

УДК 628.34

**Л.М. Игнарина<sup>1</sup>**,  
начальник химической службы,  
**Р.А. Низамеева<sup>1</sup>**,  
заместитель начальника химической службы по аналитической работе,  
**Д.Р. Акчурина<sup>1</sup>**,  
инженер лаборатории химической службы  
(ООО «Инженерный центр «Энергопрогресс»)

## Импортозамещение в области подготовки воды на ТЭС ОАО «Генерирующая компания»

В статье описаны результаты исследований по выбору оптимальных марок ионообменных смол и фильтрующих материалов для эксплуатации в схемах химводоочистки энергосистемы в зависимости от схемы водоподготовки и качества исходной воды.

### Ключевые слова:

ионообменные смолы, фильтрующие материалы, обменная емкость, грязеемкость, химическая стойкость, механическая прочность, удельная нагрузка.

**В** схемах подготовки обессоленной воды для питания энергетических котлов высокого давления и подготовки подпиточной воды теплосети используются ионообменные смолы и фильтрующие сорбенты. Стоимость каждого материала достаточно высокая и в балансе себестоимости имеет существенную составляющую – от 15 до 20%.

Совершенствование технологий подготовки воды с целью снижения расхода реагентов и воды на собственные нужды, поиск материалов с хорошими технико-экономическими показателями и разумной стоимостью является основной задачей работы химической службы.

До настоящего времени специалистами ИЦ «Энергопрогресс» был исследован ряд сильнокислотных и карбоксильных катионитов, а также сильноосновных анионитов отечественного и зарубежного производства. Испытания ионитов в лабораторных условиях в соответствии с действующими нормативными документами [1-5] на соответствие сертификату качества не отражают фактора негативного воздействия на них железо-органических соединений, присутствующих в обрабатываемой воде. Поэтому испытания

проводились в конкретных условиях эксплуатации на Казанской ТЭЦ-1, Набережночелнинской ТЭЦ и Заинской ГРЭС. В ходе работы контролировались все технико-экономические показатели (обменная емкость, расход реагентов и воды на собственные нужды, качество фильтрата). Главным критерием оценки было определение степени сорбции и десорбции ионообменными смолами железо-органических соединений. Низкая десорбция органических соединений приводит к необратимому процессу их отравления и, соответственно, к снижению срока их эксплуатации. По полученным результатам были сделаны выводы, что отечественные ионообменные смолы имеют положительные технологические показатели при стоимости в 1,5-2 раза ниже зарубежных аналогов, и на основе этих данных были выданы рекомендации по их применению.

В 2015 году была проведена работа по исследованию фильтрующих материалов – антрацитов различных марок как отечественного, так и зарубежного производства. На энергопредприятиях загрузка фильтрующих слоев механических фильтров и поддерживающих слоев ионитовых фильтров в схемах подготовки воды должна проводиться антрацитом, отвечаю-

<sup>1</sup> 420080, Россия, РТ, г. Казань, пр-кт Ямашева, д. 10.

щим требованиям п. 7.1.2.6 СТО 70238424.27.100.031-2009 [6]. Согласно [6], для приготовления фильтрующей загрузки и поддерживающих слоев должен быть использован антрацит с зольностью до 10%, истираемостью до 1%, измельчаемостью до 5%. Антрацит, используемый для механических и ионитовых фильтров обессоливающих установок, должен быть стоек химически, при контакте с ним приращение в воде кремнесодержания ( $\text{SiO}_3^{2-}$ ) не должно превышать 2 мг/дм<sup>3</sup>, окисляемости (по  $\text{O}_2$ ) – 8 мг/дм<sup>3</sup>, сухого остатка – 10 мг/дм<sup>3</sup>. Размер частиц антрацита, загружаемого в фильтры в качестве поддерживающих слоев, должен быть от 2 до 5 мм, в качестве фильтрующей загрузки – от 0,6 до 1,4 мм.

