

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ экологической и техногенной БЕЗОПАСНОСТИ систем водоснабжения с помощью **ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ**

Использование воды из разных источников (речная, озёрная, подземная и т.д.) приводит к отложениям на стенках магистральных и распределительных трубопроводов водопроводной сети солей, илистых и биологических образований, что ведёт к обрастанию стенок труб, ухудшению качества воды и увеличению затрат на очистку. В последнее время получили распространение полимерные поршни, которые могут быть использованы для удаления мусора, дезинфекции системы водоснабжения, отмывки и удаления ржавчины, что не только улучшает качество воды и ее транспортировку, но и ведёт к снижению энергетических затрат.

Введение

С развитием цивилизации осталось мало мест без централизованной системы водоснабжения, почти все функционирующие здания и промышленные сооружения имеют системы трубопроводов с горячей и холодной водой для обеспечения жизнедеятельности населения. В системах магистральных и распределительных трубопроводов водопроводной сети транспортируется вода из различных источников (речная, озёрная, подземная и т.д.). В результате протекающих в перекачиваемой воде химико-биологических процессов на стенках трубопроводов образуются отложения солей кальция, магния, железа, илистые и биологические образования, что приводит к обрастанию стенок труб, ухудшению органолептических показателей воды, увеличению энергетических затрат на транспорт воды. Отложенные частицы песка, ила или солей на стенках трубопроводов водопроводной сети являются средой для развития бактерий, не погибших при обработке на водозаборах и очистных сооружениях. При резких перепадах давления в трубопроводах, осо-

Л.М. Труфакина*,
кандидат химических
наук, старший
научный сотрудник,
Институт химии нефти
СО РАН
(ИХН СО РАН)

бенно при отключениях и последующих включениях воды иногда возникает процесс кавитации, из-за которого прилипшие сгустки загрязнений и микроорганизмов вместе с питьевой водой устремляются в системы водоснабжения, попадая в пищу человеку. Микробное и вирусное загрязнение питьевой воды как централизованного, так и местного водоснабжения создает риск возникновения заболеваний населения кишечными инфекциями и вирусным гепатитом А [1], кроме того, в воде появляется привкус ржавчины.

Переход к рыночной экономике, реформирование жилищно-коммунального комплекса в условиях значительного износа и старения инженерных систем жизнеобеспечения городов и населенных пунктов России, отсутствие достаточных материальных и финансовых ресурсов на их реновацию значительно обострили проблемы надежности и экологической безопасности водохозяйственного комплекса страны, а также обеспечения населения питьевой водой [2]. Степень износа объектов коммунального хозяйства по отдельным муниципальным образованиям достигает 70-80 %. Причем темпы нарастания износа составляют 1-2 % в год [3]. Другой причиной усугубления этих проблем является то, что в течение длительного времени финансирование и реконструкция развития жилищно-коммунального хозяйства вообще, и водопроводно-канализационного хозяйства в частности, осуществлялось по остаточному принципу. В таких условиях, при сохранении существующего порядка и плановом износе основных фондов 2-3 % в год, уже через 15 лет 71,5 % всего населения, пользующегося централизованным водоснабжением, будет пить воду, не отвечающую санитарным нормам (а это 48 % всего населения страны) [2].

* Адрес для корреспонденции: lmt@ipc.tsc.ru

В настоящее время плано-предупредительный ремонт сетей и оборудования систем водоснабжения полностью уступил место аварийно-восстановительным работам, единичные затраты на проведение которых в 3 раза выше, чем затраты на плановый ремонт таких же объектов. Количество аварий выросло за 10 лет примерно в 5 раз и составило в 2007 г. 100 аварий на 100 км сетей водоснабжения. Это означает, что системы находятся в состоянии полного износа и их состояние в ближайшие 2-3 года будет только ухудшаться [4]. Таким образом, сложившаяся ситуация приведет к лавинообразному накоплению объемов ремонта и, как следствие, объемов работ, связанных с проведением профилактической дезинфекции водоводов.

Трубопроводы хозяйственно-питьевого водоснабжения перед приемкой в эксплуатацию подлежат промывке (очистке) и дезинфекции в соответствии с СНиП 3.05.04-85 «Наружные сети и сооружения водоснабжения и канализации». Дезинфекцию осуществляют хлорированием с последующей промывкой до получения удовлетворительных контрольных физико-химических и бактериологических анализов воды, отвечающих требованиям СанПиН 2.1.4.1074-01 и «Инструкции по контролю за обеззараживанием хозяйственно-питьевой воды и за дезинфекцией водопроводных сооружений хлором при централизованном и местном водоснабжении». Длину участка трубопровода для проведения хлорирования назначают, как правило, не более 1-2 км.

