

УДК 622.335 (06)

АНТРАЦИТОВЫЕ ФИЛЬТРАНТЫ

© 2004 г. В.С. Самофалов, М.А. Передерий, Ю.И. Кураков

Anthracite adapts not only as raw material for the carrying out of electrode production, but also as filtrate in the technological processes of water treatment, cleaning of natural and effluents, etc.

В любых технологических схемах приготовления воды (умягчение, обессоливание, опреснение) перед основной технологией удаления примесей требуется избавиться от коллоидных и взвешенных веществ. Для этой цели используются различные системы предварительной обработки воды с последующей фильтрацией. Фильтрация – физико-химический процесс, основанный на адгезии взвешенных и коллоидных примесей воды к зернам фильтрующего материала. Фильтровальные системы применяются в различных областях промышленности для снижения количества взвешенных частиц и мутности воды. В качестве фильтрующих материалов используются химически инертные вещества (кварцевый песок, дробленый антрацит) [1].

В настоящее время в качестве фильтрантов (верхнего слоя двухслойных скорых фильтров) при подготовке воды на электростанциях России (и других стран) широко применяются антрациты. Значительно меньше они используются для очистки природных вод в системе хозяйственно-питьевого водоснабжения. Между тем потенциальная потребность в антраците для хозяйственно-питьевого водоснабжения России (~250 – 300 тыс. т/г.) существенно выше, чем для энергетики. Антрацитовые фильтранты не обладают вредными для человека свойствами, не образуют в воде и воздушной среде токсичных соединений, химически стойки, нерастворимы в нейтральных, щелочных и кислотных водных средах. Они могут быть использованы в качестве загрузки фильтров при водоподготовке для задержания механических примесей, снижения цветности, запаха, содержания органических загрязнений [2].

При использовании антрацитов для производства фильтрующих материалов большую роль играют их физико-механические свойства:

- прочность – способность сопротивляться разрушению под действием напряжений;
- твердость – способность оказывать сопротивление воздействию упругих и пластических деформаций;
- пластичность – способность сохранять деформацию после снятия нагрузки;
- упругость – способность восстанавливать свои первоначальные размеры и форму после снятия деформационных нагрузок;
- хрупкость – разрушение без заметной пластической деформации;

– дробимость – совокупность ряда свойств: твердости, дробимости, трещиноватости.

В фильтровальных сооружениях коммунального хозяйства дробленый антрацит применяется только в качестве верхнего слоя двухслойных скорых фильтров, при этом антрацитовый слой фильтрующей загрузки имеет высоту 0,4 – 0,5 м, а слой находящегося под ним кварцевого песка имеет высоту 0,7 – 0,8 м при крупности зерна 0,5 – 1,2 мм. При движении загрязненной воды или других низкоконцентрированных суспензий через зернистую фильтрующую среду происходит задержание взвешенных частиц, и вода осветляется. Одновременно в фильтрующей загрузке накапливается осадок, увеличивается гидравлическое сопротивление потоку очищаемой воды, что приводит к росту потери напора в загрузке.

Осветление воды фильтрованием – основной рабочий процесс фильтров и контактных осветителей, а изменение гидравлического сопротивления фильтрующей загрузки – сопутствующий процесс, однако оба должны в равной мере учитываться при проектировании и эксплуатации фильтров, а также при подборе материалов для их загрузки. Двухслойная загрузка применяется для того, чтобы в нисходящем фильтровании, используемом в скорых фильтрах, мог быть реализован прогрессивный принцип фильтрования в направлении убывающей крупности зерен фильтрующей среды. Для этого и применяется антрацит, имеющий по сравнению с кварцевым песком меньшую плотность зерен, что позволяет использовать частицы с большим размером и обеспечивать повышенную грязеемкость фильтров [3].

К фильтрующему слою, выполняемому из антрацита, предъявляются весьма жесткие требования по гранулометрическому составу. В соответствии со СНиП 2.04.02-84 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения» дробленый антрацит должен иметь крупность в пределах 0,8 – 1,8 мм, при этом эквивалентный диаметр антрацитовой крошки должен находиться в пределах 0,9 – 1,1, а коэффициент неоднородности зерен составлять 1,6 – 1,8. Довольно жесткие требования предъявляются к зерновой загрузке фильтров по механической прочности и химической стойкости, а также к форме зерна фильтрующего материала.

