

Измеряемый параметр	Код	Верхний предел измерений				Предел допускаемой основной погрешности $\pm g, \%$
		кПа	МПа	кгс/см <sup>2</sup>	кгс/м <sup>2</sup>	
Разность давлений	27XX	1,00			100	0,25
		1,60			160	0,25
		2,50			250	0,25
		4,00			400	0,25
		6,30			630	0,25
		10,00			1000	0,25
	37XX	4,00			400	0,25
		6,30			630	0,25
		10,00			1000	0,25
		16,00			1600	0,25
		25,00			2500	0,25
Абсолютное (избыточное) давление	XX60		4,0	40,00		0,25
			6,0	60,00		0,25
			10,0	100,00		0,25
			16,0	160,00		0,25
	XX70		10,00	100,00		0,25
			16,00	160,00		0,25
			25,00	250,00		0,25
			40,00	400,00		0,25

Таб. 1.

- повышается надежность работы энергетического котла в переходных режимах (растопка);
- исключается действие человеческого фактора;
- открывается возможность полной автоматизации процесса растопки котлоагрегата.

Датчик «Системы измерения уровня воды в барабане энергетического котла гидростатическим методом» найдет широкое применение на вновь проектируемых, а также при модернизации систем контроля и управления на действующих котлоагрегатах барабанного типа тепловых электростанций.»

Департаментом генеральной инспекции по эксплуатации электростанций и сетей также дана положительная оценка:

«..Изготовленный на основании указанного патента всережимный уровнемер, прошедший соответствующие испытания и аттестацию, внесенный в Государственный реестр средств измерений обеспечит выполнение требований п.4.3.13. ПТЭ.

«С момента начала растопки котла должен быть организован контроль за уровнем воды в барабане.....

...Сниженные указатели уровня воды должны быть сверены с водоуказательными приборами в процессе растопки (с учетом поправок)».

В период проведения тематических проверок состояния и надежности функционирования защит, автоматики, точности измерений на технологичном оборудовании ТЭЦ прибор будет внедряться на энергетическом оборудовании действующих электростанций. ■

# ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛИМЕРОВ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ В СИСТЕМАХ ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

EFFICIENCY OF THE VARIOUS NATURED POLIMERS FOR DECREASE IN HYDRAULIC RESISTANCE IN SYSTEMS OF TURNAROUND WATER SUPPLY

УДК 66.074.332

**Р.Р. ХУСНУЛЛИН**  
**А.В. ШАРИФУЛЛИН**  
**В.Н. ШАРИФУЛЛИН**  
**Л.Р. БАЙБЕКОВА**

аспирант КГТУ  
д.т.н КГТУ  
д.т.н КГЭУ  
к.т.н КГТУ

Казань  
L\_baibekova@mail.ru

**R.R. KHUSNULLIN**  
**A.V. SHARIFULLIN**  
**V.N. SHARIFULLIN**  
**L.R. BAYBEKOVA**

applicant of Kazan State Technological University  
professor of Kazan State Technological University  
professor of Kazan State Power Engineering University  
candidate of science, assistant of Kazan State Technological University

Kazan

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:**  
**KEYWORDS:**

Физико-химическая гидродинамика, гидравлическое сопротивление, турбулентность, поверхностно-активные вещества, водорастворимые полимеры  
Physical and chemical hydrodynamics, hydraulic resistance, turbulence, surface-active substances, water-soluble polymers

Определена эффективность действия веществ различной природы в качестве реагентов для увеличения пропускной способности трубопроводов. Проведено их сравнение с промышленно – применяемыми полимерами типа ПАА и КМЦ.

Efficiency of action of substances of the various nature as reagents for increase in throughput of pipelines is certain. Their comparison with industrially – applied polymers of type ПАА and КМЦ is lead.

