

ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

УДК 532.542.4:532.772

**А. П. Симоненко, д-р техн. наук, Н. А. Дмитренко, А. Ю. Собко,
С. А. Фоменко**

ГОУВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк

СПОСОБЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ПОЛИМЕРОВ В ОДНОРОДНЫХ РАСТВОРАХ И УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИХ РЕАЛИЗАЦИИ

В основу предлагаемых способов определения концентраций гидродинамически активных высокомолекулярных полимеров положены особенности течения их растворов в капилляре турбулентного реометра (снижение гидродинамического сопротивления турбулентного течения), а также через короткий капилляр и в канале переменного сечения (увеличение гидравлических потерь по сравнению с течением чистого растворителя). В статье приведены принципиальные схемы устройств для реализации предлагаемых способов на практике.

***Ключевые слова:** гидродинамический способ определения, концентрация раствора, раствор однородный, гидродинамически активный полимер*

Состояние вопроса

Создание водорастворимых гидродинамически активных композиций на основе высокомолекулярных полимеров (ВП), с линейной структурой макромолекул, например, полиэтиленоксида (ПЭО) и полиакриламида (ПАА), открывает большие перспективы практического применения эффекта Томса для предупреждения и ликвидации последствий техногенных аварий на магистральных трубопроводах систем канализации жилищно-коммунального хозяйства, сброса сильнозагрязненных сточных вод химических предприятий и т. д., а также для повышения эффективности работы централизованных систем и мобильных установок водяного пожаротушения.

Особый интерес, с практической точки зрения, представляют ультраслабые быстро-растворимые полимерные покрытия и флоковые покрытия с водорастворимыми полимерными наполнителями, которые наносятся на армирующие вставки проточных генераторов (касет), и в процессе их размыва водой образуются растворы со сниженным гидродинамическим сопротивлением турбулентного течения (ГСТТ). В таких случаях возникает необходимость контроля концентрации гидродинамически активного полимера в намываемом растворе с целью его оптимального использования [1–3].

Известные на сегодняшний день способы определения концентрации ВП в однородных водных растворах можно разделить на следующие группы: фотометрические, ультразвуковые, электрохимические, вязкостные и др. Перечисленные выше методы эффективно используются для определения концентраций ВП в умеренно- и сильно концентрированных растворах.

Многочисленными исследованиями [4–6] установлено, что наличие в турбулентных потоках жидкостей микродобавок растворимых ВП, с линейной структурой макромолекул, приводит к существенному снижению ГСТТ в напорных трубопроводах (эффект Томса). Так, например, введение в перекачиваемую воду $5 \cdot 10^{-5}$ – 10^{-2} вес. % высокомолекулярных ПЭО и ПАА, с молекулярной массой 1,2–6,0 млн, снижает величину их ГСТТ на прямолинейных участках труб в 3–5 раз. Использование этого явления (при величинах эффекта снижения ГСТТ на 10–80 %) открывает перспективы повышения эффективности работы гидравлических систем по одному из альтернативных показателей: уменьшение потребляемой перекачи-

ваемыми насосами мощности на 10–80 %, увеличение длины прямолинейных участков трубопроводов в 1,1–5,0 раз, уменьшение внутреннего диаметра труб на 2,0–28,0 %, увеличение расхода подаваемой по трубопроводу жидкости в 1,05–2,24 раза [7].

Для эффективного использования эффекта Томса в промышленных масштабах – уменьшения гидравлических потерь, например, в напорных трубопроводах систем водотведения и канализации, и для повышения эффективности работы пожаротушающего оборудования и гидроструйных машин в последние годы интенсивно проводятся исследования по созданию различных водорастворимых полимерных композиций на основе высокомолекулярных ПЭО и ПАА. Так, например, авторами работ [1–3] за последние два десятилетия выполнены комплексные исследования по усовершенствованию составов, технологий приготовления и использования известных жидких водорастворимых полимерных композиций – тонкодисперсных суспензий и паст, а также разработаны составы и технологии приготовления флоковых покрытий с водорастворимыми полимерными наполнителями, твердых водорастворимых полимерных композиций – ультраслабых легкорастворимых покрытий, полимерных брикетов и проточных генераторов приготовления из них растворов.