Применение антрацитовых фильтрантов в водоподготовительных устройствах для загрузки осветительных фильтров, в системах подготовки питательной воды для котлов электростанций (ТЭЦ, ТЭС, ГРЭС, АЭС), в системах очистки воды и промышленных стоков в механических фильтрах на предприятиях химической, пищевой и др. отраслей промышленности, в напорных фильтрах в системе оборотного водоснабжения черной и цветной металлургии, для очистки воды в энергетике и горно-металлургическом комплексе позволяет достигнуть более качественного и эффективного очищения воды по сравнению с ранее применяемой технологией [4].

Помимо всего антрацитовый фильтрант стоек к воздействию агрессивных сред, что позволяет использовать его для фильтрации промежуточных продуктов в химическом производстве.

Использование фильтранта крупностью 3 – 5 мм для очистки сточных вод предприятий пищевой промышленности позволило снизить содержание взвешенных веществ на 97 %, органических примесей на 54 %, масел на 99 %. Применение его для глубокой очистки биологически очищенных сточных вод, доочищенных фильтрованием через щебень, позволяет снизить содержание органических загрязнений и нефтепродуктов до требований, предъявляемых к качеству сточных вод, сбрасываемых в водоемы рыбохозяйственного пользования.

В схемах очистки с использованием ионитовых мембран требования к удалению из воды тонкодисперсных частиц возрастают. Их удаление на угольных фильтрах позволяет существенно снизить расход ионитов, облегчить их регенерацию и улучшить условия эксплуатации анионитов и катионитов. Применение современной мембранной технологии обработки воды без высококачественной очистки её от взвесей невозможно [5].

Сорбционные свойства антрацитовых фильтрантов проявляются за счет имеющихся в антраците макропор с радиусом кривизны 50 – 200 нм и протяженностью, не превышающей 10 мкм. Сорбционная емкость образцов (удельная адсорбция по ХПК 3 – 7 мг O₂/г) в 2 – 3 раза ниже, чем у активного угля марки СКТ. Фильтры из антрацита имеют следующие преимущества перед традиционными фильтрами из кварцевого песка: в 2 раза ниже насыпная масса загрузки; в 1,5 раза меньше расчетная интенсивность промывки восходящим потоком воды; на 20 % выше расчетная грязеемкость фильтров; срок работы увеличивается в 2,5 раза.

Исследовались пробы антрацитов ПО «Ростовуголь» (ш. Несветай), ПО «Антрацитуглеобогашение» (ЦОФ «Свердловская»), ПО «Гуковуголь» (Некрасовская база) Донецкого бассейна на их пригодность в качестве фильтрантов. Были определены углехимические, петрографические и прочностные показатели. Установлено, что концентраты антрацитов по зольности и выходу летучих веществ удовлетворяют требованиям, предъявляемым к фильтрантам. По физико-механическим свойствам антрациты ш. Несветай обладают высокой микротвердостью (1 ГПа), но микрохрупкость их не очень высокая (5 %), что определяет их значительную трещиноватость (0,5 мм⁻¹). В целом все исследованные антрациты являются благоприятным сырьем для производства фильтрующих материалов.

В качестве исходного сырья для организации производства фильтрующего материала на ПО «Гуковуголь» исследовалась крошка антрацита шахт «50 лет Октября», «Алмазная» и ОФ «Замчаловская» Донецкого бассейна. Крупность зерен угольной крошки – 1 – 3 мм. Крупность зерен фильтрующего материала,

используемого для очистки воды (в зависимости от типа фильтров и скорости фильтрации), отличается большой разнообразностью и с отклонениями ± 10 % может иметь следующие значения:

- 1 – 2 мм для предварительных фильтров (с.ф. 3 – 5 м/ч);
- 1,5 – 2,5 мм для крупнозернистых фильтров (с.ф. 10 м/ч);
- 0,5 – 1,2 мм, 0,7 – 1,5 и 0,9 – 1,8 мм для скорых фильтров (с.ф. 6 – 10 м/ч);
- 0,3 – 1,0 мм для медленных фильтров (с.ф. до 0,2 м/ч).

