УДК 547.07-037.47:628.16.067

Н.П. ОМЕЛЬЧЕНКО[1] (канд. техн. наук, доц.), Л.И. КОВАЛЕНКО[2] (канд. техн. наук, доц.)
[1] Донбасская национальная академия строительства и архитектуры
[2] Донецкий национальный технический университет

ВОЛОКНИСТЫЕ НАСАДКИ ДЛЯ СИСТЕМ ОЧИСТКИ ВОДЫ

Приведены результаты исследований физико-химических свойств синтетических полиэфирных и полиамидных волокон, которые используются при устройстве фильтрующих волокнистых насадок. Такие насадки имеют высокую удельную поверхность, высокую пористость, низкое гидравлическое сопротивление. Обнаружено явление наведения положительного заряда на поверхности волокон при протекании сквозь насадку потока воды. Перечисленные свойства обуславливают высокую эффективность волокнистых насадок, как фильтруюшей среды при осветлении воды.

синтетические волокна, полиэфирные и полиамидные волокна, объемное фильтрование, волокнистые насадки

Постановка проблемы. Традиционными в водоочистке являются фильтры с зернистой загрузкой, но объемное фильтрование может быть достигнуто устройством волокнистой загрузки, которую более уместно назвать насадкой. Это совершенно новое направление развития водоочистной техники разрабатывается в частности в Донбасской национальной академии строительства и архитектуры (ДонНАСА) на кафедре водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов и в Донецком национальном техническом университете (ДонНТУ) на кафедре природоохранной деятельности. Волокнистая насадка устраивается из особым образом структурированных ершей из нитей и служит средой для контактной коагуляции примесей воды. Как правило, при этом требуется предварительная обработка воды коагулянтами или флокулянтами. Для применения насадок в системах очистки воды потребовались детальное исследование свойств нитей волокнистой насадки.

Анализ последних исследований и публикаций. Волокнистая насадка в системах осветления воды может использоваться по двум назначениям: как начинка контактных камер хлопьеобразования или как наполнитель волокнистых фильтров. В первом случае в порах между волокнами накапливаются коагулированные примеси, агрегируются, а затем выносятся потоками воды в отстойные сооружения. Такое устройство хорошо работает при низких температурах очищаемой воды, и может быть рекомендовано для реконструкции существующих камер хлопьеобразования, работающих по принципу объемной коагуляции [1,3].

Во втором случае насадка работает как фильтрующая среда на изъятие загрязнений и требует периодической регенерации. Восстановление задерживающей способности насадки достигается ее продувкой в затопленном состоянии сжатым воздухом с последующим опорожнением волокнистого фильтра. Такие фильтры применяются для грубого осветления воды в качестве сооружений первой ступени вместо отстойников и осветлителей со взвешенным слоем осадка. Они обладают целым рядом преимуществ по сравнению с традиционными сооружениями. К настоящему времени волокнистые фильтры реализованы в схемах очистки шахтных вод [2,4,5].

Постановка задач.

В качестве материалов для волокнистых насадок используются минеральные (стеклянные, базальтовые) и органические волокна. Последние преобладают и делятся на три класса: естественные (шерсть, хлопок), искусственные (вискоза, целлюлоза), синтетические (полимерные). Наибольшие перспективы имеют синтетические волокна, они делятся на две группы:

- карбоцепные, содержащие в основной полимерной цепочке только молекулы углерода,
- гетероцепные, содержащие в основной цепи молекулы кислорода, азота и др.

Первая группа делится на четыре вида волокон: полиамидные, полиэфирные, полиуретановые и полимочевинные. Полиуретановые волокна слишком эластичны, полимочевина не допускается к применению в подготовке воды питьевого качества, поэтому наибольший интерес для нас представляют полиамидные и полиэфирные волокна.

Карбоцепные волокна позволяют прививать к основной цепи сополимеры, обеспечивающие специфические свойства. Изменяя привитые сополимеры, можно получить волокна специального назначения: ионообменные, сорбенты, антимикробные, кровеостанавливающие.