Полость трубопровода системы питьевого водоснабжения перед дезинфекцией должна быть очищена и промыта с целью удаления случайных предметов и оставшихся загрязнений. В зависимости от типа загрязнения используются различные методы очистки и их комбинации. Не все они являются эффективными и имеют ряд недостатков, поэтому усовершенствование и создание технических средств очистки полости для гидравлических испытаний всегда актуально.

В последнее время в мировой практике получило распространение использование полимерных поршней, которые могут быть использованы для следующих операций: разделение поверхности раздела жидкостей, удаление мусора, эксплуатация водоводов, контроль водоводов.

В качестве полимерных поршней могут быть использованы высоковязкие или вязкоупругие жидкости, характеризующиеся неньютоновским течением [5]. Так, в Институте химии нефти СО РАН были разработаны полимерные композиции с поршневым

Ключевые слова:

вода,
очистка,
полимерные поршни

эффектом движения, позволяющие эффективно удалять механические примеси, газовые скопления; проводить обработку внутренней поверхности трубопроводов различными растворами, наносить антикоррозионные и другие покрытия на внутреннюю поверхность трубы и проводить гидравлические испытания водоводов.

Предлагаемые полимерные поршни обладают преимуществами и новыми техническими возможностями:

- ◆ могут проходить по трубам разного диаметра,
- ◆ не повреждаются при проходе через ограничения,
- ◆ обеспечивают хорошее гидравлическое уплотнение,
- ◆ повышают эффективность химической обработки,
- ◆ выносят механические примеси из труб,
- ◆ можно вводить в водовод без стандартных камер пуска и приема скребка.

Полимерные поршни отличаются весьма высокой адгезионной способностью по отношению к загрязняющим веществам, которые захватываются и переносятся в центральную часть полимерного поршня, движение полимерного поршня напоминает перемещение гусениц трактора. Таким образом, загрязняющий материал не накапливается перед полимерным поршнем, опасность закупоривания трубопровода минимальна.

Удаление механических примесей и других загрязнений не только улучшает качество воды, но и снижает гидравлическое сопротивление водоводов, что улучшает транспортировку продукта и ведет к снижению энергетических затрат.

Применение полимерных поршней позволяет снизить затраты на дезинфицирующую





$$P = P_1 - P_2$$

Рис. 1. Перепад давления, в результате которого происходит движение очистного полимерного поршня.

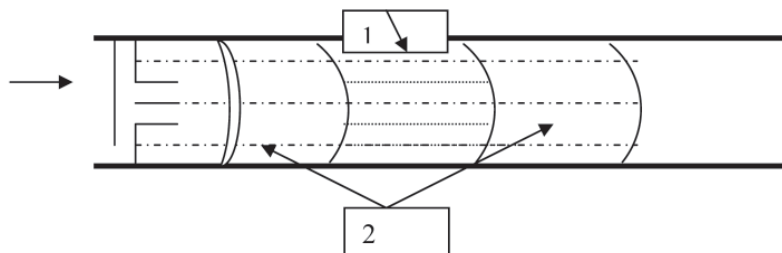


Рис. 2. Схема нанесения химических покрытий и обработки растворами.

1 – дезинфицирующий раствор, 2 – полимерные поршни.

жидкость и другие растворы, заполняя водопровод на 10-15 м между полимерными поршнями.

На рис. 1 показано движение полимерного поршня в трубопроводе, которое осуществляется за счет перепада давления.

Перепад давления рассчитывается по формуле Дарси-Вейсбаха [6].

$$\Delta p = 4 \tau_0 L / D \quad (1),$$

где L – длина полимерного поршня, м; D – диаметр трубопровода, м; τ_0 – начальное касательное напряжение, 10^{-1} Па; определяется по формуле $\tau = z \alpha$, где z – постоянная цилиндра (10^{-1} Па/дел шкалы), α – относительное значение шкалы на индикаторном приборе реовискозиметра «Реотест -2»

При $\Delta p > P_2$ полимерный поршень будет перемещаться.

Актуально проведение антибактериальных обработок внутренней поверхности трубопроводов введением соответствующих антимикробных веществ в тело полимерного композита или в виде пеллеты, помещая антибактериальный раствор между полимерными поршнями.

