

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАГНИТОВОСПРИИМЧИВЫХ ПРИМЕСЕЙ В ЖИДКИХ СРЕДАХ

В.И. Гаращенко, А.В. Гаращенко, В.В. Древецкий, А.А. Лебедь

Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г.Ровно

e-mail: vigarashchenko@yandex.ru

Проведен анализ существующих методов и магнитных анализаторов, используемых для определения магнитной фракции примесей, показаны их преимущества и недостатки. Предложен метод определения магнитной фракции примесей, основанный на многократном циклическом фильтровании водных образцов с использованием лабораторного магнитного фильтра небольшой производительности с полиградиентной ферромагнитной фильтрующей загрузкой, обладающей антикоррозионными свойствами. Проведены масштабные исследования по определению магнитной фракции примесей в технологических водах Тираспольской, Острожской, Одесской, Краснодарской, Херсонской, Шымкентской, Калушской ТЭЦ, Углегорской ТЭС, котельной г.Славута, химкомбината «Россия». Показано, что, несмотря на различие водных сред энергопредприятий по химическому составу и температурным режимам, величина магнитной фракции в технологических водах составляет 72-98%. Предложен экспериментально-расчетный метод определения магнитной фракции примесей, основанный на экспериментальной зависимости изменения концентрации железа от длины намагниченной фильтрующей загрузки L . По приведенным в статье формулам рассчитывается величина магнитной фракции. Для определения магнитной фракции примесей в технологических водах, в которых примеси имеют размеры 0,01-10 мкм и концентрацию 30-100 мкг/дм³, предложен усовершенствованный магнитный анализатор с камерой флокуляции. В камере флокуляции происходит укрупнение частиц примесей, в результате количество циклов при определении магнитной фракции уменьшается в 1,5 раза, а соответственно, уменьшается и время проведения анализа.

Ключевые слова: магнитная фракция примесей, ферромагнитная фильтрующая загрузка, магнитная фильтрация.

Вступление. Технологические и сточные воды предприятий тепловой и атомной энергетики, металлургии, химической промышленности, как известно, загрязнены примесями, концентрации которых превышают норму в несколько раз [1,2,3,16]. Причина наличия примесей – непрерывная коррозия, износ технологического и коммуникационного оборудования [1,2,3]. Основные по составу примеси – это магнетит Fe_3O_4 , гематит Fe_2O_3 , вюстит FeO , гидрогематит $Fe_2O_3 \cdot nH_2O$. Присутствуют и другие примеси CaO , MgO , SiO_2 , P_2O_5 [4,5]. Установлено, что основная масса железосодержащих примесей (70-95%) имеет магнитные свойства [1,6,7]. В тепловой энергетике эти примеси, откладываясь на парогенерирующих поверхностях труб котлов и в проточной части турбин, приводят к увеличению термического и гидравлического сопротивления, ухудшают теплопередачу, приводят к перерасходу топлива и тепловой энергии, и сокращению выработки электроэнергии. В тех случаях, когда примеси значительно превышают нормы, в 10 и более раз, водные среды сбрасывают в природные водоемы, загрязняя их [2,6]. Тот факт, что железосодержащие примеси обладают магнитными свойствами, определяет возможность использования магнитного метода очистки, который основан на внедрении магнитных (электромагнитных) фильтров с полиградиентной фильтрующей загрузкой. Эффективность работы магнитных фильтров будет определяться в первую очередь тем, какая доля магнитной фракции примесей содержится в общей массе примесей [6,9].

Анализ последних исследований

Для определения магнитной фракции γ известно использование спектрокопа Мессбауэра [16,17,19]. Использование этого способа требует наличия дорогостоящего оборудования и специальной подготовки образцов для исследования. Так, для анализа и объективной оценки необходимо из исследуемого водного образца "выбрать" все без исключения железосодержащие примеси, после чего выполнить исследования этим способом. Кроме того, для отбора объективных проб используется мембранный фильтр с размерами пор 0,45 мкм, а размеры дисперсных частиц железосодержащих примесей в водах ТЭС, ТЭЦ колеблются в довольно широких пределах: от 0,01 до 10 мкм и больше [4,5]. Использование данного способа осложняется трудностями, которые связаны со сложностью спектроскопического метода Мессбауэра [17], особенно при необходимости получения оперативной информации о магнитной фракции примесей и принятии решения о целесообразности применения магнитного метода фильтрации.

Авторами [16,18] предложено оценивать магнитную фракцию γ путем определения валентности железа, входящего в состав оксидов, и по содержанию Fe_2^+ и Fe_3^+ оценивать соотношение ферромагнитной (ферритмагнитной) и неферромагнитной (парамагнитной) фракции примесей. Вместе с тем, валентность железа не всегда отражает магнитные свойства его соединений. Например, оксид $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ является неферромагнитным, а оксид $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ - ферромагнитным, хотя валентность железа, входящего в эти соединения, одинакова [16]. На ТЭС используется метод определения γ , основанный на сравнении содержания железа в параллельных пробах после выдержки одной из них над постоянным магнитом (рис.1) [8,10]. При использовании данного метода не происходит четкого перераспределения магнитных и немагнитных железосодержащих примесей по высоте водной пробы, которая находится над постоянным магнитом. Для точной оценки γ необходимо, чтобы магнитные соединения перемещались вниз, ближе к полюсу магнита, а немагнитные (парамагнитные, диамагнитные) - вверх, ближе к свободной поверхности водной пробы.