Долгое время отечественная промышленность не выпускала антрацит, соответствующий вышеуказанным требованиям. Для этих целей на электростанции поставлялся антрацит, не соответствовавший требованиям по фракционному составу, состоявший в основном из частиц размером от 3 до 10 мм и обладавший низкой механической прочностью. Как следствие, качество фильтрованной воды не соответствовало установленным нормам по содержанию взвешенных веществ. Кроме того, ежегодный износ антрацита составлял от 20 до 30% при норме не более 10%.

В сложившейся ситуации предложение иностранных фирм было актуальным. И с 2008 года для загрузки механических фильтров и поддерживающих слоев ионитовых фильтров стал приобретаться антрацит марки «Аква-Сайт» (AQUA-CITE®) производства фирмы Aqua-TECHNIEK B.V. (Голландия) и гидроантрацит марки «Эверзит-Н» (EVERZIT® N) производства фирмы EVERS GmbH & Co. KG (Германия).

В настоящее время на рынке фильтрующих материалов появился аналогичный по качеству и более дешевый отечественный антрацит «Аквалат» производства ООО «Терсь» г. Шахты Ростовской области.

Технические характеристики антрацитов «Эверзит» и «Аквалат» представлены в табл. 1, 2.

**Таблица 1. Технические характеристики антрацита «Эверзит»**

Наименование показателя	Норма
Содержание углерода, %	92,0
Влажность, %	2,0
Зольность, %	3,5
Содержание летучих веществ, %	5,5
Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	Около 700
Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,40-1,45
Пористость зерен, %	< 10
Твёрдость по Моосу	Около 4
Индекс размалываемости по Хардгроуву	Около 32°
Истираемость, %	≤ 0,1

**Таблица 2. Показатели качества антрацита «Аквалат»**

Наименование показателя	Норма	Метод определения
Массовая доля золы, %, не более	5	ГОСТ 11022
Массовая доля общей серы, %, не более	1	ГОСТ 2059
Массовая доля влаги, %, не более	4	ГОСТ Р 52911
Насыпная плотность, г/см <sup>3</sup>	0,7-0,9	ГОСТ Р 51641
Механическая прочность:		
Измельчаемость, %, не более	0,7-0,9	ГОСТ Р 51641
Истираемость, %, не более	0,7-0,9	
Химическая стойкость в модельных растворах:		
Прирост окисляемости, мг/дм <sup>3</sup> , не более	8	ГОСТ Р 51641
Прирост массовой концентрации кремниевой кислоты в пересчете на кремний, мг/дм <sup>3</sup> , не более	2	
Прирост сухого остатка, мг/дм <sup>3</sup> , не более	10	
Прирост суммарной массовой концентрации алюминия и железа в пересчете на оксиды (III)*, мг/дм <sup>3</sup> , не более	2	

\* суммарное содержание  $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$

В технических условиях ТУ-2164-001-12148148-2009 на антрацит марки «Аквалат» и описании гидроантрацита «Эверзит» не указывается, что они должны соответствовать требованиям отраслевого документа [6]. При этом технические условия на антрацит марки «Аквалат» и требования [6] идентичны по механической и химической стойкости. Поэтому первоначально были выполнены входной контроль их качества на соответствие требованиям [6] и сравнительный анализ результатов входного контроля.

По результатам исследования на данном этапе работы был сделан вывод, что антрациты марок «Эверзит» и «Аквалат» отвечают требованиям, предъявляемым к качеству фильтрующей загрузки механических фильтров и поддерживающих слоев ионитовых фильтров по фракционному составу, механической прочности и химической стойкости в нейтральной и щелочной средах, указанных в [6], однако не соответствуют требованиям по химической стойкости в кислой среде.

Предварительные кислотные и щелочные обработки антрацита этих марок, что допускается [6], показали их эффективность: они позволили снизить прирост соледержания и содержания железа до нормативного значения. Антрацит указанных марок может применяться в качестве фильтрующей загрузки механических фильтров и поддерживающих слоев анионитовых фильтров, а после предварительной кислотной промывки – в качестве поддерживающих слоев Н-катионитовых фильтров.