В промышленных системах водоснабжения присутствует различное количество коррозионно-активных вод, которые вызывают все виды коррозионных реакций. Коррозии подвергаются, в основном, нижняя часть и застойные зоны трубопровода, где накапливается активная коррозионная среда, что можно объяснить нестабильностью режима перекачки, а также увеличением гидравлического износа. Встречающиеся типы коррозионного разрушения имеют преимущест-

венно локальный характер (питтинговая, язвенная коррозия), а при наличии воздействия механических разрушений, наблюдается стресс-коррозия, коррозионно-усталостное разрушение [7].

Одним из наиболее перспективных направлений в области повышения срока службы труб является использование антикоррозионных покрытий и покрытий от абразивного износа, для нанесения которых на внутреннюю поверхность трубы также могут использоваться полимерные поршни.

Схема нанесения химических покрытий и обработки различными растворами приведена на рис. 2, где вслед за очищающим и осушающим поршнем помещается соответствующий раствор и проталкивается следующим полимерным поршнем. Антикоррозионное покрытие подбирается в каждом конкретном случае, поскольку имеется зависимость от состава коррозионной среды (минерализация воды и другие виды агрессивий).

Антикоррозионное покрытие может быть эффективным инструментом профилактики обслуживания водопроводов, обеспечивающим экологическую безопасность систем водоснабжения и значительные экономические выгоды, так позволяет избежать замены труб.

Использование полимерных поршней наиболее эффективно в местах, где имеются трубы разного диаметра, врезки различных приборов, крутые повороты и т.д., поскольку трубы на этих участках подвергаются наибольшей коррозии и износу.

Результаты и их обсуждение

Для применения полимерных поршней в технических целях требуется, чтобы они обладали высокой прочностью, упругостью и ударной вязкостью. Состав полимерной композиции (ПК) обладает необходимыми свойствами для движения по трубопроводу и проведению соответствующих операций. Для того чтобы улучшить их трибологические и другие свойства, в состав полимерной композиции вводили различные наполнители: В качестве жесткого зернистого наполнителя, как абразив, использовали кварцевый песок со средним диаметром частиц 0,1 мм и полимерные волокна полиэтилентерефталата и полипропилена с диаметром волокон 0,05...0,1 мм, длиной 100 мм. Кроме того, использовали продукты растительного происхождения: мох – многолетнее споровое растение, лишнее корней, целлюлозу – опилки древесины сосны и растительный торф.

Основным достоинством волокнистых материалов в качестве наполнителей является их прочность и жесткость. Кроме того, они снижают газо- и паропроницаемость [8]. Жесткие зернистые наполнители при наличии прочной адгезионной связи увеличивают модуль упругости композиций, при этом резко снижается относительное удлинение при разрыве.

Использование на практике ПК требует знания их свойств при различных температурах, особенно отрицательных (условия хранения, влияние на технологические свойства) [9, 10], т. к. это актуально для территории Сибири и России в целом.

Полимерные композиции получали на основе водных растворов полимеров при перемешивании. Использовались концентрации полимеров, близкие к критическим. Полимерные композиции с наполнителем готовили, добавляя наполнитель в раствор полимера при перемешивании, затем вносили другие компоненты. Проводили измерения необходимых параметров в течение времени. Для исследования свойств ПК при отрицательных температурах полученные ПК делили на две части, одну из которых охлаждали в течение суток при $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, затем размораживали и измеряли все исследуемые параметры; вторая половина образцов для сравнения, хранилась при комнатной температуре, измерения проводились в течение 25 сут.

Для оценки влияния наполнителей и отрицательных температур на ПК проводились измерения динамической вязкости на ротационном вискозиметре «Реотест-2.1» с рабочим узлом конус-пластина. Измеряемый материал помещали в клинообразный зазор, образуемый между неподвижной пластиной и конусом, который вращается с постоянной скоростью, снимали показания α на индикаторном приборе, а затем рассчитывали динамическую вязкость по формуле:

$$\eta = (\tau_r / D_r) \cdot 100 \quad (2),$$

где η – динамическая вязкость (Па·с); τ_r – сдвигающее напряжение (10^{-1} Па); D_r – скорость сдвига по таблице ступеней (c^{-1}).

На *рис. 3* показаны зависимости динамической вязкости от времени структурообразования для полимерной матрицы без наполнителей и с наполнителями: полиэтилентерефталат, мох и кварцевый песок. При добавлении данных наполнителей динамическая вязкость ПК увеличивается по сравнению с не наполненным композитом.