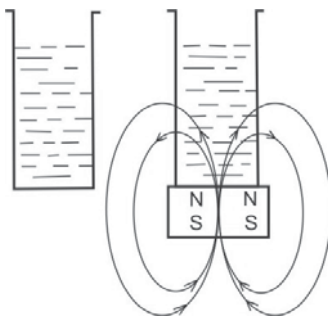


Рис.1. Немагнитная кассета с пробой воды, расположенной над поверхностью постоянного магнита.

После выдержки в течение определенного времени, в процессе определения магнитной фракции γ , часть высокодисперсных соединений железа остается в верхних объемах водной пробы, так как испытывает меньшее, по сравнению с "крупными" примесями, воздействие со стороны магнита, а часть немагнитных соединений железа под действием сил тяготения захватывается магнитными соединениями железа и перемещаются в нижние объемы жидкости. Эти обстоятельства вносят существенную погрешность в определение магнитной фракции γ . Такие погрешности, при наличии высокодисперсных примесей, могут достигать 30-50% [10]. Авторами [8] был усовершенствован метод определения γ . Для увеличения магнитного силового фактора $HgradH$, действующего на магнитные частицы, устройство изготавливается с клиновидными магнитными полюсами, в промежутке между которыми размещают кюветы с исследуемой водной пробой (рис.2). По высоте кюветы создается неоднородное магнитное поле с увеличивающимся по высоте кюветы магнитным силовым фактором. Вследствие этого происходит перераспределение железосодержащих примесей, из

которых магнитные перемещаются вверх, в места, где наибольшее значение градиента напряженности магнитного поля.

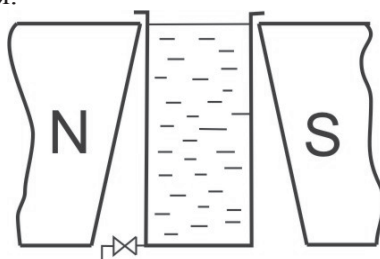


Рис.2. Кассета с пробой водной среды, которая находится между клиновидными магнитами, которые создают поле растущей напряженности.

Испытания данного метода показали, что значение γ наиболее высокое в турбинном конденсате ТЭС (60-70%), в питательной и котловой воде оно ниже. Данный метод имеет значительные преимущества по сравнению с предыдущим [8]. Но необходимо отметить, что перераспределение железосодержащих частиц нельзя считать полным, так как магнитное поле и его градиент в нижней части клиновидного зазора магнитной системы имеют невысокие значения, и перемещения высокодисперсных частиц вверх по этой причине затруднено. С другой стороны, интенсивное броуновское движение (особенно если водные пробы имеют значительную температуру) препятствует осаждению высокодисперсных немагнитных частиц [8,10]. В конструкциях магнитных анализаторов [12,13,14,15] (рис.3,4,5) при определении магнитной фракции γ учтено явление флокуляции примесей в магнитном поле, поэтому для повышения точности определения γ предложено использовать дефлокуляционный фактор.

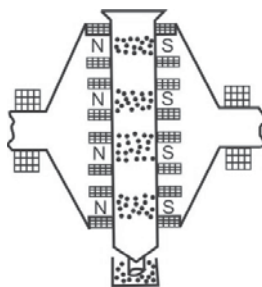


Рис.3. Магнитный анализатор с дополнительными катушками, которые питаются переменным током.



Рис.4. Электромагнитный анализатор с инфранизкочастотным модулятором (ИНЧМ) в виде вращающегося трансформатора.

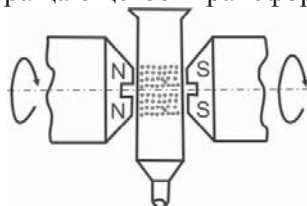


Рис.5. Магнитный анализатор для разделения компонентов на магнитную и немагнитную фракции.

Например, в магнитном анализаторе (рис.3) после введения в кассету пробы с магнитными примесями, под действием магнитного поля электромагнита образуются пряди из магнитных частиц, которые вытянуты над выступами электромагнитов. На дополнительную катушку в этот момент подают переменный ток, который создает внутри кассеты вибрацию пряди диспергированных магнитных примесей. Необходимо отметить, что при одновременном наложении постоянного и переменного полей происходит вибрация не только немагнитных, но и высокодисперсных магнитных частиц, их отрыв от полюсов электромагнита и вымывание потоком воды, что, соответственно, уменьшает точность анализа по определению магнитной фракции примесей γ . Величину γ определяют соотношением $\gamma = (C-C_0)/C$: C - общая концентрация примесей в водной пробе; C_0 - концентрация немагнитных примесей. Наличие инфранизкочастотного модулятора (ИНЧМ) в магнитном анализаторе (рис.4) позволяет выполнять циклическое намагничивание и размагничивание примесей, диспергированных в водной среде, путем изменения угла поворота вращающегося трансформатора. В конце каждого размагничивания проводят классификацию магнитных и немагнитных фракций [12]. По мнению авторов [12], при вращении вала ИНЧМ периодически намагничиваются и размагничиваются диспергированные в воде примеси, которые при каждом цикле разделяются на магнитные и немагнитные фракции.