Затем испытание антрацита марок «Эверзит» и «Аквалат» было продолжено на ТЭЦ в условиях эксплуатации механических фильтров в схеме предварительной очистки воды. На данном этапе контролировалось качество фильтрата с определением грязеемкости антрацита и последующим сравнительным анализом по этим показателям. Грязеемкостью фильтрующего материала называют количество механических примесей, задержанных фильтром за рабочий период, выраженное в килограммах и отнесенное к 1 м<sup>3</sup> фильтрующей загрузки [7].

Через лабораторные колонки, загруженные антрацитом исследуемых марок, пропускали со скоростью 10 л/ч известково-коагулированную воду (согласно режимной карте), которая является исходной для данной установки. Показатели качества известково-коагулированной воды в период наблюдений представлены в табл. 3.

Качество фильтрата контролировалось по тем же показателям (результаты представлены в табл. 4).

Испытания антрацита в схеме предварительной очистки воды ТЭЦ позволили сделать вывод, что качество фильтрата фильтров, загруженных антрацитом исследуемых марок, соответствует требованиям, предъявляемым к осветленной воде. Однако при этом качество фильтрата антрацита «Аквалат» несколько лучше по содержанию механических при-

**Таблица 3. Качество известково-коагулированной воды в период наблюдений**

Показатель	Результат
Жесткость общая, мг-экв/дм <sup>3</sup>	2,5-2,8
Щелочность фенольная/общая, мг-экв/дм <sup>3</sup>	0,3-0,4/0,45-0,6
Щелочность гидратная, мг-экв/дм <sup>3</sup>	0,15-0,2
Содержание железа, мкг/дм <sup>3</sup>	47,0-219,0
Содержание кремнекислоты, мг/дм <sup>3</sup>	9,8-11,83
Содержание взвешенных веществ, мг/дм <sup>3</sup>	0,95-1,72
Окисляемость, мг O <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	3,12-3,84
Водородный показатель, ед. рН	10,07-10,32

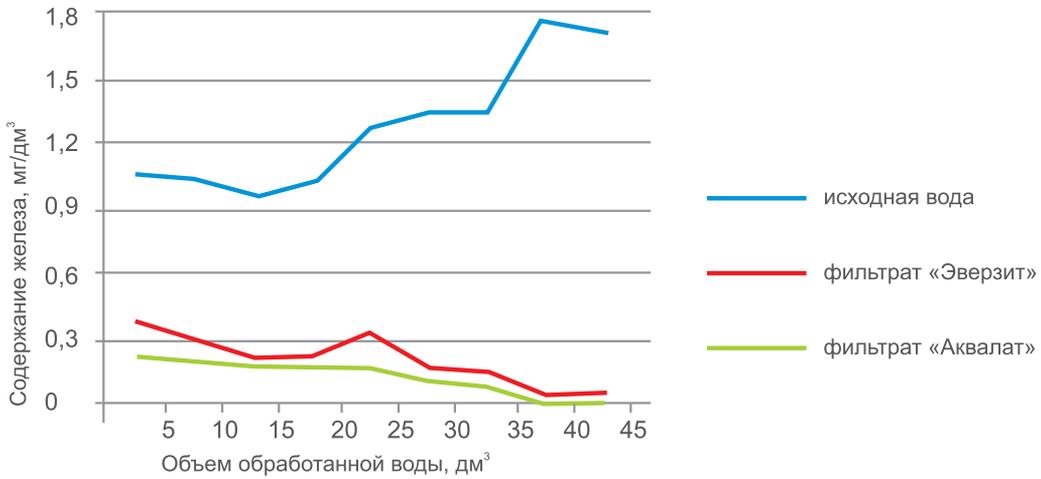
**Таблица 4. Качество фильтрата после фильтров, загруженных антрацитами «Эверзит» и «Аквалат»**