Химические и нефтехимические предприятия являются крупнейшими потребителями воды, которая применяется, в том числе, в качестве хладагента и теплоносителя в замкнутых системах. Например, расход охлаждающей оборотной воды в системах оборотного водоснабжения нефтеперерабатывающих предприятий составляет 30-80 тыс. м<sup>3</sup>/ч, а эксплуатационные расходы на перекачку воды составляют 6,5-8 % от стоимости переработки сырья. Затраты на электроэнергию, потребляемую электродвигателями насосов, составляют 30-40 % от всех затрат на электроэнергию [1].

Бесперебойность поступления оборотной воды обеспечивается: гидравлическим напором (давлением) в установленных пределах и физико-химическим составом воды. Снижение давления или ухудшение качества воды ниже установленных норм приводит к существенному росту затрат на перекачку [2]. В настоящее время проблема решается двумя путями: а) повышением давления на насосе; б) увеличением производительности водопроводов, что в обоих случаях ведет к увеличению расхода электроэнергии на насосах и снижению механической прочности сварных и болтовых соединений.

Наиболее эффективной и недорогой технологией повышения пропускной способности трубопроводов при сохранении затрат на перекачку является добавление в поток жидкости небольшого количества ПАВ, полимеров и их композиций (эффект Томса). Механизм действия этих присадок различен: одни адсорбируются на стенках трубопроводов, создают слой, который уменьшает трение жидкости; другие – уменьшают уровень турбулентности в трубопроводе, не реагируя с его внутренней поверхностью, не меняют свойства перекачиваемого продукта. Закачка в трубопровод химических реагентов позволяет избежать затрат на установку новых насосов, строительство дополнительных насосных станций и лупингов [3].

Целью данной работы является оценка эффективности применения реагентов с различными функциональными группами: А – с азотной группой; Ф – с фосфатной группой и ВОК – высокомолекулярных органических кислот, обладающих поверхностной активностью, которые могут быть использованы для систем оборотного водоснабжения.

Для проведения исследования нами была изготовлена оригинальная установка, которая позволяет определить не только эффект Томса, но и перепад давления на участках с дополнительными сопротивлениями. В отличие от других применяемых методов определения гидравлического сопротивления (прокачка жидкости через капилляр, определение реологических характеристик и т.д.) этот способ позволяет смоделировать реальный процесс перекачки в водооборотном контуре.

Установка для определения эффекта Томса состоит из центробежного насоса 2 мощностью 400 Вт, змеевика 5

диаметром 10 мм и длиной 4,5 м, а также бака 1 на 10 л (рис. 1). При проведении опытов замерялись расход воды по расходомеру 4, температура перекачиваемой жидкости и перепад давления на змеевике с помощью манометров 3 при различных положениях запорной арматуры и различных концентрациях добавок.

Исследования проводили с водой в гидродинамическом режиме «развитой турбулентности»  $Re > 15000$ , среднее время циркуляции (время одного оборота) при рабочих расходах воды составляет 1...3 минуты. В результате был установлен характер изменения параметров системы после внесения соответствующей добавки по времени, при этом время проведения одного опыта составило от 10 мин до 1 часа.

При длительном пребывании полимерных молекул в потоке и больших напряжениях сдвига, как правило, отмечается постепенное уменьшение величины снижения сопротивления из-за механической деструкции. Деструкция макромолекул является основным фактором, ограничивающим в ряде случаев практическое использование полимерных добавок для снижения турбулентного трения [4].

Проведенные исследования [5,6] показали, что в данной установке снижение сопротивления турбулентного трения (эффект Томса) в циркуляционном контуре выражается в увеличении расхода жидкости при сохранении давлений в точках контура. Поэтому для количественного определения влияния механической деструкции на снижение турбулентного трения была использована следующая формула [5]:

$$T = \frac{(L - L_0)}{L_0} \cdot 100\% \quad (1)$$

где  $L$ ,  $L_0$  – расходы воды в присутствии и отсутствии добавки, м<sup>3</sup>/ч.