В магнитном анализаторе (рис.5) проба жидкой среды с примесями находится в кювете, расположенной между полюсами магнита. Полюса магнитной системы имеют поперечные пазы и установлены с возможностью вращения вокруг горизонтальной оси для разрыхления осадка [13,14,15]. После осаждения примесей в зоне полюсов магнитов, выполняют вращения полюсных наконечников, одновременно открывают кран и выпускают водную пробу с немагнитными примесями. За счет вращения наконечников осадок, образованный на рифленой стенке кассеты, частично разрыхляется и освобождается от случайно осажденных немагнитных примесей, которые выносятся сливной водой. Затем отводят магниты и снимают остатки магнитного осадка, а величину магнитной фракции определяют по формуле $\gamma = (C-C_0)/C$, или массовым методом [13,14,15]. В анализаторе, который рекомендован авторами [13,14,15], при вращении полюсов магнитной системы происходит процесс отрыва не только немагнитных, но и магнитных частиц, особенно высокодисперсных. В водах теплоэнергетических установок доля высокодисперсных частиц составляет значительную величину (до 40-50%). Поэтому погрешность при определении величины γ в водах котельных установок ТЭЦ, ТЭС, при использовании данного анализатора будет превышать допустимые нормы.

В анализаторе (рис.6) предусмотрено устройство регулирования угла наклона магнитной системы.

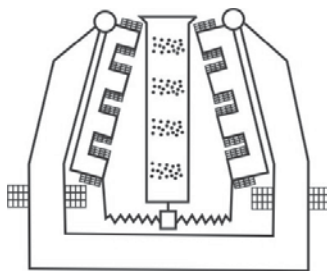


Рис.6. Магнитный анализатор с возможностью изменения угла наклона магнитной системы.

Это позволяет изменять по длине колонки анализатора величину индукции магнитного поля и силового фактора, действующего на магнитные примеси, которые находятся в водной пробе. Вибрационным эффектом переменного магнитного поля, после группировки магнитных примесей в зоне постоянного магнитного поля, отделяют немагнитные примеси от магнитных [14]. Величину γ определяют как $\gamma = (C-C_0)/C$ или массовым методом. Такой анализатор может быть использован при отделении магнитных примесей от немагнитных в

случае наличия в водных пробах грубодисперсных магнитных примесей с ярко выраженными магнитными свойствами. Известные методики и магнитные анализаторы для определения магнитной фракции железосодержащих примесей в водах предприятий теплоэнергетики, которые описаны ранее, не могут быть эффективно использованы в связи с тем, что при использовании одних погрешность определения γ нередко превышает допустимые нормы в несколько раз, а при использовании других возникает необходимость в использовании сложного стационарного оборудования и сложной методики определения γ .

Методика и результаты исследований

Определение магнитной фракции примесей в технологических водах ТЭС, ТЭЦ, металлургии проводилось с использованием методики, которая основана на многократном (циклическом) магнитном фильтровании пробы воды в лабораторном фильтре, заполненном полиградиентной фильтрующей ферромагнитной загрузкой [6,9]. Установка по определению γ показана на рис.7. Лабораторный фильтр состоит из немагнитного корпуса 1, заполненного ферромагнитной фильтрующей загрузкой 2, гранулы которой изготовлены из специального сплава, который имеет высокие антикоррозийные свойства.

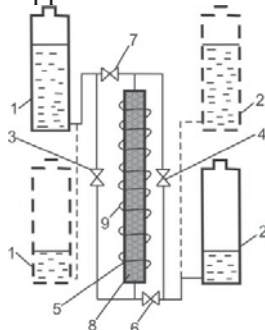


Рис.7. Схема установки по определению магнитной фракции примесей в водных средах:
1,2 - емкости с водой, которая анализируется; 3,4,6,7 - вентили; 5 - немагнитный корпус;
8 - ферромагнитная фильтрующая загрузка; 9 - катушка намагничивания.

На поверхности корпуса 5 размещена намагничивающая система 9, изготовленная в виде многослойной катушки (соленоида) или в виде блоков постоянных магнитов. Емкость 1 объемом 3-10 дм³ заполняется исследуемой водой, в которой определена общая концентрация железа. Емкость 1 поднимают вверх, и вода под действием гидростатического давления через магнитный фильтр поступает в емкость 2 такого же объема. Во втором цикле вода перетекает из емкости 2 в емкость 1. Важно, чтобы во всех циклах фильтрования направление движения воды через фильтр оставалось неизменным, это обеспечивается путем перекрытия соответствующих кранов. Это исключает возможность попадания в фильтрат соединений железа, осажденных ранее, первыми по ходу движения жидкости слоями загрузки фильтра. Процесс циклического фильтрования можно упростить. Для этого к емкостям 1 и 2 через соответствующие краны подключают компрессор для создания давления и емкости при этом находятся в стационарно неподвижном состоянии. Циклическое фильтрование останавливают в том случае, когда концентрация железа, измеряемая после каждого цикла фильтрования, стабилизируется, достигая минимального значения C . Концентрацию железа, входящего в магнитные формы его соединений, определяют по разнице общей концентрации железа, определенного в воде перед фильтрацией, и концентрацией железа в фильтрате. Разница $C_0 - C$ представляет собой концентрацию железа, входящего в магнитные формы его соединений, а отношение $(C_0 - C)/C_0$ - магнитную фракцию железосодержащих примесей γ .

Исследования по определению магнитной фракции примесей в технологических водах нескольких предприятий теплоэнергетики приведены ниже. На рис.8 приведены результаты определения магнитной фракции примесей железа в производственном конденсате

котельной завода "Стройфарфор" г.Славута (Украина) (кривая 1); в производственном конденсате Тираспольской ТЭЦ (Молдавия) (кривая 2); в производственном конденсате котельной г.Бендеры (Молдавия) (кривая 3).