Антрацитовая крошка указанных шахт включает в свой гранулометрический состав от 20 до 50 % целевого продукта, поэтому осуществляли её рассев с выделением целевой фракции и дроблением остального материала до нужного размера. Потери при дроблении на лабораторной установке антрацитов шахт «50 лет Октября» и «Алмазная» были практически одинаковыми и составили ~16 %, при этом коэффициенты неоднородности этих дробленых антрацитов также были одинаковы, а дробленный антрацит ОФ «Замчаловская» оказался более однородным – коэффициент его неоднородности ниже. Все исследованные образцы антрацита имели хорошие структурные показатели и достаточно высокую механическую прочность. По физическим свойствам наилучшими характеристиками обладал образец ОФ «Замчаловская». По совокупности физических свойств и химическому составу антрациты всех трех шахт отвечают требованиям, предъявляемым к фильтрующим материалам [6].

ООО «Райграс» поставляет на рынок фильтрующий материал – «подготовленный антрацит-фильтрант», изготавливаемый из высококачественных, высокопрочных, низкзолных, низкосеросодержащих сортов антрацита [7]. По своим свойствам «подготовленный антрацит – фильтрант» предназначен для первичной очистки воды и используется в системах подготовки питьевой воды для котлов АЭС, ТЭЦ, ГРЭС, ТЭС, металлургических комбинатов, химической и нефтеперерабатывающей промышленности и в многоступенчатом цикле подготовки воды из поверхностных и подземных источников. Подготовленный антрацит обладает высокой механической прочностью, достаточной химической стойкостью. При использовании в качестве фильтрующего материала для загрузки осветлительных фильтров в системах промышленного водоснабжения, в качестве подстилающего и поддерживающего слоя фильтров он отвечает предъявляемым требованиям: содержание серы – до 1 %; зольность – до 6; измельчаемость – до 2,5; истираемость – до 0,25 %.

Размер зерен подготовленного антрацита диктуется способом его применения и областью использования фильтрующей загрузки. Так для устройства поддерживающего слоя (ПС) осветлительных фильтров в системе водоочистки применяются зерна фракций 1,5 – 3,0 мм; 2,0 – 5,0; 1,6 – 4,0 и 2,0 – 6,0 мм. Для устройств фильтрующей загрузки (ФЗ) в тех же системах применяются фракции 0,5 – 1,5 мм; 0,5 – 2,0; 0,6 – 1,6; 0,8 – 2,0 мм.

Фильтраты крупностью 2(3) – 5(6) мм могут применяться в двухслойных (антрацитовых) напорных фильтрах конструкции НИПИ «Энергосталь», российского производственного предприятия «ТЭКО-ФИЛЬТР» и других аналогичных по конструкции отечественных и зарубежных фильтрах для доочистки сточных вод основных и вспомогательных цехов металлургического производства. Диапазон скоростей фильтрования до 50 м³/ч, продолжительность составляет 12 – 48 ч, эффект очистки от взвешенных частиц – до 95, от масел – до 99 %. Продукции присвоен код ОКП – 216236, группы 73 – 040 (A12).

Межрегиональная группа компаний «СПЕКТР» производит антрацит-фильтрант марки «Purolat-standart» из высокоуглеродистых и низкзолельных антрацитов [8]. Фильтрант рекомендуется к применению как фильтрующий материал для одно-, двух- и многослойных зернистых водоочистных напорных и безнапорных фильтров, предназначенных для очистки и доочистки промышленных и бытовых сточных вод, а также для циклов предварительной фильтрации в ионообменных циклах водоочистки. Низкая зольность антрацита (< 4,5 %, по санитарно-гигиеническим нормам требуется < 5 %) делает возможным его применение для очистки питьевой воды. Высокая естественная пористость добываемого угля (не менее 38 %) позволяет получать конечный продукт, отличающийся повышенными гидродинамическими характеристиками и высокой грязеемкостью (аналог «Гидроантрацит-Р», производства CWG, Германия), что является прямым показателем эффективности фильтрации.

Наиболее широкое распространение получило использование антрацита-фильтранта этой марки не как самостоятельного фильтрующего материала, а как материала для предварительной фильтрации в ионообменных циклах водоочистки. Его применение в циклах ионообменной водоочистки снижает нагрузку на ионообменные фильтры, что позволяет резко снизить загрязняемость ионообменных смол и таким образом увеличить срок их службы. Удаление из воды взвешенных частиц понижает давление продавливания воды через фильтр, а извлечение органических соединений (в частности нефтепродуктов) может коренным образом изменить картину работы смол, страдающих от забивания своих активных связей органическими соединениями. Применение коагулянта в комплексе с антрацитом увеличивает процент извлечения загрязняющих веществ в среднем на 20 – 35 %. Таким образом, исходя из соотношения стоимости антрацита «Purolat-standart» и применяемых ионообменных смол, можно оценить экономический эффект применения антрацита-фильтранта.