Для определения устойчивости к разрушению исследуемых реагентов эксперименты проводились в течение часа. В качестве сравнения действия исследуемых реагентов были выбраны полимеры с примерно одинаковой молекулярной массой: полиакриламид (ПАА) с  $MM 3 \cdot 10^6$  и Полиокс с  $MM 2.4 \cdot 10^6$ . Эти вещества являются самыми распространенными добавками для снижения гидравлического сопротивления в водных системах.

Проведенный анализ показывает (рис.2), что низкомолекулярные реагенты (А, Ф, ВОК) проявляют высокую устойчивость и стойкость к разрушению при длительном их применении. Через час применения эффект Томса снизился не более чем на 10 %. Полимеры типа ПАА показали высокую эффективность в первый момент времени, через 1 час влияние их на гидравлическое сопротивление практически прекратилось. Более устойчивый результат из ряда полимеров показал КМЦ (карбометилцеллюлоза). Его эффективность не превышала 12 %, которая в течение часа

снизилась не более чем на 3 % отн.

Низкую устойчивость полимеров можно объяснить тем, что они не успевают полностью адсорбироваться на поверхности трубопровода, а успевают лишь сконцентрироваться у поверхности трубы. Попадая в зоны интенсивной гидродинамики и другие участки с большим сдвигающим усилием (на изгибах, измерительных приборах, насосах), полимеры разрушаются, что подтверждается проведенными экспериментами. Отсюда можно сделать вывод, что добавление полимеров позволит получить эффект снижения гидравлического сопротивления только между двумя насосными установками, после прохождения которых полимеры будут разрушаться и понадобится повторное добавление этих реагентов, что и происходит в реальности.

Целесообразность применения различных реагентов также необходимо оценивать с позиции соотношения эффективности-концентрация. Как показывают литературные данные [2-3], эти зависимости для реагентов такого рода не являются прямолинейными. Кроме того, повышение концентрации реагентов может привести к ряду нежелательных последствий (увеличение содержания кислорода, эмульгированию дисперсных частиц и т.д.). Поэтому на втором этапе исследований было изучено влияние концентрации реагентов на величину снижения гидравлического сопротивления (эффекта Томса) (рис.3). Так как КМЦ (карбометилцеллюлоза), показавший хорошую устойчивость при длительной перекачке в циркуляционном контуре, то он был выбран в качестве реагента сравнения. Дозировка реагентов составляла 2-20 мг/л. В данном случае величину эффекта снижения сопротивления удобно определять как относительное уменьшение перепада давления при течении раствора реагентов и растворителя (воды). Расчет величины эффекта снижения сопротивления определялся по формуле [7]:

$$\frac{\Delta \lambda}{\lambda} = \frac{\lambda_1 - \lambda_2}{\lambda_1} \cdot 100\% \quad (2)$$

где  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  – коэффициенты сопротивления при течении раствора и растворителя соответственно, которые могут быть найдены из соотношения [7]:

$$\Delta P = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{\rho U_{cp}^2}{2} \quad (3)$$

Здесь  $\Delta P$  – перепад давления на участке трубы длиной  $l$ ;  $d$  – диаметр;  $U_{cp}$  – расходная скорость. Эксперименты проводились на той же установке (рис.1) при температуре 35°C и времени контакта 10 минут.

Анализ графических зависимостей (рис.3) показывает, что наиболее эффективным для снижения гидравлического сопротивления при  $Re > 15000$  является ВОК. При увеличении концентрации ВОК, повышается его эффективность. ВОК хорошо адсорбируется ►

на внутренней поверхности трубы из-за поляризованности молекулы. Это определяется наличием в составе данного вещества атома кислорода, имеющего неподеленную электронную пару. Высокая эффективность ВОК также связана с более высокой молекулярной массой (М.М. ВОК-2206, Ф-2164, А-2168). Поэтому для реагентов типа А и Ф повышение эффекта связано, прежде всего, с ростом концентрации и эта зависимость носит более прямолинейный характер. В целом можно отметить, что наличие в реагентах азотной и фосфатной групп стабилизирует эффект Томса. При более низких значениях эффективности (по сравнению с ВОК) эти реагенты обладают комплексным действием, так как они применяются в качестве ингибиторов солеотложения и коррозии, что делает их применение экономически целесообразным.