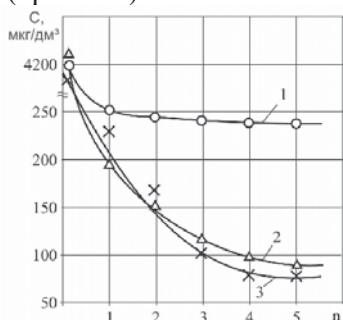


Рис.8. Изменение концентрации примесей железа в зависимости от количества циклов фильтрации для определения магнитной фракции в производственном конденсате: 1 - котельной завода "Стройфарфор" г.Славута; 2 - Тираспольской ТЭЦ; 3 - котельной г.Бендеры; (Δ , \circ , \times - среднее значение пяти измерений концентрации железа).

Из рис.8 (кривая 1) следует, что при исходной концентрации в 4200 мкг/дм^3 уже после первого цикла фильтрации концентрация железа составляет 250 мкг/дм^3 и до пятого цикла уменьшается до 235 мкг/дм^3 . Соответственно, магнитная фракция составляет $\gamma=94\%$. При определении γ в производственном конденсате Тираспольской ТЭЦ изменение концентрации железа при циклическом фильтровании имеет другой характер (рис.8, кривая 2). При исходной концентрации в 4500 мкг/дм^3 , стабильного минимального значения, которое составляет 85 мкг/дм^3 , концентрация железа достигает при 4-5 циклах фильтрации, а величина $\gamma=98\%$. Аналогичный характер $C = f(n)$ имеет кривая 3 (рис.8). При исходной концентрации железа в 3250 мкг/дм^3 , при пятом цикле фильтрации концентрация составляет 75 мкг/дм^3 и, соответственно, $\gamma=97\%$. Приведенные результаты показывают, что магнитная фракция примесей железа в приведенных конденсатах ТЭЦ и котельной достаточно высока. Например, как видно из графика рис.8 (кривая 3), из 3250 мкг/дм^3 концентрации железа только 75 мкг/дм^3 является немагнитной фракцией железа, а остальные 3175 мкг/дм^3 - магнитная фракция железа.

Определена величина γ в питательной воде котлоагрегата Острожской ТЭЦ (Украина). При исходной средней концентрации железа в 200 мкг/дм^3 , при пятом цикле фильтрации остаточное содержание железа составляет 18 мкг/дм^3 , величина $\gamma = 91\%$ (рис.9).

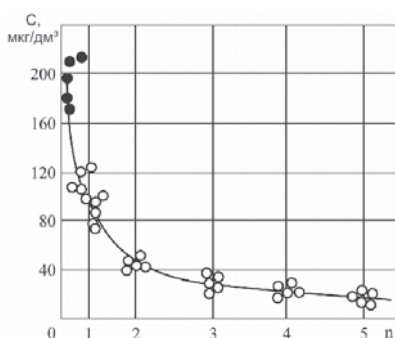


Рис. 9. Определение магнитной фракции примесей железа в питательной воде Острожской ТЭЦ (\bullet , \circ – концентрации железа до фильтрации и после каждого цикла).

На рис.10 приведены результаты исследований по определению величины γ в дренажном и производственном конденсатах Одесской ТЭЦ (Украина). В дренажном конденсате (рис.10, кривая 1) величина γ составляет 90% , а в производственном конденсате - 98% .

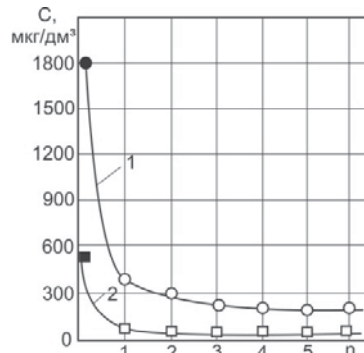


Рис.10. Определение магнитной фракции примесей железа в водах Одесской ТЭЦ:
1 - дренажный конденсат; 2 - производственный конденсат.

В дренажном конденсате, рис.10 (кривая 1), после первого цикла концентрация железа уменьшилась с 1800 мг/дм^3 до 375 мг/дм^3 , после четвертого цикла практически стабилизировалась и составила 220 мг/дм^3 . В производственном конденсате, рис.10 (кривая 2), после второго цикла, концентрация железа уменьшилась с 580 мг/дм^3 до 10 мг/дм^3 и до шестого цикла не изменялась. Такие результаты показывают, что примеси железа в дренажном и производственном конденсатах Одесской ТЭЦ имеют ярко выраженные магнитные свойства.

Аналогичные исследования по определению магнитной фракции примесей в различных технологических водных средах проведены на Краснодарской ТЭЦ (Россия), Херсонской ТЭЦ (Украина) (рис.11), Шымкентской ТЭЦ (Казахстан) (рис.12), Калушской ТЭЦ (Украина) (рис.13), химкомбинате «Россия» Ростовской области (рис.14), Углегорской ТЭС (Украина) (рис.15). Исходная концентрация железа в вышеперечисленных водных средах, приведенных на рис.11-15, колебалась в пределах $18\text{-}300 \text{ мг/дм}^3$, величина магнитной фракции в этих водах составляла $72\text{-}97\%$.

Для технологических водных сред проводилось также определение магнитной фракции с помощью экспериментально-расчетного метода [6,16,20]. Для этого использовали расчетные формулы, приведенные в [6].