Приготовление растворов ПЭО и ПАА, требуемых концентраций из жидких водорастворимых полимерных композиций, обеспечивается известными (заданными) объемами их подачи в систему трубопроводов и содержанием полимера в этих композициях. В то же время при приготовлении полимерных растворов в проточных генераторах из флоковых покрытий и твердых водорастворимых полимерных композиций содержание полимера в растворителе определяется его массоотдачей в процессе размыва композиций. В этих случаях возникает необходимость контроля концентрации гидродинамически активного полимера в намываемом растворе.

Цель исследования

Цель настоящей работы заключается в обосновании применения гидродинамических способов определения содержания ВП в слабоконцентрированных растворах, в основу которых положены особенности течений этих растворов в капилляре турбулентного реометра (снижение ГСТТ), а также через короткий капилляр и в канале переменного сечения (увеличение гидравлических потерь по сравнению с течением чистого растворителя).

Методика исследования

Определение концентрации ВП в слабоконцентрированных растворах гидродинамическими методами сводится к установлению зависимости величины эффекта снижения ГСТТ ($\Delta\lambda/\lambda$, %), при постоянном числе Рейнольдса, в капилляре турбулентного реометра или зависимости потерь давления ΔP , н/м², при течении этих растворов через короткий капилляр или по трубке переменного сечения (при постоянном расходе) от содержания полимера в растворе (C , % вес.). На первом этапе строятся графики зависимостей $\Delta\lambda/\lambda = f(C)$ или $\Delta P = f(C)$ – для растворов с известными концентрациями полимера, а на втором – по величинам $\Delta\lambda/\lambda$, %, и ΔP , н/м², которые определяются при тех же условиях, для растворов с неизвестным содержанием полимера. По заранее построенным графикам определяется искомая концентрация полимера.

Течение в капилляре турбулентного реометра

Из основных закономерностей явления снижения ГСТТ добавками ВП известно, что зависимость величины эффекта $\Delta\lambda/\lambda$, % от концентрации полимера в растворе имеет экстремальный характер. При этом максимальный эффект достигается при некоторой оптимальной концентрации полимера в растворе C_{opt} . При $C < C_{opt}$ вязкость полимерного раствора практически не отличается от вязкости растворителя, а при $C > C_{opt}$ величина эффекта снижения

ГСТТ уменьшается за счет увеличения вязкости раствора [8, 9]. Особо следует отметить, что при заданной величине перепада давления ΔP (т. е. при фиксированном значении динамической скорости $V = \sqrt{\tau_w/\rho}$, где τ_w – касательное напряжение трения на стенке, ρ – плотность раствора), величина эффекта снижения $\Delta\lambda/\lambda$, % зависит не только от концентрации полимера, но и от его средней молекулярной массы, и при концентрациях близких к C_{opt} может достигать 80 %.

В связи с вышеизложенным, способ определения концентрации гидродинамически активных полимеров, в основу которого положено измерение величины эффекта снижения ГСТТ в капилляре турбулентного реометра, целесообразно использовать для растворов, концентрация полимеров в которых меньше C_{opt} .

Гидродинамическая эффективность однородных водных растворов полимеров определяли в капилляре турбулентного реометра, принципиальная схема и принцип работы которого приведены в [10].

Течение через короткий капилляр

В этом способе используется течение растворов гидродинамически активного полимера в условиях растягивающегося потока. Для создания зоны с продольным градиентом скорости можно использовать сходящееся течение, которое реализуется при истечении жидкости из цилиндрического сосуда в короткий капилляр. Для реализации этого способа в рамках настоящей работы была изготовлена установка, принципиальная схема основного измерительного узла которой приведен на рисунке 1. Принцип работы установки заключается в следующем. Исследуемый раствор по патрубку 1 подается через расходомер 2 в напорную рабочую камеру 3. После этого раствор через короткий капилляр 4 поступает в приемную камеру 5. Давление в рабочих камерах 3 и 5 контролируется образцовыми манометрами М1 и М2. Отработанный раствор отводится через сливной патрубок 6.