Для КМЦ зависимость эффекта от концентрации носит экспоненциальный характер (эффективность достигает максимума при концентрации 14 мг/л). Уменьшение расхода с ростом концентрации полимера более 14 мг/л обусловлено возрастанием вязкости раствора, что подтверждается литературными данными [3]. Таким образом, использование КМЦ с концентрацией меньше 14 мг/л нецелесообразно.

На основании проведенных исследований можно сделать следующий вывод, что из ряда исследованных наибольшей эффективностью по снижению гидравлического сопротивления обладают реагенты типа ВОК. Однократное введение такого типа веществ позволяет увеличить пропускную способность водооборотных систем ~ на 30-40 %. При этом для достижения данного эффекта не требуется высоких концентраций, что делает применение таких реагентов экономически целесообразным. Кроме того, эти реагенты обладают достаточно высокой устойчивостью к механическому воздействию. ■

**ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:**

1. Яковлев Д.Г., Поляков С.И. Экономическая эффективность систем оборотного водоснабжения. М., «Химия», 1978, 224 с.
2. Шабалин А.Ф. Эксплуатация промышленных водопроводов.. Изд-во «Металлургия», 1972, 3-е изд., 504 с.
3. Мастобаев Б. Н. Химические средства и технологии в трубопроводном транспорте нефти / Б. Н. Мастобаев, А. М. Шаммазов, Э .М. Мовсумзаде. – М.: Химия, 2002, 296 с.
4. Механика турбулентных потоков / сборник научных трудов. – М.: Наука., 1980. – С.7-27.
5. В. Н. Шарифуллин, Г. Г. Гыйлманов, А. В. Шарифуллин // Химическая технология. - 2005. - №7. - С. 34 – 37.
6. С.В. Чичканов, В.А. Мягченков// Транспорт и подготовка нефти. – 2004. - №1. – С. 93 – 95.
7. Механика турбулентных потоков / сборник научных трудов. – М.: Наука., 1980. – С.44 -69.