Для изъятия взвешенных веществ используют гетероцепные волокна, в основном полиамидные (капрон) и полиэфирные (лавсан). Достоинствами синтетических волокон являются химическая стойкость, малая плотность, высокая удельная поверхность.

Волокнистая насадка должна иметь минимальный инертный объем, максимально развитую поверхность для размещения изымаемых из воды примесей, быть прочной, стойкой в воде, обрабатываемой реагентами, равномерно заполнять объем фильтра. Кроме того насадка должна обеспечивать возможность периодической регенерации от механических примесей, а также обладать небольшим гидравлическим сопротивлением протоку обрабатываемых вод. Силы адгезии взвешенных и коллоидных примесей к твердой поверхности материала должны быть достаточными, чтобы не происходило их вымывание гидродинамическими силами потоков воды.

Большинству этих требований удовлетворяет насадка, изготовленная из синтетических волокон. Наибольший интерес в качестве волокнистых насадок представляют лавсановые и капроновые волокна.

Изложение материала и результаты. В соответствии с химическим составом мономера основу полиэфирных волокон составляет полиэтилентерефталат (ПЭТ), имеющий торговые названия лавсан (Украина), терилен (США), дакрон (бывшая ГДР). Группа полиамидных волокон делится на пять подгрупп, из которых наибольший интерес представляют нити из поликапролактама (ПКЛ), поступающие под торговыми названиями капрон (Украина), нейлон (США), силон (бывшая ГДР).

Стандартное полиэфирное волокно и комплексные нити из него имеют гладкую поверхность и круглое поперечное сечение элементарных нитей. Комплексные нити выпускают блестящими, слабо, нормально или сильно матированными. Основные физические свойства полиэфирных волокон (ПЭВ) следующие:

- поглощение влаги при 20°С и 65%-ной относительной влажности - 0.4%;
- плотность при 25° - 1.38 г/см^3;
- удельная площадь поперечного сечения - $0.73 \cdot 10^{-5}$ см^2/текс (текс - вес 1000 погонных метров нити в граммах;
- температура плавления - 260°С;
- температура липкости - 230-240°С;
- коэффициент объемного расширения при температуре ниже 60°С - $1.6 \cdot 10^{-4}$.

Основные механические свойства лавсановых волокон приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Механические свойства полиэфирных волокон

Показатели	Нити	
	средней прочности	высокой прочности
Прочность, мН/текс	350-450	575-720
Удлинение при разрыве, %	35-30	8-11
Относительная прочность в мокром состоянии, %	100	100
Модуль упругости, МПа/м^2	12000-14000	13500-16000
Модуль сдвига при кручении, МПа	800-1100	1300-1500
Эластичное восстановление, %, после деформации: на 1%	100	100
на 3%	90-100	90-100
на 5%	85-95	85-95

ПЭВ классифицируют как прочное, упругое, эластичное, обладающее малой ползучестью. Допустимая рабочая температура длительной эксплуатации составляет 120-130°С.

Важнейшим преимуществом ПЭВ-нитей является их высокая устойчивость к деформации растяжения - модуль упругости у ПЭВ-нитей составляет величину от 12 до16кН/мм^2, что вдвое выше, чем у полиамидных нитей. ПЭВ обладает вполне достаточной долей замедленно

эластической деформации, что обеспечивает податливость в условиях быстрых ударных нагрузок. Проявляет высокую скорость обратимой деформации в условиях небольших быстрых напряжений.

ПЭВ обладает низкой прочностью в поперечном направлении вследствие его анизотропной структуры. Однако оно не является хрупким волокном и в нем не возникает высоких концентраций поперечно-направленных напряжений, поскольку волокно деформируется и эти напряжения переходят в усиление растяжения.

ПЭВ термопластично, вследствие чего его прочностные характеристики понижаются, а разрывное удлинение возрастает с повышением температуры.

