и без них.

Из приведенных графических зависимостей следует, что кривые $I_{ГП}=f(U)$ при течении гидросмеси с ПАВ представляют собой семейство сходящихся кривых, приближающихся с увеличением средней скорости к кривой $I_{wП}=f(U)$ для воды с ПАВ, т.е. изменяются аналогично кривым $I_Г=f(U)$ относительно $I_w=f(U)$

Особое внимание при рассмотрении кривых $I_{ГП}=f(U)$ обращает на себя более резкое, чем при течении обычных потоков гидросмеси, отличие в их расположении относительно зависимости $I_w=f(U)$ для воды без ПАВ. Если при движении обычных гидросмесей кривые $I_Г=f(U)$ с увеличением скорос-

---

[x] Жуковский Н.Е. Полное собрание сочинений. М.–Л., ОНТИ НКТП СССР, 1936, т. 1.

[xx] Потапов М.В. Сочинения. М., Сельскохозяйственная литература, 1951, т.2.

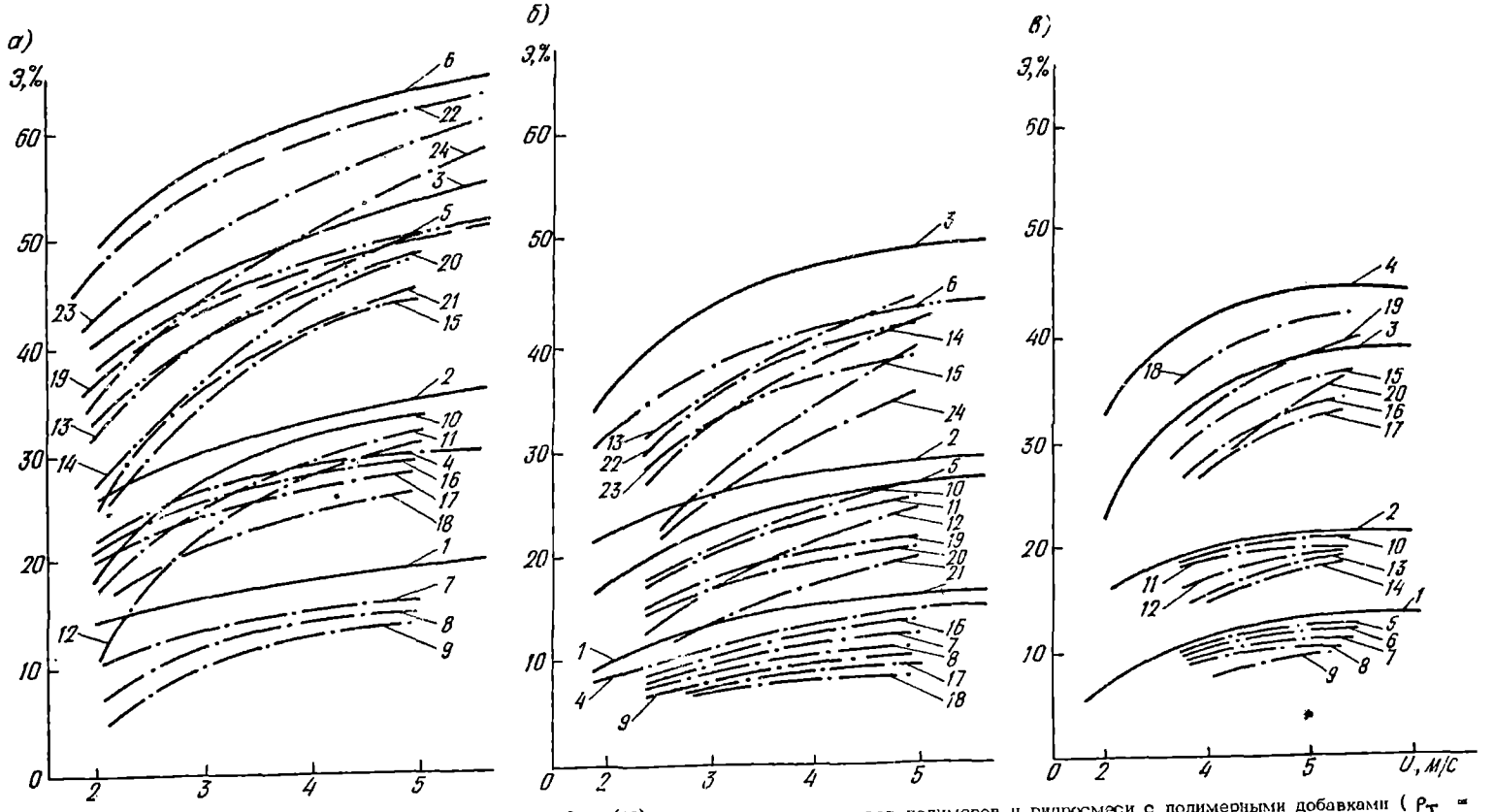


Рис. 3. Зависимость эффекта снижения сопротивления $Э = f(U)$ при движении растворов полимеров и гидросмеси с полимерными добавками ($\rho_т$ = 2,65 т/м^3, $d_{ср}$ = 0,21–0,64 мм) в *трубопроводах*:

а – диаметром 100 мм; 1;2;3 – раствор с $M = 3{,}3 \cdot 10^6$ при $C_П$ соответственно равной 0,003; 0,006; 0,01 %; 4;5;6 – раствор с $M = 4{,}95 \cdot 10^6$ при $C_П$ соответственно равной 0,003; 0,006; 0,0085 %; 7–9; 10–12; 13–15 – гидросмесь с полимером $M = 3{,}3 \cdot 10^6$ при C_V соответственно равной 0,06; 0,10; 0,12 %; 16–18; 19–21; 22–24 – гидросмесь с полимером $M = 4{,}95 \cdot 10^6$ при C_V соответственно равной 0,05; 0,09; 0,15 %;

б – диаметром 150 мм; 1;2;3 – раствор с $M = 3{,}3 \cdot 10^6$ при $C_П$ соответственно равной 0,003; 0,006; 0,01 %; 4;5;6 – раствор с $M = 4{,}95 \cdot 10^6$ при $C_П$ соответственно равной 0,0015; 0,003; 0,006 %; 7–9; 10–12; 13–15 – гидросмесь с полимером $M = 3{,}3 \cdot 10^6$ при C_V соответственно равной 0,06; 0,08; 0,12 %; 16–18; 19–21; 22–24 – гидросмесь с полимером $M = 4{,}95 \cdot 10^6$ при C_V соответственно равной 0,05; 0,07; 0,15 %;

в – диаметром 200 мм; 1;2;3;4 – раствор с $M = 3{,}3 \cdot 10^6$ при $C_П$ соответственно равной 0,003; 0,006; 0,01; 0,012 %; 5–8; 9–12; 13–16; 17–25 – гидросмесь с полимером при C_V соответственно равной 0,06; 0,09; 0,10; 0,12; 0,15 %

ти приближаются к кривой $I_w = f(U)$, то кривые $I_{гп} = f(U)$, построенные для тех же условий, не только приближаются к этой кривой, но и пересекают ее по достижении некоторой скорости, при которой наступает равенство $I_w = I_{гп}$. При дальнейшем увеличении скорости сопротивление движению взвесенесущего потока с ПАВ начинает уменьшаться по сравнению с сопротивлением движению чистой воды. В этом случае имеет место неравенство $I_w > I_{гп}$, при котором кривые $I_{гп} = f(U)$ представляют собой семейство расходящихся кривых.

Таким образом, введение во взвесенесущий поток ПАВ приводит к снижению гидравлических сопротивлений по сравнению с сопротивлениями движению чистой воды без твердого материала.

Для обобщения экспериментального материала, а также для получения данных о степени влияния вводимых ПАВ на величину гидравлических сопротивлений при движении взвесенесущих потоков были сопоставлены графические зависимости $I_{гп} = f(U)$ и $I_г = f(U)$, на основании чего получены графические зависимости, представленные на рис. 3.

Установлено, что при движении взвесенесущих потоков с ПАВ гидравлические сопротивления снижаются, хотя и меньше, чем при движении растворов ПАВ. Это объясняется прежде всего наличием в потоке твердых частиц, которые уменьшают свободный объем несущей среды и тем самым способствуют уменьшению ориентации и деформации макромолекул полимеров и эффекта Томса в целом. При этом величина эффекта Томса не одинакова и в значительной степени зависит от молекулярной массы вводимых полимеров и их концентрации, плотности и концентрации гидросмеси, средней скорости, а также диаметра трубопровода. С увеличением диаметра трубопровода и концентрации гидросмеси и уменьшением остальных параметров величина эффекта уменьшается. Причем при использовании полимеров с одинаковыми концентрациями величина эффекта Томса тем больше, чем выше молекулярная масса вводимых полимеров. Игнорирование этой особенности на практике может привести не только к снижению величины эффекта, но и к полному его исчезновению, так как замена полимера с большой молекулярной массой на полимер-гомолог с меньшей массой в отдельных случаях не может быть скомпенсирована.

В зависимости от конкретных условий, присущих различным горным предприятиям, обработка химическими примесями гидросмеси может иметь свои технологические особенности. Первыми из объектов, на которых возможно использование химических примесей, являются комбинаты, где в ближайшие годы будут исчерпаны технические возможности гидротранспортных систем, что потребует их реконструкции, строительства новых перекачных станций и увеличения мощности станций.

При введении в поток различных химических примесей снижаются гидравлические сопротивления, а соответственно, и энергозатраты, увеличиваются потенциальные возможности существующих агрегатов, поэтому отпадает необходимость в реконструкции старых и строительстве новых пульпонасосных станций.

Выполненное сопоставление технико-экономических показателей работы системы гидротранспорта без ПАВ и системы при введении ПАВ производительностью 2 млн.т материала в год показало, что за счет экономии, оборудования, строительных работ и электроэнергии экономический эффект от использования ПАВ составляет 600 тыс.руб. в год. Экономия электроэнергии при длине трассы 10 км составляет 3,4 млн.кВт·ч в год.