Показатель	«Эверзит»	«Аквалат»
Жесткость общая, мг-экв/дм <sup>3</sup>	2,4 – 2,8	2,4 – 2,7
Щелочность фенольная/общая, мг-экв/дм <sup>3</sup>	0,25 – 0,4/ 0,4 – 0,66	0,28 – 0,4/ 0,35 – 0,55
Щелочность гидратная, мг-экв/дм <sup>3</sup>	0,05 – 0,18	0,05 – 0,25
Содержание железа, мкг/дм <sup>3</sup>	30,0 – 188,0	25,0 – 130,0
Содержание кремнекислоты, мг/дм <sup>3</sup>	9,2 – 11,4	8,9-11,3
Содержание взвешенных веществ, мг/дм <sup>3</sup>	0,0 – 0,39	0,0 – 0,33
Окисляемость, мг O <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	2,08 – 2,88	2,2 – 2,56
Водородный показатель, ед. рН	9,81 – 10,26	9,87 – 10,28

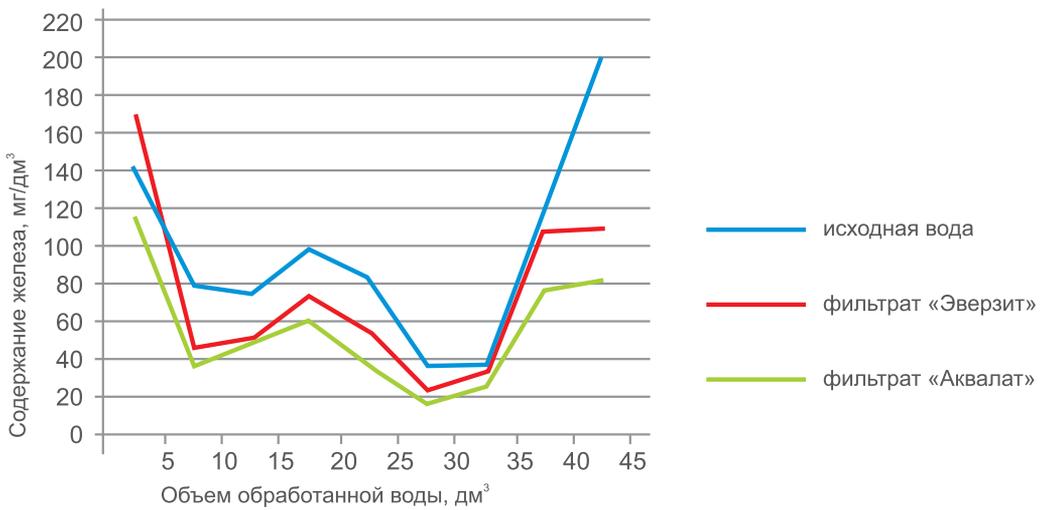
месей, железа, перманганатной окисляемости. Для наглядности динамика изменения качества фильтрата в зависимости от количества очищенной воды и качества исходной (известково-коагулированной воды) представлена на рис. 1, 2 и 3.

Из приведенных на рис. 1-3 диаграмм видно, что в период испытаний качество исходной известково-коагулированной воды и фильтрата отвечало требованиям, соответственно, на известково-коагулированную и осветленную воду; качество фильтрата зависит от качества исходной известково-коагулированной воды, однако при этом содержание механических примесей, железа, органических соединений в фильтрате после антрацита «Аквалат» несколько ниже, чем их содержание в фильтрате после антрацита «Эверзит». Таким образом, создаются более благоприятные условия для последующей работы Н-катионитовых и анионитовых фильтров обессоливающей установки.