Устойчивость волокон к истиранию в большей степени зависит от характеристик фазовой структуры полиэфира в волокне и от типа волокна (филамент, комплексная нить или штапельное волокно). У ПЭВ этот показатель выше, чем у других химических и натуральных волокон. Устойчивость к истиранию комплексных нитей увеличивается при уменьшении числа филаментов, но при этом прочность при разрыве уменьшается. ПЭ-нити обладают относительно высоким коэффициентом трения по гладким и полированным металлическим поверхностям. Поэтому при их переработке применяют нитепроводы с микрошероховатой матовой поверхностью. Коэффициент трения по матовой поверхности намного ниже, чем по полированной, вследствие уменьшения площади контакта между нитью и поверхностью. ПЭВ является хорошим изолятором.

Важными являются электрокинетические свойства полиэфирных волокон. Такие исследования были проведены нами с использованием прибора для измерения потенциала протекания. Как следует из графика, построенного по результатам исследования (рис. 1), потенциал протекания ПЭВ зависит от скорости движения жидкости относительно волокон. Начиная со скорости 20м/ч и выше, потенциал протекания растет практически в прямо пропорциональной зависимости от скорости протекания. У ПЭВ потенциал протекания выше, чем у капрона, следовательно, они более предпочтительны в качестве насадок для фильтров, используемых для задержания отрицательно заряженных частиц взвешенных веществ, в том числе и микроорганизмов. Все изученные нами синтетические волокна (лавсана, капрона, полипропилена) имели положительный потенциал протекания.

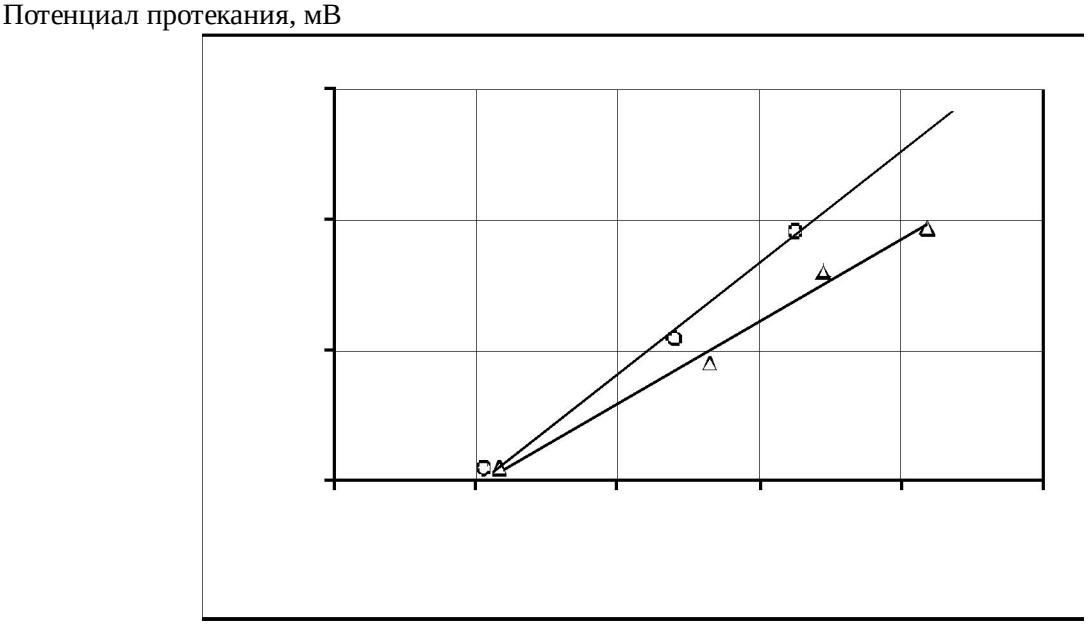

Рисунок 1 - Зависимость потенциала протекания волокнистых насадок от скорости фильтрования (○ПЭВ, Δ капрон)

Полиэтилентерефталат устойчив к ультрафиолетовому облучению, но при длительном воздействии солнечного света деструкция становится заметной, особенно при облучении светом с длиной волны от 300 до 330нм. С помощью методов газожидкостной хроматографии и масспектроскопии установлено, выделение летучих продуктов фотодеструкции: окиси углерода, двуокиси углерода, небольших количеств водорода, метана, воды, формальдегида, бензола и др.; в полимере накапливаются карбоксильные группы.