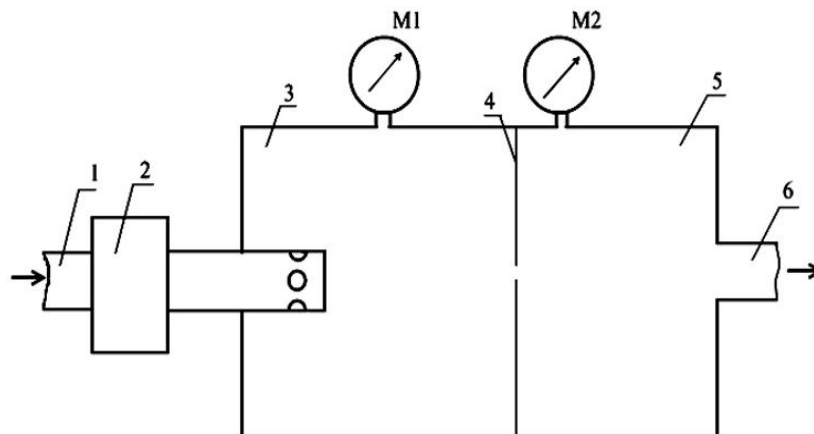


Рисунок 1 – Принципиальная схема рабочего узла установки для реализации течения через короткий капилляр

- 1 – патрубок подачи исследуемого раствора в напорную рабочую камеру;
- 2 – индукционный расходомер; 3 – напорная рабочая камера;
- 4 – короткий капилляр; 5 – приемная рабочая камера;
- 6 – патрубок отвода отработанного раствора, М1 и М2 – образцовые манометры

Особенностью для течений с растяжением является тот факт, что в водных растворах высокомолекулярных полимеров наблюдается аномально высокая «кажущаяся» вязкость, начиная с некоторого значения скорости. Величина этой скорости зависит от концентрации и является характерной величиной. Концентрация полимера в растворе, как и в предыдущем способе, определяется путем сравнения полученных значений величины ΔP для растворов с

неизвестной концентрацией полимера с графиком зависимости $\Delta P = f(C)$, который построен для растворов с известным содержанием ВП.

Результаты экспериментальных исследований водных растворов высокомолекулярного ПЭО, со средней молекулярной массой $4 \cdot 10^6$, при течении через короткий капилляр диаметром и длиной равными 1,0 и 1,2 мм, показали, что увеличение концентрации полимера от 0 до 0,04 % вес. приводит к увеличению потерь давления почти в 3 раза.

Течение в канале переменного сечения

Еще один гидродинамический способ решения поставленной задачи основан на свойстве полимерных добавок существенно увеличивать гидравлические потери при течении их растворов в трубках с переменным сечением. В отличие от цилиндрических, трубки переменного сечения более чувствительны к наличию полимерных добавок в растворе, а зависимость их сопротивления от концентрации полимера в растворе не имеет экстремумов, что обеспечивает однозначное определение концентрации и более высокую точность измерения. Блок-схема установки приведена на рисунке 2. Здесь же приведены общий вид и геометрические размеры канала переменного сечения, который использовался в процессе исследований.