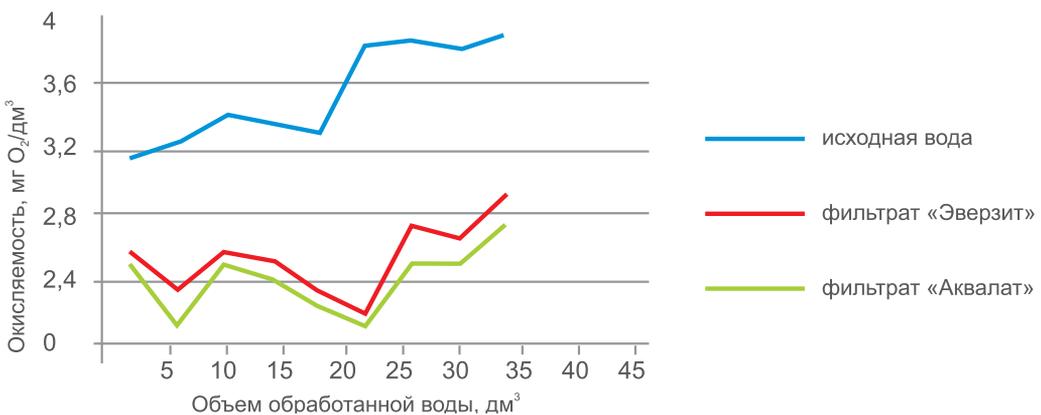
При испытании в условиях химводоочистки ТЭЦ через каждый лабораторный фильтр было пропущено по 45 л воды. При этом лабораторным фильтром, загруженным антрацитом «Эверзит», было задержано 513 г на 1 м<sup>3</sup> антрацита взвешенных веществ; лабораторным фильтром, загруженным антрацитом «Аквалат», было задержано 526,5 г на 1 м<sup>3</sup> антрацита взвешенных веществ. Снижения удельной нагрузки фильтров и ухудшения качества фильтрата (превышение содержания взвешенных веществ более 2 мг/дм<sup>3</sup>) не наблюдалось.



**Рис. 1. Динамика изменения содержания механических примесей в исходной известково-коагулированной воде и в фильтрате, мг/дм³**



**Рис. 2. Динамика изменения содержания железа в исходной известково-коагулированной воде и фильтрате, мкг/дм³**



**Рис. 3. Динамика изменения содержания органических веществ (в пересчете на перманганатную окисляемость) в исходной известково-коагулированной воде и в фильтрате, мг O₂/дм³**

Принимая во внимание невысокое содержание взвешенных веществ в известково-коагулированной воде ТЭЦ, было решено продолжить определение грязеемкости с применением в качестве исходной воды раствора, содержащего механические примеси в количестве 10 мг/дм<sup>3</sup>, что соответствует предельно допустимому значению содержания механических примесей в известково-коагулированной воде. При этом также контролировались удельная нагрузка, качество исходной воды и фильтрата по таким показателям, как содержание железа, взвешенных веществ, общая жесткость и окисляемость. Содержание механических примесей в фильтрате более 2,0 мг/дм<sup>3</sup> было достигнуто после пропускания через фильтр, загруженный антрацитом:

- марки «Эверзит». При пропуске 3,5 литра модельного раствора количество дополнительно задержанных механических примесей составило 0,35 кг на 1 м<sup>3</sup> антрацита;
- марки «Аквалат». При пропуске 4,5 литра модельного раствора количество задержанных механических примесей составило 0,45 кг на 1 м<sup>3</sup> антрацита.

Общая грязеемкость фильтров с учетом количества механических примесей, задержанных на первом этапе испытания антрацита в схеме предварительной очистки на ТЭЦ и с модельным раствором, составила 0,86 кг на 1 м<sup>3</sup> антрацита для фильтра, загруженного антрацитом марки «Эверзит», и 0,97 кг на 1 м<sup>3</sup> антрацита для фильтра, загруженного антрацитом марки «Аквалат».

Кроме того, на данном этапе контролировался расход воды на последующую взрыхляющую отмывку фильтров. Взрыхляющую отмывку фильтров вели до отсутствия механических примесей в отмывочной воде.

Расход воды на взрыхление лабораторных фильтров составил: 19,5 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>3</sup> антрацита для фильтра, загруженного антрацитом марки

«Эверзит» и 17 м<sup>3</sup> в пересчете на 1 м<sup>3</sup> для фильтра, загруженного антрацитом марки «Аквалат».

Из полученных данных видно, что расход воды на взрыхление фильтра, загруженного антрацитом марки «Аквалат», ниже, чем на взрыхление фильтра, загруженного антрацитом марки «Эверзит».