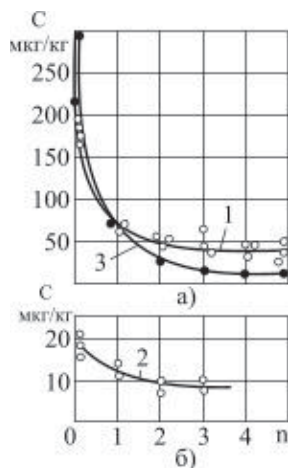


Рис.11. Определение магнитной фракции примесей в дренажных конденсатах (1), питательной воде (3) Краснодарской ТЭЦ; питательной воде (2) Херсонской ТЭЦ.

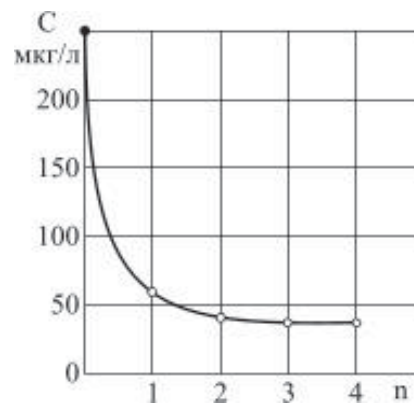


Рис.12. Определение магнитной фракции примесей в питательной воде Шымкентской ТЭЦ.

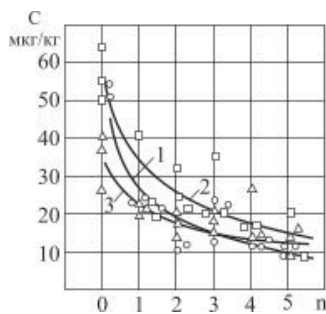


Рис.13. Определение магнитной фракции примесей в питательной воде (1), производственном конденсате (2), турбинном конденсате (3) Калущкой ТЭС.

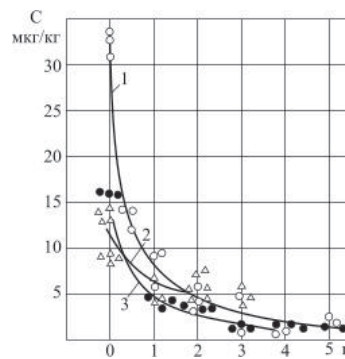


Рис.14. Определение магнитной фракции примесей в различных потоках производственного конденсата химкомбината «Россия» Ростовской области: 1 – конденсат от потребителей; №1; 2 – конденсат от потребителей №2; 3 – конденсат от потребителей №3.

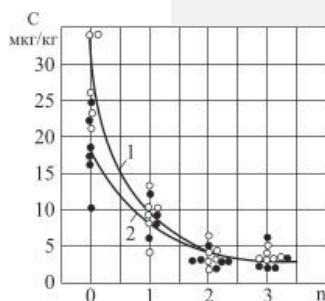


Рис.15. Определение магнитной фракции примесей в питательной воде Углегорской ТЭС. 1 – фильтрующая загрузка – шарики, диаметром 5мм, 2 – дробленая стружка.

$$\gamma = \frac{(C_0 - C_1)}{C_0(C_0 - 2C_1 + C_2)} \quad \text{при } n=L_1/L_2=1/2, \quad (1)$$

где C_0 -концентрация железа на входе фильтра; C_1, C_2 - концентрации железа, соответствующие длине фильтра L_1 и длине L_2 .

$$\gamma = \frac{2(2C_0 - 3C_1 + C_2) \cdot (C_0 - C_1)}{C_0(3\sqrt{C_0 - C_1} + \sqrt{C_0 - 4C_2 + 3C_1}) \cdot \sqrt{C_0 - C_1}} \quad \text{при } n=L_1/L_2=1/3. \quad (2)$$

Результаты расчетов приведены в таблице 1.

Преимущества экспериментально-расчетного метода определения магнитной фракции примесей γ с использованием формул (1) и (2) заключаются в отсутствии особых требований для его реализации при использовании той или иной ферромагнитной фильтрующей загрузки и режимов очистки, а также в его оперативности и простоте. Этот метод позволяет получать значение γ не специальными исследованиями, а одновременно при определении технологических параметров магнито-фильтрационной очистки конкретной водной среды. Важным преимуществом данного метода определения γ является то, что он пригоден к применению и в газовых средах. Предложенные формулы для определения γ применены при определении магнитной фракции, с помощью лабораторного магнитного фильтра, на Острожской, Одесской, Шымкентской ТЭС, котельной г.Славута с целью определения целесообразности использования технологии магнитной очистки воднодисперсных систем вышеприведенных предприятий.