Ультразвуковые колебания вызывают быстрое уменьшение средних размеров кристаллов. У образцов полиэтилентерефталата низкой степени кристалличности при воздействии ультразвука в течение одного часа уменьшается характеристическая вязкость, которая затем увеличивается и через три часа превышает первоначальную величину. Характеристическая вязкость образцов с высокой кристалличностью увеличивается с первого момента воздействия ультразвука.

ПЭВ поглощает мало воды, у этого полимера влага сорбируется только концевыми группами макромолекул. Эти волокна не набухают в воде, не гигроскопичны и обладают гидрофобностью. Совокупность этих свойств благоприятствует использованию лавсановых волокон в качестве фильтрующего материала. До 70-80°С влияние воды на показатели ПЭВ почти не заметно.

ПЭВ обладает высокой стойкостью к минеральным и органическим кислотам. За исключением очень жестких условий не наблюдается потери массы ПЭВ при кислотном гидролизе, который сопровождается в основном уменьшением степени полимеризации и прочности. Потеря прочности зависит от вида, концентрации и температуры кислоты. ПЭВ растворяется в некоторых органических кислотах так же, как в концентрированной серной кислоте. Полиэфирные волокна стойки к щелочному гидролизу. Это объясняется большой плотностью упаковки полиэтилентерефталата не только в кристаллических, но и в значительной степени упорядоченных аморфных областях.

Действие растворов щелочей, за исключением аммиака и его производных, отличается тем, что оно вызывает растворение волокна, начиная с его поверхности, тогда как вода, кислоты и аммиак разрушают волокно без растворения.

ПЭВ обладает высокой стойкостью к воздействию окислителей и восстановителей. Волокно выдерживает самые ужесточенные условия воздействия окислителями: гипохлоритом натрия, бихроматом калия и перекисью водорода.

Восстановители, например, гидросульфат натрия, также не вызывают изменений показаний волокна. При комнатной температуре органические растворители оказывают очень слабое воздействие на полиэфирное волокно.

Необходимо учитывать, что обработка органическими растворителями нефиксированного волокна может вызывать значительную усадку. Веществами, вызывающими значительную усадку, являются бензол, толуол, ксилол, диэтиловый эфир и хлорсодержащие растворители. ПЭВ имеет хорошую стойкость к длительному воздействию нефти и дизельного топлива.

Полиэфир не является питательной средой для различных микроорганизмов, имеет хорошую стойкость. Однако некоторые виды грибков и бактерий способны расти на загрязнениях, которые появляются на поверхности волокон. Прочностные свойства материала при этом не изменяются, но продукты жизнедеятельности грибков и бактерий могут вызвать изменение материала. Относительно высокая стойкость полиэфира к действию гидролитических ферментов объясняется высокой кристалличностью материала.

Полиамидные волокна имеют такие физические и механические свойства:

- плотность - 1.14 г/см^3;
- температура плавления - 212°С;
- гигроскопичность волокон - 4.5%;
- удельная теплоемкость - 1.51 кДж/кг·°К;
- толщина - 15- мкм 25;
- разрывная прочность - 680-800 МПа;
- удлинение при разрыве в мокром состоянии - 21-27%;
- модуль упругости - 21000-44000 МПа.

К недостаткам капроновых волокон относится низкий начальный модуль, в 4-5раз меньший, чем у лавсановых нитей. Полиамидные волокна очень эластичны; обратимое удлинение порядка 10% обуславливает их устойчивость к многократным деформациям. Число двойных изгибов, которые может выдержать капроновое волокно, в 100 раз выше, чем вискозное.