В промышленном производстве фильтрантов из антрацита исходный антрацит подвергается дроблению, сушке и рассеvu на фракции в соответствии с требованиями к фильтранту определенного назначения.

Лабораторную пробу антрацита шахты «Шерловская – Наклонная» сушили при температуре 105 ± 5 °С до постоянного веса и исследовали по основным показателям качества, характеризующим пригодность материала к использованию в качестве фильтранта (в соответствии с Техническими условиями ТУ 0321 – 001 – 54874681 – 01 – Фильтрующий материал «Фильтроантрацит»).

Изучали механическую прочность и химическую стойкость антрацита шахты «Шерловская – Наклонная» (в таблицах использовали сокращенное обозначение: «Ш-Н»), для чего от лабораторной пробы была отсеена фракция < 2,0 мм. Для сравнения по тем же параметрам исследовали антрацит ОФ «Замчаловская» ПО «Гуковуголь», который, как было отмечено выше, рекомендуется к использованию как фильтрант высокого качества. Ситовой состав двух исследуемых антрацитов, а также их эквивалентные диаметры и коэффициенты неоднородности представлены в табл. 1.

Таблица 1

Ситовой состав антрацитовых фильтрантов

Показатель	Величина показателя для антрацита, %	
	ОФ «Замчаловская»	ш. «Ш-Н»
Размер зерна, мм:		
– < 0,25	0,03	0,04
– 0,25 – 0,5	12,3	10,2
– 0,5 – 1,0	23,2	25,8
– 1,0 – 1,5	17,6	28,0
– 1,5 – 2,0	43,3	34,5
– > 2,0	3,6	1,46
Итого: 0,5 – 2,0	84,1	88,3
Эквивалентный диаметр, мм:	0,753	0,747
d ₈₀ %	1,3	1,0
d ₁₀ %	0,40	0,45
Коэффициент неоднородности, K _н = d ₈₀ /d ₁₀	3,2	2,2

Как видно из таблицы, в антрацитовой крошке ОФ «Замчаловская» в большем количестве присутствует крупная фракция 1,5 – 2,0 мм, что и определяет его более высокий эквивалентный диаметр частиц. Распределение процентного содержания материала по фракционному составу для антрацитовой крошки ш. «Шерловская – Наклонная» более равномерно, ниже содержание мелких фракций менее 0,5 мм с преобладанием более крупных частиц в этой фракции, что в целом обуславливает более низкий показатель неоднородности этого материала. Эту особенность антрацита ш. «Шерловская – Наклонная» можно объяснить его более высокой стадией метаморфизма и одно-

родностью петрографического состава, положительно сказывающимся на его прочности, благодаря чему при дроблении образуется меньше мелочи.

Оба образца антрацитовой крошки с фракционным составом, приведенным в табл. 1, исследовали на механическую прочность по истираемости и измельчаемости и на химическую стойкость. Одним из основных требований к фильтрующим материалам для механической очистки воды на ТЭС являются их высокие прочностные показатели, гарантирующие сохранение узкого фракционного состава в течение длительного времени работы фильтра. В настоящее время в качестве единственных нормативных показателей, позволяющих в некотором приближении наиболее достоверно оценить прочностные свойства, являются истираемость и измельчаемость. Механически прочным считается материал, если его измельчаемость не превышает 4,0, а истираемость – 0,5 %.

Существуют достаточно высокие требования к химико-технологическим свойствам антрацитов, применяемых в качестве фильтрантов. Фильтрующие материалы работают порой в крайне жестких условиях, поэтому (помимо прочности) установлено требование химической стойкости фильтрантов. В угольных зернах должны отсутствовать загрязняющие очищаемую воду ионы тяжелых металлов и кремнекислых соединений, способных вызвать изменение рН растворов от 1 до 14. Химически стойким называется материал в тех случаях, когда прирост сухого остатка не превышает 20 мг/л, а прирост окисляемости – до 10 мг/л.

На химическую стойкость угольного фильтранта основное влияние оказывает количественный и качественный состав минеральной части.

Результаты тестирования образцов по названным показателям представлены в табл. 2. Химическая стойкость в данном случае оценивалась по приросту «сухого остатка», т.е. остатка после выпаривания раствора, получающегося после обработки испытуемого образца в водопроводной воде, растворе щелочи или хлористого натрия, а также по приросту перманганатной окисляемости соответствующего раствора.