Таблица 1. Результаты расчетов для определения магнитной фракции

Водная среда	Формула, для определения магнитной фракции γ	Расчетная величина γ	Технологический параметр магнитной очистки		
			Длина фильтра L, м	Напряженность магнитного поля H, кА/м	Концентрация железа C, мкг/дм ³
1	2	3	4	5	6
Производственный конденсат Острожской ТЭЦ	Для двух точек технологического параметра L при $n=L_1/L_2=1/2$	0,83	$L_1=0,75$ $L_2=1,5$	140	$C_0=198$ $C_1=45$ $C_2=35$
Производственный конденсат Шымкентской ТЭЦ	$\gamma = \frac{(C_0 - C_1)^2}{C_0(C_0 - 2C_1 + C_2)}$	0,84	$L_1=1,56$ $L_2=3,12$	40	$C_0=250$ $C_1=47$ $C_2=40$
Дренажный конденсат Одесской ТЭЦ		0,88	$L_1=1,0$ $L_2=2,0$	80	$C_0=1780$ $C_1=300$ $C_2=220$
Производственный конденсат котельной г.Славута		0,94	$L_1=0,6$ $L_2=1,2$	80	$C_0=4200$ $C_1=245$ $C_2=235$
Производственный конденсат котельной г.Славута	Для двух „отдаленных” точек технологического параметра L при $n=L_1/L_2=1/3$	0,94	$L_1=0,6$ $L_2=1,8$	80	$C_0=4200$ $C_1=245$ $C_2=230$
Дренажный конденсат Одесской ТЭЦ	$\gamma = \frac{2(2C_0 - 3C_1 + C_2)}{C_0(3\sqrt{C_0 - C_1} + \sqrt{C_0 - 4C_2 + 3C_1})} \cdot \frac{(C_0 - C_1)}{\sqrt{C_0 - C_1}}$	0,88	$L_1=1,0$ $L_2=3,0$	80	$C_0=1780$ $C_1=300$ $C_2=220$
Производственный конденсат Острожской ТЭЦ		0,9	$L_1=0,75$ $L_2=2,25$	40	$C_0=198$ $C_1=45$ $C_2=20$
Производственный конденсат Шымкентской ТЭЦ		0,84	$L_1=0,78$ $L_2=2,34$	40	$C_0=250$ $C_1=47$ $C_2=40$

Результаты расчетов по определению магнитной фракции γ показывают, что данный метод адекватный методу циклического фильтрования. Необходимо отметить, что существуют технологические водные среды, например, турбинный конденсат, питательная вода энергоблоков сверхвысоких параметров, в которых концентрация железа составляет всего десятки мкг/дм³, а размеры частиц железа 0,01-10 мкм. При использовании метода циклического фильтрования для определения γ в таких водных средах количество циклов может достигать десяти и более.

Для усовершенствования методики определения магнитной фракции примесей железа предложен магнитный анализатор с камерой флокуляции (рис.16). В технологических водах ТЭС (питательная вода, турбинный конденсат), особенно на энергоблоках 500-1000 МВт, примеси железа имеют размеры 0,01-10 мкм [5], а их концентрация составляет всего 30-100 мкг/дм³ при норме 20 мкг/дм³. Кроме того, температура таких водных сред составляет 80-100 °С и более. Определение величины магнитной фракции в таких водах имеет определенные трудности. На рис.16 приведена схема магнитного анализатора с камерой флокуляции. Для определения величины γ используют до одного литра анализируемой воды.

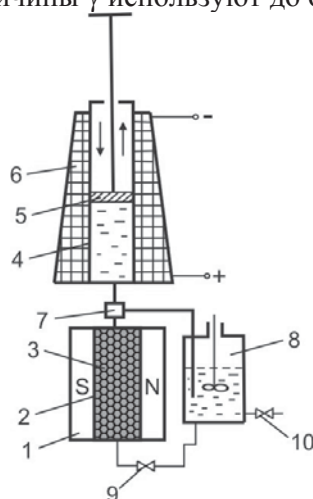


Рис.16. Схема магнитного анализатора с камерой флокуляции: 1 - магниты, 2 - корпус фильтра, 3 – ферромагнитная фильтрующая загрузка, 4 - камера флокуляции, 5 - поршень, 6 - электрическая катушка (соленоид), 7,9 - пропускные клапаны, 8 - емкость, 10 – пробоборник.

Камера флокуляции, как и корпус фильтра, изготовлена из стеклянного или иного немагнитного материала, в виде цилиндра с поршнем. На внешней поверхности камеры размещен соленоид. Для интенсификации процесса магнитной флокуляции соленоид изготовлен таким образом, что напряженность магнитного поля в объеме соленоида увеличивается в направлении нижней части соленоида (рис.16). Испытания предложенной методики проводили на воднодисперсных средах с использованием магнетита, полученного химическим методом. Определение размеров частиц магнетита, соответствующих размерам магнитных частиц в технологических водах ТЭС, выполняли с использованием метода седиментационного осаждения дисперсных частиц в жидкости. Расчет скорости осаждения частиц магнетита, времени осаждения и размеров частиц выполняли по известным формулам седиментационного анализа. В опытах использовали слабоконцентрированную суспензию, в которой объемная дисперсная фаза не превышала 0,3-0,5%, а размеры фракции частиц для экспериментов устанавливали в пределах 3-6 мкм. Суспензию с осажденными частицами известного фракционного состава переносили в емкость 8 магнитного анализатора (рис.16). В одном случае определяли долю γ ферромагнитной фракции примесей без включения соленоида и, соответственно, без подмагничивания и магнитной флокуляции, а в другом случае на соленоид подавали постоянный электрический ток и циклическим фильтрованием определяли магнитную фракцию γ . Результаты исследований приведены на рис.17.

Для определения влияния магнитной флокуляции, опыты выполнялись при невысоких параметрах магнитной очистки в фильтре: длина фильтрующей загрузки 0,25 м, скорость фильтрования 100 м/ч, напряженность магнитного поля 30 кА/м. Подмагничивание осуществлялось при средней напряженности магнитного поля 70 кА/м и длине камеры флокуляции - 0,15 м. Время выдержки водной суспензии в камере флокуляции - 3 мин.