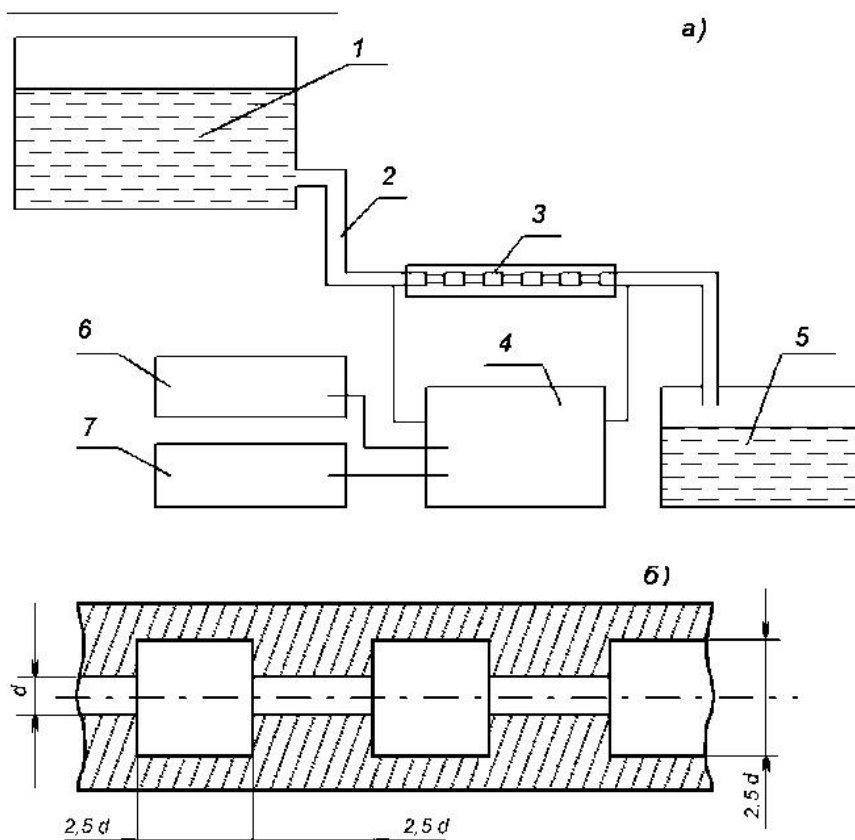


Рисунок 2 а, б – Принципиальная схема экспериментальной установки с каналом переменного сечения

- а) 1 – бак для исследуемой жидкости, 2 – подводящая трубка, 3 – канал переменного сечения, 4 – дифманометр, 5 – приемная емкость для отработанного раствора, 6 – частотомер электронносчетный ЧЗ-49, 7 – источник постоянного тока
 б) Общий вид и геометрические размеры канала переменного сечения

Истечение исследуемых полимерных растворов происходит из емкости 1 по подводящей трубке 2 в канал переменного сечения 3. Перепад давления, возникающий при течении растворов по каналу, измеряется при помощи дифференциального манометра 4 посредством электронносчетного частотомера 6 и источника постоянного тока 7. Расход исследуемых

полимерных растворов через канал определяли объемным способом. Отработанный раствор поступал в приемную емкость 5.

На рисунке 3 представлен график зависимости потерь давления ΔP в трубке переменного сечения при течении в ней (с фиксированным расходом) водных растворов полиэтиленоксида (партия ПЭО Н-89) различных концентраций со средней молекулярной массой $4 \cdot 10^6$. При этом диаметр вставки с меньшим сечением был равен $d = 1,5$ мм, а с максимальным – 2,12 мм. Из рисунка видно, что величина потерь давления ΔP для раствора, содержащего 0,06 вес. % ПЭО, возрастает почти в 260 раз по сравнению с потерями для чистой воды [11].

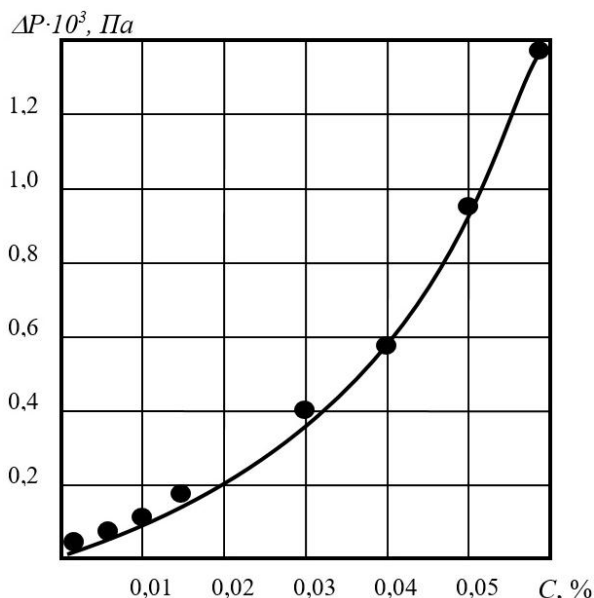


Рисунок 3 – Зависимость перепада давления ΔP от концентрации ПЭО в растворе при течении в трубке переменного сечения, $d_2 = 1,5$ мм, $q = 1,2 \cdot 10^{-7}$ м³/с

Повысить чувствительность потерь давления от изменения концентрации ПЭО в растворе можно путем уменьшения диаметра вставки с меньшим сечением. Так, например, для $d = 0,5$ мм, изменение концентрации ПЭО в растворе на несколько сотых процента вызывает увеличение потерь давления ΔP на порядок.