На *рис. 4 а* приведены зависимости изменения динамической вязкости от времени

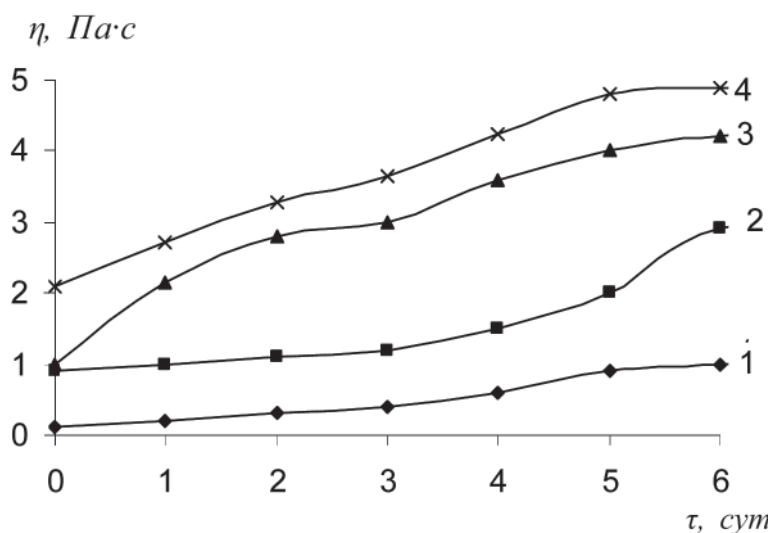


Рис. 3. Зависимость динамической вязкости (Па·с) полимерных композитов от времени t структурообразования (сут) при температуре $20\text{ }^{\circ}\text{C}$

1 – полимерная матрица, с наполнителями: 2 – полиэтилентерефталат, 3 – мох, 4 – кварцевый песок.

структурообразования для наполненных ПК в зависимости от температуры.

Из *рис. 4 а* следует, что структурообразование ПК протекает с увеличением динамической вязкости всех образцов с течением времени. У образцов с наполнителем и подверженных замораживанию динамическая вязкость больше, чем у остальных образцов, т.к. введение данных наполнителей усиливает структурирование ПК. При воздействии низких температур увеличивается количество водородных связей, которые сохраняются и увеличиваются при размораживании, структура ПК становится более сшитой, т.е. происходит увеличение динамической вязкости.

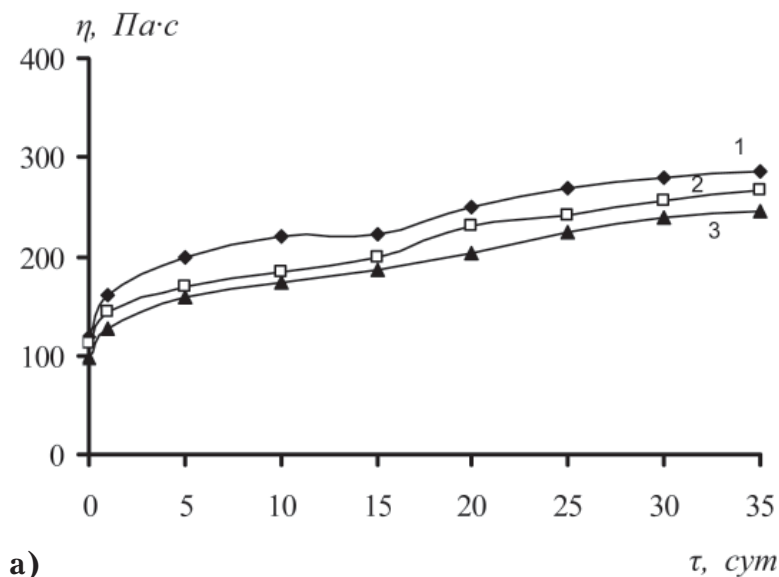
Модуль упругости определяли методом пенетрации шарообразного индентора, т.е. измерение глубины его внедрения под нагрузкой в упругие тела фактически дает значение модуля [11-13].