Данные табл. 2 позволяют сделать вывод, что фильтрант из антрацита шахты «Шерловская – Наклонная», так же, как и ранее признанный пригодным к использованию в качестве фильтранта антрацит ОФ «Замчаловская» ПО «Гуковуголь», соответствует требованиям на химическую стойкость и механическую прочность, предъявляемую к зернистым фильтрующим материалам.

При этом фильтрант из антрацита шахты «Шерловская – Наклонная» имеет более высокие показатели прочности и химической стойкости, что может быть объяснено более высокой степенью метаморфизма этого антрацита и меньшим содержанием в нем минеральных компонентов по сравнению с антрацитом ОФ «Замчаловская».

Таблица 2

Механическая прочность и химическая стойкость антрацитов

Показатель	Величина показателя	
	ОФ «Замчаловская»	ш. «Ш-Н»
Химическая стойкость по приросту:		
сухого остатка, мг/л		
– водопроводная вода	9,5	5,0
– NaOH	5,0	3,6
– NaCl	4,0	4,2
перманганатной окисляемости, мгО ₂ /л		
– водопроводная вода	0,4	0,32
– NaOH	2,6	2,1
– NaCl	1,6	1,8
Измельчаемость, %	3,82	3,14
Истираемость, %	0,18	0,15

Помимо исследованных показателей прочности большое значение имеют такие прочностные характеристики, как микротвердость, хрупкость, удельная микротрещиноватость. Хрупкость антрацитов – один из основных факторов, определяющих механическую устойчивость ко многим разрушающим воздействиям. Поэтому, используя этот показатель, можно прогнозировать применимость антрацита в конкретном направлении технологического использования [9].

Прочностные свойства антрацитов, определяющие качество фильтрующих материалов, во многом зависят от трещиноватости: размеров, протяженности, частоты трещин и их происхождения. Знание трещиноватости дает возможность прогнозировать получение фильтранта требуемого фракционного состава при заданной механической прочности, определять оптимальные режимы размола и отсева углей при производстве фильтрующих материалов. Фильтрующие материалы, в зависимости от назначения, могут иметь размер частиц от 0,8 до 6,0 мм, а частота трещин меняется: от 50 на 5 см длины витринитовых прослоев для наиболее хрупких антрацитов и до 0,5 на 5 см длины для наиболее прочных. Для получения фильтрующего материала фракционного состава 3 – 5 мм пригодны антрациты с трещиноватостью менее 15 трещин на 5 см длины [10].

Степень метаморфизма и петрографический состав углей также влияют на эффективность его использования в качестве сырья для получения фильтрующих материалов [9]. Фюзенизированные угли более устойчивы к воздействию кислых и щелочных сред. В связи с тем, что в фюзенизированных углях менее выражена трещиноватость, из них можно получать фильтрующие материалы более крупного фракционного состава, однако

при добыче и переработке они образуют больше пыли, которая налипает на частицы, что осложняет фракционирование дробленого материала.

Для комплексной оценки пригодности антрацита ш. «Шерловская-Наклонная» в качестве основы для получения фильтранта дополнительно изучали такие прочностные показатели как микротвердость, число хрупкости и удельная микротрещиноватость [10]. Для сравнения, так же, как и выше, исследовали по этим показателям антрацит ОФ «Замчаловская». Результаты исследования приведены в табл. 3.

Таблица 3

Физико-механические свойства антрацитов

Исследуемая проба антрацита	Микротвердость, 10^{-1} МПа	Число хрупкости, %	Удельная микротрещиноватость, мм^{-1}
ОФ «Замчаловская»	97	5	0,8
ш. «Ш-Н»	101	4	0,5

Как видно из таблицы, более метаморфизированный антрацит шахты «Шерловская-Наклонная» имеет по сравнению с принятым аналогом лучшие показатели по микротвердости и удельной микротрещиноватости, уступая незначительно по показателю «число хрупкости».

Антрациты-фильтранты получили широкое использование в качестве фильтрующего материала для предварительной очистки воды в ионообменных системах водоочистки, поэтому фильтрант на основе антрацита шахты «Шерловская-Наклонная» исследовали на степень извлечения из воды различных типов химических веществ в соответствии со СНИП 2.1.4.559-96. Результаты эксперимента представлены в табл. 4.