Теплостойкость капрона ниже, чем у лавсана, уже при 150°С прочность уменьшается на 50%. Это явление отчасти можно предотвратить введением в полимер небольшого количества антиокислителей или стабилизаторов. В этом случае прочность падает только на 10-15%. Капроновые волокна сильно усаживаются при нагревании, имеют гладкую поверхность, плохо сцепляются с другими волокнами, хорошо работают на истирание. По устойчивости к истиранию ПА-волокна превосходят все другие волокна.

В мокром состоянии механические свойства ПА-волокон изменяются следующим образом:

- прочность уменьшается на 10-13%;
- удлинение при разрыве уменьшается на 20-25%;
- разрывное удлинение увеличивается на 3-5%.

ПА-волокна обладают достаточно высокой гидрофобностью, капрон не набухает в воде.

Все полиамидные волокна разрушаются окислителями и недостаточно стойки к действию света. Под действием ультрафиолетового излучения прочность нестабилизированных волокон уменьшается на 40-45%.

Полиамидные волокна устойчивы к действию микроорганизмов и многих химических реагентов, в частности щелочей, но не очень устойчивы к действию минеральных кислот и окислителей.

Краткий обзор полиамидных (капроновых) волокон позволяет заключить, что они, хотя и в меньшей степени, чем полиэфирные, по своим свойствам применимы в качестве материала для волокнистых насадок. При ершовой форме насадок капроновые волокна нежелательно использовать в качестве осевых нитей из-за высокой деформативности.

Важнейшей характеристикой волокон для насадок является их удельная поверхность.

Удельная поверхность волокон определялась методом тепловой десорбции на приборе EMS-31. Сущность метода заключается в том, что при температуре жидкого азота происходит адсорбция газообразного азота из потока газовой смеси азота и гелия на определяемой поверхности вещества. Десорбируемый при последующем нагревании азот определяется детектором по теплопроводности интегратора. Если измерения провести при различных концентрациях азота в газовой смеси, можно вычислить количество азота, покрывающего поверхность вещества мономолекулярным слоем.

Удельная поверхность вычисляется по формуле:

$$S = U_m \cdot 4.39 / W, \text{ м}^2/\text{г},$$

где U_m - количество азота, покрывающего поверхность пробы мономолекулярным слоем, см^3;

4.39 - площадь в м^2, покрываемая 1см^3 азота мономолекулярным слоем;

W - вес пробы, г.

Основные технические характеристики прибора EMS-31:

- пределы измерения удельной поверхности от 0.1 до $500\text{м}^2/\text{г}$;
- количество одновременно обрабатываемых проб - 6;
- регулирование температуры термостата дегазации проб от 313 до 663°K с шагом 10°K;
- стабильность поддержания температуры в термостате детекторов ±0.1°K, в термостате для дегазации - ±0.5°K.

Измерения удельной поверхности ершей из лавсановых, капроновых, полипропиленовых и смеси этих волокон с мононитями капроновой лески показали величины удельной поверхности от 0.05 до 0.4 $\text{м}^2/\text{г}$. В табл. 2 приведены данные по удельной поверхности различных ершей и рекомендуемая густота и вес одного погонного метра ершей различного набора материалов волокон в товарном виде.

Таблица 2 - Технические параметры различных полимерных ершей

№№ пп	Вид ерша	Удельная поверхность, $\text{м}^2/\text{г}$	Вес 1 п.м ерша, г	Длина насадки в 1м^3 объема насадки, п.м.
1.	Ерш из супертонкого капронового волокна	0.2-0.4	40-50	80-160
2.	То же из лавсанового волокна	0.1-0.3	40-50	80-160
3.	Ерш из смеси лески ∅=0.2мм с лавсаном	0.1-0.2	60-70	25-120
4.	Ерш из смеси полипропилена с лавсаном	0.05-0.15	60-70	25-100
5.	Ерш из лески ∅=0.2мм	0.02-0.05	60-70	100-200

Единичное волокно представляет собой филамент. Сплетение отдельных филаментов дает комплексную нить. Волокнистый материал целесообразно располагать в объеме сооружений в виде шнуров полимерных ершей, имеющих диаметр, при котором концы обрезков волокон

вследствие своей упругости сохраняют свое местоположение в объеме сооружений. Экспериментально установлено, что по упругости волокон оптимальными являются диаметры от 60мм для супертонкого волокна до 150мм для лески с диаметром мононити 0.2…0.6мм. ерши из волокна различного диаметра и длины обладают разной удельной поверхностью.