Модуль упругости (G) является мерой устойчивости материала к деформированию под воздействием внешней нагрузки. Радиус индентора $R=7$ мм. Образцы имели форму цилиндра с диаметром $D=30$ мм и высотой $H=25$ мм. Расчет модуля упругости проводили по формуле:

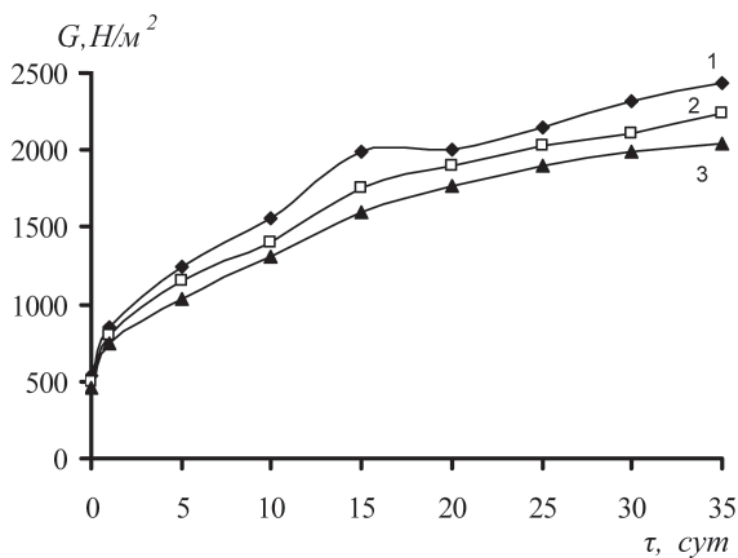
$$G=3F / 16 h^{3/2}R^{1/2}, \quad (3)$$

Где F – сила, действующая на индентор (Н); h – глубина внедрения шарообразного индентора радиуса R в плоскую поверхность образца (м).

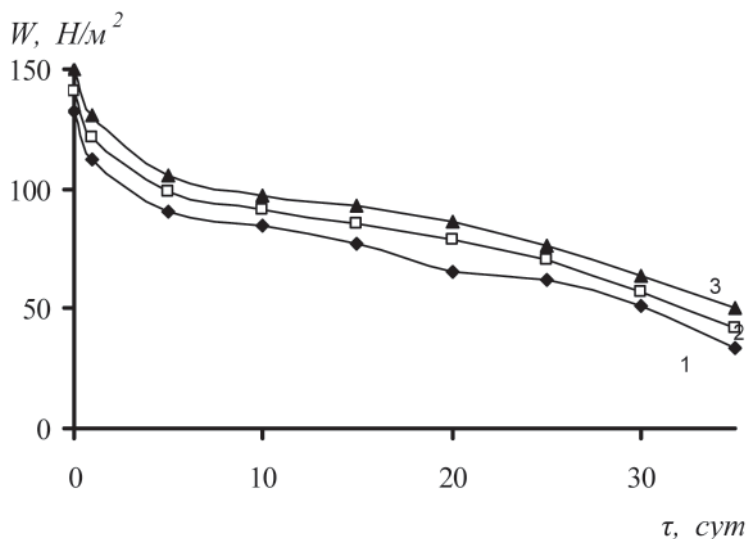
На *рис. 4 б* показано изменение модуля упругости во времени для ПК.



а)



б)



в)

Рис. 4. Зависимость динамической вязкости (а), модуля упругости (б) и работы адгезии (в) от времени и температуры для ПК с наполнителем – кварцевым песком при: 1) $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$; 2) $0\text{ }^{\circ}\text{C}$; 3) $20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Из рис. 4 б следует, что модуль упругости увеличивается с течением времени для всех образцов, но для подверженных замораживанию это увеличение более значительное вследствие увеличения взаимодействия полимер – полимер.

Оценку адгезионной прочности проводили по величине работы отрыва металлической пластинки от поверхности полимерного комплекса под воздействием внешней силы при нормальной силе отрыва, когда угол $\alpha = 90^{\circ}$ [14, 15]:

$$W_{\text{отр}} = F_{\text{отр}}/S, \quad (4)$$

Где S – площадь контакта адгезива с субстратом (м^2);

$F_{\text{отр}}$ – адгезия отрыва ($\text{H}/\text{м}^{-1}$).

На рис. 4 в представлена зависимость изменения работы сил адгезии ПК.

Из рис. 4 в следует, что происходит уменьшение работы адгезии у всех ПК с течением времени, а у образцов, подверженных замораживанию за счет образования дополнительных водородных связей при низких температурах процесс структурирования происходит быстрее, на поверхности образуются полимерные глобулы большего размера, чем внутри полимерного тела и, таким образом, требуется меньше силы для отрыва полимерного тела от металлической пластины.