Величина относительной погрешности, при определении концентрации ВП в растворах предлагаемыми гидродинамическими методами, не превышает 0,025.

Заключение

Используя особенности течения слабоконцентрированных растворов ВП, с линейной структурой макромолекул, – уменьшение величины ГСТТ в капилляре турбулентного реометра, а также увеличение гидравлических потерь при течении через короткий капилляр и в трубке переменного сечения, можно создать доступные в реализации способы определения содержания этих полимеров в растворах.

Список литературы

1. Симоненко, О. П. Перспективи застосування флокового покриття з водорозчинними полімерними наповнювачами в енергозбереженні й екології / О. П. Симоненко // Вісник Національного університету «Львівська політехніка», «Хімія, технологія речовин та їх застосування». – Львів : НУ «Львівська політехніка», 2012. – № 726. – С. 252–257.
2. Симоненко, А. П. Перспективи практичного застосування ефекта Томса в гидравлических системах при надзвичайних ситуаціях / А. П. Симоненко // Екологічна безпека : зб. наук. пр. СХУЯЕ та П. – Севастополь : СХУЯЕ та П, 2012. – № 4 (44). – С. 232–241.

3. Симоненко, А. П. Повышение эффективности работы противопожарной техники путем применения гидродинамически активных полимерных композиций / А. П. Симоненко // Проблемы пожарной безопасности : сб. науч. тр. Нац. ун-та гражданской защиты Украины. – Х. : НУГЗУ, 2012. – № 32. – С. 195–206.
4. Libermanore, M. W. Shear-Induced Structure Formation in Solutions of Drag Reducing Polymers / M. W. Libermanore, E. J. Pollauf, A. J. J. McHungh // Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics. – 2003. – Vol. 113, №. 2–3. – P. 193–208.
5. Корнилов, В. И. Проблемы снижения турбулентного трения активными и пассивными методами (обзор) / В. И. Корнилов // Теплофизика и аэромеханика. – 2005. – Т. 12, № 2. – С. 183–208.
6. Козлов, Л. П. Гідродинамічний ефект Томса і його можливі технічні застосування / Л. П. Козлов // Вісник АН УРСР. – 1987. – № 1. – С. 23–33.
7. Пилипенко, В. Н. Влияние добавок на пристенные турбулентные течения / В. Н. Пилипенко // Итоги науки и техники. Механика жидкости и газа / ВИНТИ. – 1980. – Т. 15. – С. 156–257.
8. О снижении гидродинамического сопротивления добавками полимеров / Л. И. Седов [и др.] // Механика турбулентных потоков. – М. : Наука, 1980. – С. 7–28.
9. Анисимов, И. А. Зависимость деструкции водного раствора полиэтиленоксида от работы сил трения / И. А. Анисимов, Б. П. Миронов // Турбулентные сдвиговые течения неньютоновских жидкостей. – Новосибирск, 1981. – С. 14–38.
10. Симоненко, А. П. Снижение гидродинамического сопротивления и конформационное состояние макромолекул в водных растворах микробного экзополисахаридов / А. П. Симоненко, А. А. Пивкина // Вісник ДонНУ. Сер. А : Природничі науки. – 2004. – Вип. 1. – С. 231–236.
11. Асланов, П. В. Исследование течения растворов высокомолекулярных полимеров / П. В. Асланов, Н. А. Дмитренко // Вісник Донецького університету. Сер. А : Природничі науки. – 2006. – № 2. – С. 133–136.