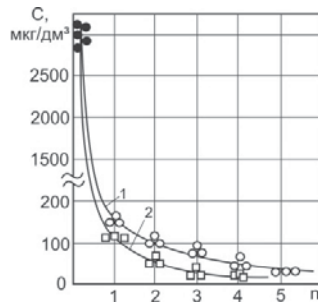


Рис.17. Определение магнитной фракции γ примесей железа в воднодисперсной суспензии магнетита: 1 - без подмагничивания, 2 - с подмагничиванием.

Как видно, без подмагничивания и магнитной флокуляции частиц после четвертого цикла концентрация железа уменьшилась до 55 мкг/дм^3 (рис.17, кривая 1). С подмагничиванием в камере флокуляции, после четвертого цикла концентрация железа составляла 20 мкг/дм^3 и в дальнейшем не изменялась. Без подмагничивания концентрация железа уменьшалась и в пятом цикле, поэтому можно предположить, что в шестом и последующих циклах она уменьшалась до достижения концентрации 20 мкг/дм^3 . Проведены опыты по выдержке водной суспензии магнетита в камере флокуляции в течение 5 мин. После первого цикла концентрация железа составляла $\sim 115 \text{ мкг/дм}^3$, что соответствовало концентрации железа при выдержке водной суспензии в течение 3 мин. Результаты (рис.17) показали, что при подмагничивании водной суспензии с магнитными примесями, размеры которых составляют несколько микрометров, процесс определения магнитной фракции происходит при меньших количествах циклов и, соответственно, тратится меньше времени на проведение анализа.

Выводы

Показано, что определение магнитной фракции примесей в технологических водах предприятий тепловой и атомной энергетики, металлургии, химической промышленности имеет принципиальное значение, так как дает ответ на вопрос о целесообразности внедрения метода магнитной очистки на том или ином предприятии. Проведен анализ существующих методов и магнитных анализаторов, используемых для определения магнитной фракции примесей, показаны их преимущества и недостатки. Предложен усовершенствованный магнитный анализатор с камерой флокуляции, в которой происходит укрупнение частиц примесей, благодаря чему количество циклов при определении магнитной фракции уменьшается в 1,5 раза, а соответственно уменьшается и время проведения анализа.

МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ МАГНІТОСПРИЙНЯТЛИВИХ ДОМІШОК У ВОДНИХ СЕРЕДОВИЩАХ

В.І. Гаращенко, О.В. Гаращенко, В.В. Древецький, О.О. Лебедь

Національний університет водного господарства та природокористування, м.Рівне

e-mail: vigarashchenko@yandex.ru

Проведений аналіз існуючих методів і магнітних аналізаторів, що використовуються для визначення магнітної фракції домішок, показані їх переваги та недоліки. Запропоновано метод визначення магнітної фракції домішок, заснований на багаторазовому циклічному фільтруванні водних зразків з використанням лабораторного магнітного фільтра невеликої продуктивності з поліградієнтною феромагнітною фільтруючою загрузкою, що володіє антикорозійними властивостями. Проведені масштабні дослідження з визначення магнітної фракції домішок у технологічних водах Тираспольської, Острозької, Одеської, Краснодарської, Херсонської, Шимкентської, Калуської ТЕЦ, Вуглегірської ТЕС, котельні

м.Славута, хімкомбінату «Росія». Показано, що, незважаючи на відмінність водних середовищ енергопідприємств за хімічним складом і температурними режимами, величина магнітної фракції в технологічних водах становить 72-98%. Запропоновано експериментально-розрахунковий метод визначення магнітної фракції домішок, заснований на експериментальній залежності зміни концентрації заліза від довжини намагніченої фільтруючої загрузки L . За наведеними в статті формулами розраховується величина магнітної фракції. Для визначення магнітної фракції домішок у технологічних водах, в яких домішки мають розміри 0,01-10 мкм і концентрацію 30-100 мг/дм³, запропоновано удосконалений магнітний аналізатор з камерою флокуляції. У камері флокуляції відбувається укрупнення частинок домішок, в результаті кількість циклів при визначенні магнітної фракції зменшується в 1,5 рази, а відповідно, зменшується і час проведення аналізу.

Ключові слова: магнітна фракція домішок, ферромагнітна фільтруюча загрузка, магнітна фільтрація.

METHODS OF DETERMINE OF MAGNETIC-RECEPTIVE IMPURITIES IN LIQUID MEDIA

V.I. Garashchenko, A.V. Garashchenko, V.V. Drevetsky, A.A. Lebed

National University of Water Management and Nature Resources Use, Rivne, Ukraine

e-mail: vigarashchenko@yandex.ru

The analysis of existing methods and magnetic analyzers used to determine the magnetic fraction of impurities was performed. Their advantages and disadvantages was shown. A method for determining the magnetic fraction of impurities, based on repeated cyclical filtration of aqueous samples using laboratory magnetic filter with ferromagnetic filtering nozzle, which has anti-corrosion properties was offered. Large-scale studies for determine the fraction of magnetic impurities in technological waters of Tiraspol, Ostroh, Odessa, Krasnodar, Kherson, Shymkent and Kalush CHP, Uglegorsk TPP and chemical plant "Russia" were conducted. It was shown that, despite the differences in aquatic environments electric utilities in chemical composition and temperature conditions, the magnitude of the magnetic fraction in the technological waters is about 72-98%. It was proposed the experimental-computational method for determining the magnetic fraction of impurities, based on the experimental depending of change of the iron concentration from magnetized filtering nozzle length. With the using of formulas that provided in the article calculates the value of the magnetic fraction. To determine the fraction of magnetic impurities in technological waters (when impurities having sizes of 0.01-10 microns and a concentration of 30-100 g/dm³) an improved magnetic analyzer with flocculation chamber was proposed. In the flocculation chamber there is an integration of impurities, as a result the number of cycles in determining the magnetic fraction decreases by 1.5 times and the time of analysis is reduced.