Как видно из таблицы, использование фильтранта из антрацита шахты «Шерловская-Наклонная» для предварительной очистки воды перед ионообменными фильтрами позволяет достичь степени очистки по большинству контролируемых показателей более 50 % и довести содержание многих загрязнителей до ПДК и ниже. Таким образом, можно сделать вывод, что применение этого фильтранта в циклах ионообменной водоочистки очень эффективно, так как снижает нагрузку на ионообменные фильтры, что позволяет резко снизить загрязняемость ионообменных смол и увеличить срок их службы.

По описанной выше технологии была наработана экспериментальная партия антрацитового фильтранта для опытно-промышленных испытаний в системе подготовки воды природных источников для хозяйственно-бытовых нужд. Результаты испытаний в соответствии с ГОСТ 2874-82 представлены в табл. 5.

Таблица 4

Показатели предварительной очистки воды на фильтранте из антрацита шахты «Шерловская-Наклонная»

Определяемый показатель	ПДК, $\text{мг}/\text{дм}^3$	Содержание, $\text{мг}/\text{дм}^3$		Степень очистки, %
		до очистки	после	
Мутность	1,50	13,60	0,93	93,0
pH	6 – 9	6 – 9	5 – 7	–
Нитраты	45,00	7,20	6,85	–
Нитриты	3,00	0,60	0,57	5,0
Алюминий	0,50	1,55	0,15	90,3
Железо	0,30	1,50	0,28	81,4
Медь	1,00	0,49	0,25	49,0
Никель	0,10	0,17	0,16	5,9
Цинк	5,00	5,12	4,58	10,6
Свинец	0,03	0,09	0,06	33,3
Нефтепродукты	0,10	0,33	0,09	72,7
CCl_4	0,006	0,14	0,043	69,3
1,2-дихлорэтан	0,03	1,05	0,28	73,3

Таблица 5

Показатели качества воды до и после очистки на антрацитовом фильтранте

Показатель	ГОСТ 2874-82	Величина показателя		Степень очистки, %
		исходная	очищенная	
Цветность, град.	20	15	6,2	58,7
Прозрачность, см	30	30	30	–
pH	6 – 9	6,8	7,2	–
ХПК, $\text{мг O}_2/\text{л}$	15,0	25,6	7,7	69,9
БПК, $\text{мг O}_2/\text{л}$	3,0	2,1	1,8	15,3

Выполненный комплекс испытаний специально подготовленного антрацита шахты «Шерловская-Наклонная» убедительно показывает его пригодность для применения в качестве фильтранта в фильтрах механической очистки воды для различных нужд. Такое направление использования антрацита является перспективным и экономически обоснованным.

Окончание табл. 5

Показатель	ГОСТ 2874-82	Величина показателя		Степень очистки, %
		исходная	очищенная	
Содержание, мг/л:				
СПАВ	0,1	0,12	0,05	58,3
Сухой остаток	25	25	14,5	42,0
Взвешенные вещества	18,5	12,5	3,3	73,6
Нефтепродукты	0,05	0,11	0,04	63,6
Азот:				
– аммонийный	2,6	2,7	2,1	22,3
– нитритный	3,3	0,02	0,017	10,0
сульфаты	500	28,1	17,4	38,1
хлориды	350	4,1	2,7	33,4
железо	0,3	0,21	0,15	26,7
алюминий	0,5	0,25	0,16	34,8
медь	1,0	0,003	0,001	66,7
Жесткость, мг-экв/л	7,0	3,04	2,04	32,9

Литература

1. Мельцер В.З. // Городское хозяйство и экология. 1996. № 3. С. 25.
2. Гамаюнов Н.И., Шульман Ю.А. // ХТТ. 1991. № 3. С. 32.
3. Мельцер В.З. Фильтровальные сооружения в коммунальном водоснабжении. М., 1995.
4. <http://www.Ukrintersnab.ru>.
5. <http://www.cement.ukrbiz.net>.
6. <http://www.promtehugol.ru>.
7. <http://www.stokma.narod.ru>.
8. <http://www.spectrgroup.ru>.
9. Тайц Е.М., Тябина З.С. // Материалы Всесоюзн. совещания по физическим свойствам углей. М., 1961. С. 44.
10. Аммосов И.И., Еремин И.В. Трещиноватость углей. М., 1960.

Шахтинский институт

Южно-Российского государственного университета

13 января 2004 г.