Выводы и направления дальнейших исследований. В результате исследований физико-химических свойств полиэфирных и полиамидных синтетических волокон можно сделать вывод о том что оба типа волокон позволяют их использовать в качестве насадок для задержания взвешенных и коллоидных примесей из природных и сточных вод. Это утверждение подкрепляется достаточной прочностью и упругостью нитей, их стойкостью в водных средах (в том числе химически загрязненных) и сухом виде на свету, стойкостью к воздействию окислителей, высокой удельной поверхностью (что обеспечивает высокую грязеемкость волокнистых насадок), наведением положительного заряда на поверхности волокон (что способствует адгезии изымаемых из воды примесей). Предпочтение следует отдавать полиэфирным волокнам.

Остаются неисследованными вопросы модификации поверхности волокон путем обработки определенными реагентами для изменения свойств волокон в направлении увеличения задерживающей способности насадок. Это перспективное направление дальнейших исследований.

Библиографический список:

1. Омельченко Н.П. Реконструкция шахтных отстойников для увеличения эффекта осветдения / Н.П. Омельченко, В.Р. Пудвиль // Проблемы экологии.- №2. – 2002. – С. 24-29.
2. Омельченко Н.П. Новая технология очистки шахтных вод в подземных условиях / Н.П. Омельченко, В.В. Камышан, В.Р. Пудвиль // Уголь Украины. - №2.- 1992. – С. 54-57.
3. Омельченко Н.П. Новые технологические схемы очистки и повторного использования шахтных вод / Н.П. Омельченко // Геотехнологии на рубеже XXI века : ДонГТУ. - т.3. – 2001. - С. 89-92.
4. Омельченко Н.П. Новые технологии осветления шахтных вод с использованием волокнистых насадок / Н.П. Омельченко, Сытник А.Ю. // Сб. научн. докл. междунар. научно-практ. конф. «Научно-техническое творчество молодежи – путь к обществу, основанному на знаниях». М.: 2009. - С.158-159.
5. Гребенкин С.С. Физико-химические основы технологии осветления и обеззараживания шахтных вод / Гребенкин С.С., Костенко В.К., Матлак Е.С., и др. Донецк: „ВИК”, 2009. – 438 с.

М.П.Омельченко, Л.І.Коваленко

ВОЛОКНИСТІ НАСАДКИ ДЛЯ СИСТЕМ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ

Приведені результати досліджень физико-хімічних властивостей синтетичних поліефірных і поліамідних волокон, які використовуються при устрої волокнистих фільтруючих насадок. Такі насадки мають високу питому поверхню, високу пористість, низький гідравлічний опір. Виявлено явище наведення позитивного заряду на поверхні волокон при протіканні крізь насадку потоку води. Перераховані властивості обуславливают високу ефективність волокнистих насадок, як фільтруючого середовища при освітленні води.

синтетичні волокна, поліефірні і поліамідні волокна, об'ємне фільтрування, волокнисті насадки

M.P.Omeltchenko, L.I.Kovalenko

FIBRED ATTACHMENTS FOR SYSTEMS OF WATER TREATMENT

The results of researches of physical and chemical properties of synthetic polyether and polyamide fibres which are used for the device of filter fibred attachments are resulted. Such attachments have a high specific surface, high porosity, low hydraulic resistance. Found out the phenomenon of aiming of positive charge on-the-spot fibres at flowing through attachment of stream of water. Transferred properties give high efficiency of fibred attachments, as filter environments at lighting up of water.

synfils, polyether and polyamide fibres, volume filtration, fibred attachments