Keywords: magnetic impurities fraction, ferromagnetic filtering nozzle, magnetic filtration.

Список литературы:

1. Гарашченко В.І. Магніто-сорбційні властивості гранульованих фільтруючих насадок / В.І. Гарашченко, І.Г. Скрипник, О.П. Лук'янчук, О.В. Гарашченко // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. – 2008. - № 3. – С. 184-191.
2. Гарашченко В.І. Дослідження впливу технологічних параметрів процесу магнітного очищення конденсату ТЕЦ на коефіцієнт осадження. / Гарашченко В.І., Гарашченко О.В.// Екологія и промышленность. - 2011. - №4. - С. 78-83.
3. Гарашченко В.І. Исследование активных параметров процесса магнитной очистки водных сред теплоэнергетики. / Гарашченко В.И., Астрелин И.М. Гарашченко А.В.// Вода и экология: проблемы и решения - 2014. - №4. - С. 10-24.

4. Гаращенко В.І. Дисперсно-фазовий склад забруднюючих домішок при магнітному очищенні водних систем теплових електростанцій. / Гаращенко В.І., Скрипник І.Г., Гаращенко О.В. // Экология и промышленность. - 2014. - №1. - С. 56-61.

5. Сандуляк А.В. Дисперсный и фазовый состав железосодержащих примесей вод Добротворской ГРЭС / А.В. Сандуляк, В.И. Гаращенко, А.Н. Когут [и др.] // Электронная обработка материалов. – 1979. - № 6. – С. 56-58.

6. Гаращенко В.І. Енергоефективна технологія магнітного очищення водних систем від дисперсних ферромагнітних забруднень. / Гаращенко В.І., Гаращенко О.В., Лук'янчук О.П. // Інноваційні енерготехнології: XIV Міжнародна науково-практична конференція., 2011р.: тези доповіді. - Одеса., 2011. – С. 15-17.

7. Мартынова О.И. О применении электромагнитных фильтров для удаления из воды ферромагнитных примесей / О.И. Мартынова, А.С. Копылов // Теплоэнергетика, 1972. - № 3. – С. 67-69.

8. Василенко Г.В. Магнитные окислы железа в пароводяном тракте ТЭС с барабанными котлами / Г.В. Василенко, Е.В. Шевченко. - Теплоэнергетика, 1979. - № 11. – С. 65-66.

9. Сандуляк А.В. Определение магнитных форм соединений железа в водах электростанций / А.В. Сандуляк, Л.Н. Лазаренко, В.И. Гаращенко [и др.] // Изв. вузов. Энергетика, 1979. - № 9. – С. 46-50.

10. Сандуляк А.В. Магнитное обезжелезивание конденсата / А.В. Сандуляк, И.М. Федоткин. - Энергоатомиздат, 1983. – 87 с.

11. Константинов О.Я. Расчет и конструирование магнитных и электромагнитных приспособлений. / О.Я. Константинов. – Л.: Машиностроение, 1967. – 196 с.

12. А.С. №685336 СССР, Электромагнитный фильтр / Кислов С.Г. (СССР) // Оpubл. 1979, Бюл. №34.

13. А.С. № 835494 (СССР). МПК В03 С 1/00. Магнитный анализатор / Беззубов В.А., СуллерД.Б., Ефремов К.Л. (СССР). №2770259/22-03; заявл. 21.05.1979; опубл. 07.06.1981. Бюл. № 21.

14. А.С. №1036384 СССР, В 03 С 1/00 Магнитный анализатор / Улубабов Р.С., Бербец Н.П. (СССР) // заявл. 05.05.81; опубл. 23.08.83. юл. №31.

15. А.С. № 194673 СССР, МКИ В03 С 1/08. Магнитный анализатор / Улубабов Р.С, Ушаков Р.Х. (СССР). - №1032795/26-10; заявл. 18.10.1965; опубл. 12.04.1967. Бюл. №9.

16. Сандуляк А.В. Очистка жидкостей в магнитном поле / А.В. Сандуляк. – Львов: Вища школа, 1984. – 166с.

17. Добревски И. Обезжелезяване на кондензати в промишлени условия с електромагнетен филтър / И. Добревски, З. Калпакчиев, Г. Литовска [и др.] // Энергетика, 1975. - № 3. – С.17-22.

18. Кириченко В.С. О методе определения форм железа в водах теплоэнергетических установок (ТЭУ) / В.С. Кириченко, Э.П. Захарова, Л.И. Дураченко // Материалы научной конференции Алтайского политехнического института, ч.5. – Барнаул. - 1974. – С.37-38.

19. Литовска Г. Результаты исследований и перспективы применения электромагнитных фильтров для обезжелезивания контурных вод на электростанциях НРБ: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук / Г. Литовска. – 1976. – 32 с.

20. А.С. №1545378 (СССР), МПК В03 С 1/00. Магнитный сепаратор / Сандуляк А.В., Яцков Н.В., Гаращенко В.И. (СССР).- №3777594/23-26; заявл. 27.07.1984.