*А. П. Симоненко, Н. А. Дмитренко, А. Ю. Собко, С. А. Фоменко
ГОУВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк*

Способы определения концентрации гидродинамически активных полимеров в однородных растворах и устройства для их реализации

Рассматриваются задачи определения концентрации гидродинамически активных полимеров в однородных слабоконцентрированных водных растворах, которые характеризуются сниженным гидродинамическим сопротивлением турбулентного трения по сравнению с растворителем. Преимущественно, предлагаемые авторами способы относятся к растворам высокомолекулярных полимеров с линейной структурой макромолекул – полиэтиленоксида, полиакриламида, натриевой соли карбоксиметилцеллюлозы, гуаровой смолы и др.

В основу предлагаемых гидродинамических способов определения концентрации положены особенности течений растворов этих полимеров в капилляре турбулентного реометра (снижение гидродинамического сопротивления турбулентного трения), через короткий капилляр и в канале переменного сечения (увеличение гидравлических потерь по сравнению с течением чистого растворителя).

Приведены принципиальные схемы устройств для реализации предлагаемых способов на практике: установки для реализации течения через короткий капилляр и экспериментальной установки с каналом переменного сечения.

Используя особенности течения слабоконцентрированных растворов ВП, с линейной структурой макромолекул, – уменьшение величины ГСТТ в капилляре турбулентного реометра, а также увеличение гидравлических потерь при течении через короткий капилляр и в трубке переменного сечения, можно создать доступные в реализации способы определения содержания этих полимеров в растворах.

ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ, КОНЦЕНТРАЦИЯ РАСТВОРА, РАСТВОР ОДНОРОДНЫЙ, ГИДРОДИНАМИЧЕСКИ АКТИВНЫЙ ПОЛИМЕР

A. P. Simonenko, N. A. Dmitrenko, A. Yu. Sobko, S. A. Fomenko
Donetsk National Technical University, Donetsk

Determining Methods of the Hydrodynamically Active Polymers Concentration in Uniform Solutions and Devices for Their Realization

The tasks of the concentration determining of hydrodynamically active polymers in uniform weak water solutions characterized by lowered hydrodynamic resistance of the turbulent friction as compared with the solvent are considered. Mainly methods suggested by authors are referred to solutions of high-molecular polymers with macromolecule linear structure - polyethylene oxide, polyacrylamide, sodium salt carboxymethylcellulose, guar gum and others.

The proposed hydrodynamic methods of concentration determining are based on peculiarities of these polymers solution flow in the turbulent rheometer capillary (hydrodynamic resistance of the turbulent friction lowering) through short capillary and in the channel of variable cross-section (hydraulic losses increasing as compared with the flow of the pure solvent).

Schematic circuits of devices for realization of proposed methods in practice are given: devices for realization of the flow through short capillary and experimental facility with the channel of variable cross-section.

Using flow peculiarities of weak water polymers solutions with macromolecule linear structure – hydrodynamic resistance of the turbulent friction value reduction in the turbulent rheometer capillary and hydraulic losses increasing at the flowing through short capillary and in the tube of variable cross-section - available in realization determining methods of these polymers concentration in solutions can be created.

HYDRODYNAMIC DETERMINING METHOD, SOLUTION CONCENTRATION, UNIFORM SOLUTION, HYDRODYNAMICALLY ACTIVE POLYMER

Сведения об авторах:

А. П. Симоненко

SPIN-код: 9231-8452
 Телефон: +380 (50) 667-34-61
 Эл. почта: sap2012@rambler.ru

Н. А. Дмитренко

SPIN-код: 7670-5770
 Телефон: +380 (93) 796-79-69
 +380 (71) 796-79-69
 Эл. почта: zan.nikita@gmail.com

А. Ю. Собко

Телефон: +380 (50) 507-54-38
 Эл. почта: sobko63@gmail.com

С. А. Фоменко

Телефон: +380 (95) 568-16-02
 +380 (93) 226-56-06
 Эл. почта: fomenko70@gmail.com

Статья поступила 20.02.2016

© А. П. Симоненко, Н. А. Дмитренко, А. Ю. Собко, С. А. Фоменко, 2017
 Рецензент: С. П. Высоцкий, д-р техн. наук, проф. АДИ ГОУВПО «ДонНТУ»