Заключение

Изучение полимерных композиций на основе водорастворимых полимеров, наполненных жестким зернистым наполнителем абразивного действия – кварцевым песком, полимерными волокнами и волокнами растительного происхождения, показало, что они обладают большей динамической вязкостью, модулем упругости и меньшей работой адгезии по сравнению с не наполненными композициями. Воздействие отрицательных температур на ПК значительно способствует улучшению их реологических и поверхностных свойств.

С экологических позиций приемлемость использования полимерных поршней довольно высока, т.к. ПК воздействуют на твердые отложения в водоводах и дают возможность проводить безопасную послейную очистку их внутренних полостей. После использования поршней полимерную матрицу можно легко утилизировать.

Предлагаемая технология с применением полимерных композитов позволяет улучшить санитарно-гигиеническое состояние

систем магистральных и распределительных трубопроводов водопроводной сети,

- способствует экономии материальных и энергетических средств,
- позволяет повысить экологическую и технологическую безопасность населения при использовании воды в хозяйственных и питьевых нуждах.

Работа выполнена при финансовой поддержке администрации Томской области (грант 217/5). Проведены полупромышленные испытания по очистке трубопроводов в «ООО Политэн». Подготовлена инструкция по проведению дезинфекции и очистки от коррозии водопроводных сетей.

Литература

1. http://www.rpn.tomsk.ru/Postanovlen/13_3_gepatitA.html
2. <http://www.idreforma.ru/articles/70101.html>
3. http://www.gosstroy.gov.ru/docum_25.html
4. <http://www.invur.ru/print.php?page=proj&cat.html>
5. А.С.1636429 (СССР) Способ получения гелеобразного разделителя для испытания трубопровода / Юдина Н.В., Белоусов Ю.П., Гареев М.М., Сулева М.В. //, Заявлено 23.03.1991. МКИ С084 33/26.
6. Рабинович Е.З. Гидравлика / Е.З. Рабинович, А.Е. Евгеньев. М.: Недра. 1987. 287 с.
7. <http://www.promivka.ru/index.php?page=uslug&pid=100005>
8. Нильсен Л. Механические свойства полимеров и полимерных композиций. М.: Химия. 1978. С. 1078 с.
9. Лозинский В.И. Характерные особенности замерзания концентрированных водных растворов поливинилового спирта. Взаимосвязь со свойствами гидрогелей, получающихся после оттаивания / В.И. Лозинский, Е.С. Вайнерман, Л.В. Домотенко, А.Л. Блюменфельд и др. // Коллоидный журнал. 2002. Т. 64. № 3. С. 372-380.
10. Лозинский В.И. Криотропное гелеобразование растворов поливинилового спирта / В.И. Лозинский, Е.С. Вайнерман, Л.В. Домотенко, А.Л. Блюменфельд и др. // Успехи химии. 1998. Т.64 №7. С. 641-655.
11. Труфакина Л.М. Вязкоупругие и поверхностные свойства смесей водных растворов поливинилового спирта и карбоксиметилцеллюлозы. // Журнал прикладной химии. 2006. Т.79 № 12. С. 2037- 2039.
12. Медведева В.В. Диаграмма состояний системы оксиэтилцеллюлоза – ионы трехвалентного хрома / В.В. Медведева, Л.И. Мясникова, Ю.Д. Семчиков, Л.З. Роговина // Высокомолекулярные соединения. Сер. Б. 1998. Т. 40 №3. С. 492-497.
13. Лопатин В.В. Влияние условий получения на релаксационные свойства полиакриламидных гелей / В.В. Лопатин, А.А. Аскадский, В.Г. Васильев, Е.А. Курская // Высокомолекулярные соединения. Сер. А. 2004. Т. 40 № 7. С. 1217-1224.
14. Зимон А.Д. Адгезия плёнок и покрытий. М.: Химия, 1977. 352 с.
15. Берлин А.А. Основы адгезии полимеров / А.А. Берлин, В.Е. Басин. М.: Химия, 1974. 391 с.



L.M. Trufakina

POLYMER COMPOSITES AS A WAY TO IMPROVE ENVIRONMENTAL AND TECHNOLOGICAL SAFETY OF WATER FACILITIES

The use of water from different sources (river, lake, underground, etc.) leads to deposits on the walls of the pipe network. As a result fouling of pipe walls, deterioration of water quality and increase of water cleaning

costs take place. In recent years polymer pigs have become very wide spread, they could be used for disinfection, solid waste removal, washing and rust removal. This not only improves the water quality and

its transportation, but also leads to lower energy costs.

Key words: water, cleaning, polymer pigs