Чтобы снять все сомнения по работе отечественного антрацита, определение грязеемкости было проведено в более жестких условиях, с применением исходной воды с содержанием механических примесей 40 мг/дм<sup>3</sup>. Показатели качества фильтрата фильтра, загруженного антрацитом марки «Эверзит» и «Аквалат», представлены в табл. 5.

**Таблица 5. Качество фильтратов фильтров, загруженных антрацитами «Эверзит» и «Аквалат»**

Показатель	«Эверзит»	«Аквалат»
Содержание железа, мкг/дм <sup>3</sup>	287 – 292	282 – 289
Содержание взвешенных веществ, мг/дм <sup>3</sup>	0,0 – 4,5	0,0
Окисляемость, мг О <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	2,0 – 2,3	2,0 – 2,3

На данном этапе был подтвержден вывод, что пропускная способность и качество фильтрата по содержанию механических примесей антрацита «Аквалат» выше, чем антрацита «Эверзит».

#### **Грязеемкость механического фильтра**

По полученным данным для условий эксплуатации была рассчитана грязеемкость механических фильтров (табл. 6) при следующих параметрах: внутренний диаметр механического фильтра – 3,4 м, высота загрузки – 0,9 м, объем фильтрующей загрузки – 8,1 м<sup>3</sup>.

**Таблица 6. Грязеемкость фильтра**

Марка антрацита	Грязеемкость антрацита, кг/м <sup>3</sup>	Грязеемкость фильтрующей загрузки, кг	
		Однокамерный механический фильтр	Двухкамерный механический фильтр
«Эверзит»	0,863	7,0	14
«Аквалат»	0,976	7,9	15,8

Из приведенной таблицы видно, что грязеемкость фильтра, загруженного антрацитом «Аквалат», выше на 11%, чем данный показатель для фильтра, загруженного антрацитом «Эверзит».

#### **Выводы**

- 1. Антрациты марок «Эверзит» и «Аквалат» имеют аналогичные технические характеристики, однако в эксплуатационных условиях антрацит марки «Аквалат» показал лучшее качество фильтрата по содержанию взвешенных веществ, большую грязеемкость и меньший расход воды на взрыхляющую отмывку.**

2. Затраты на закупку отечественного антрацита марки «Аквалат» для загрузки одного механического фильтра (диаметр фильтра – 3,4 м, высота загрузки – 0,9 м), учитывая его стоимость, снизятся в три раза.
3. Применение отечественных ионообменных смол и фильтрующих материалов в схемах подготовки воды на энергопредприятиях ОАО «Генерирующая компания» позволяет значительно снизить ежегодные затраты на их приобретение.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. СТО ВТИ 37.002-2005 «Стандарт организации. Основные требования к применению ионитов на водоподготовительных установках тепловых электростанций. Технологические рекомендации по диагностике их качества и выбору». ОАО «ВТИ». М. – 2005.
2. ГОСТ 20255.1-89 «Иониты. Метод определения статической обменной емкости».
3. ГОСТ 20255.2-89 «Иониты. Методы определения динамической обменной емкости».
4. ГОСТ 10900-84 «Иониты. Методы определения гранулометрического состава».
5. ГОСТ 10898.2-84 «Иониты. Методы определения насыпной массы».
6. СТО 70238424.27.100.031-2009 «Водоподготовительные установки и водно-химический режим ТЭС. Условия поставки. Нормы и требования». НП «ИНВЭЛ». М., 2009.
7. **Копылов А.С., Лавыгин В.М., Очков В.Ф.** «Водоподготовка в энергетике». Издательство МЭИ. – 2003. – С. 95-97.

#### ABSTRACT

*The article describes the results of studies on the choice of optimal brands of ion exchange resins and filter materials for use in the chemical water treatment schemes, depending on the power system circuit water treatment and quality of initial water.*

**Keywords:** *ion-exchange resins, filtering medium, exchange capacity, dirt holding capacity, chemical resistance, mechanical strength, specific load.*