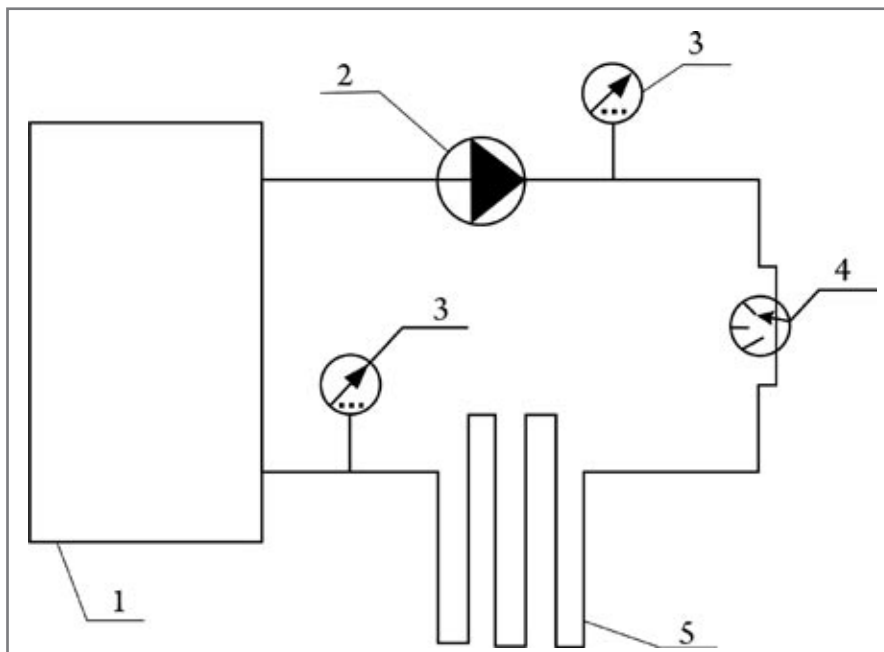


Рис.1 Схема установки по определению эффекта Томса

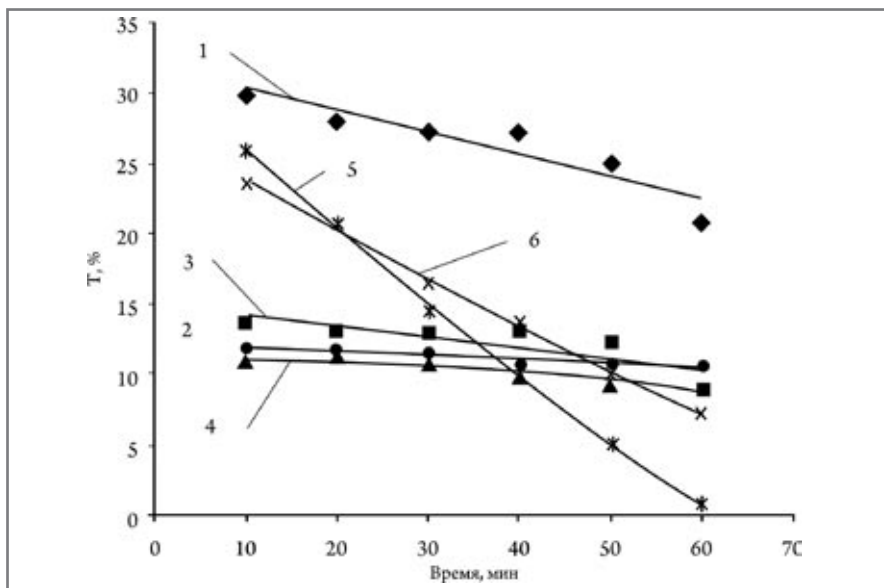


Рис.2 Зависимость эффективности реагентов от времени нахождения в циркуляционном контуре при t=35°C, Re>15000, с расходом 2 мг/л, где: 1– ВОК, 2 – А, 3 – Ф, 4 – КМЦ, 5 – ПАА, 6 – Полиокс

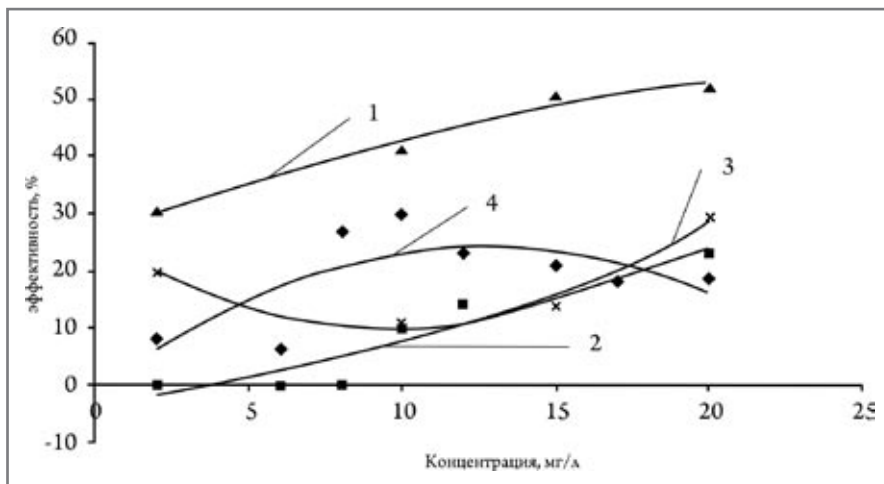


Рис.3-Зависимость эффекта снижения гидравлического сопротивления реагентов от концентрации в воде при t=35°C, Re>15000, t=10 мин, где реагенты: 1 – ВОК, 2 – А, 3 – Ф, 4 – КМЦ