

УДК 621.039

М.В. Треушников, Р.Р. Рязанов, А.Е. Соборнов, А.В. Мамаев, А.В. Котин**РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
МАГНИТНЫХ ФИЛЬТРОВ НА ПОСТОЯННЫХ МАГНИТАХ
ПРИМЕНИТЕЛЬНО К КОНТУРАМ ВОДО-ВОДЯНЫХ РУ**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Исследована проблема магнитной фильтрации жидкости. Проведен сравнительный анализ существующих конструкций магнитных фильтров. Представлено расчетное исследование с использованием программного обеспечения ANSYS Magnetostatic. Получены количественные оценки магнитной и гидродинамической силы. Проведено экспериментальное исследование магнитного поля ферритового и неодимового магнитов. Разработан исследовательский стенд, позволяющий исследовать фильтры различных конструкций. Построены зависимости эффективности фильтрации от скорости рабочей среды. На основе полученных экспериментальных и расчетных данных предложена конструкция фильтра, эффективно использующего как силу магнитного поля, так и гидродинамическую силу. С помощью программного обеспечения ANSYS CFX и ANSYS Fluent проведено расчетное обоснование конструкции данного фильтра. Получено поле скорости в проточной части фильтра, определены застойные области, рассчитана траектория движения частиц. Разработана методика эксперимента для валидации полученных результатов расчета.

Ключевые слова: магнитная фильтрация, гидродинамическая сила, магнитная сила, магнитное поле, поле скорости, ANSYS, экспериментальный стенд, закрутка потока, реакторная установка, атомная энергетика, неодимовый магнит, ферритовый магнит.

Введение

В тепловой и атомной энергетике предъявляются высокие требования к чистоте рабочих сред, участвующих в технологическом процессе. В ходе эксплуатации установок, рабочая среда подвержена загрязнению примесями в результате чего их чистота снижается. Состав примесей чрезвычайно разнообразен, однако в ряде случаев в качестве доминирующей фракции выступают частицы железа и его соединений. Источниками таких примесей являются коррозионные и эрозионные процессы в элементах оборудования, последствия механической и термической обработки, некачественная очистка оборудования после ремонта, повышенное содержание примесей в исходной или подпиточной воде и пр. Превышение норм содержания соединений железа приводит к образованию отложений железосодержащих примесей (согласно временной зависимости близкой к кубической [1]) на теплопередающих поверхностях, что является причиной ухудшения теплопередачи, увеличения температуры теплообменных стенок сверх допустимой и в конечном итоге приводит к пережогам, разрывам труб, аварийным остановкам оборудования. Таким образом, поддержание требуемой чистоты рабочих сред и теплообменных поверхностей в контурах и теплообменном оборудовании энергетических установок является актуальной проблемой.

Удаление примесей, обладающих способностью к магнитному осаждению (захвату), можно осуществлять с применением магнитных очистных аппаратов: сепараторов, фильтров, ловушек. Подобные устройства находят свое применение и в атомной энергетике. Имеется опыт использования высоко градиентных магнитных фильтров в качестве фильтрующего аппарата для бассейна выдержки от активных продуктов коррозии [2]. Стержневой высоко градиентный магнитный фильтр был включен в схему ультразвуковой очистки рабочих кассет и тепловыделяющих сборок. Данная система прошла испытания на третьем энергоблоке Нововоронежской АЭС. Магнитный фильтр применен для улавливания из бассейна выдержки активных продуктов коррозии при отделении их от сборок. Помимо этого, магнитные филь-

трующие устройства широко используются в паре с герметичными насосами с магнитной муфтой во вспомогательных системах энергоустановок.

Анализ конструкции существующих проточных магнитных фильтров показал, что они имеют ряд конструктивных недостатков, снижающих эффективность фильтрации. В настоящее время развитие магнитных фильтрующих систем идет по двум направлениям. В первом случае для фильтрации среды используются электромагниты. Примеры таких конструкций описаны в [3, 4] и встречаются в патентных исследованиях [5, 6]. К достоинствам этих устройств следует отнести возможность регулирования мощности поля и его характеристик, не меняя конструкции, с помощью варьирования величины напряжения и частоты колебания. Еще одним преимуществом является возможность отключения магнитного поля без демонтажа фильтра. К недостаткам относятся большие потери магнитного поля в окружающую среду, дополнительные требования к электробезопасности и затраты электроэнергии на собственные нужды фильтра. Сложность монтажа не позволяет использовать фильтры таких конструкций в труднодоступных местах и помещениях. Альтернативным вариантом является использование постоянных магнитов. Фильтры, использующие постоянные магниты находят более широкое применение, так как имеют лучшие по сравнению с электромагнитными массо- и габаритные характеристики. Основные конструктивные решения фильтров представлены в [3, 4, 7-9]. К преимуществам таких аппаратов относятся простота конструкции, отсутствие источника питания, элементов коммутации и защиты, электропроводки, возможность использования в агрессивных средах и взрывопожароопасных помещениях. Последний фактор является решающим при выборе такого типа фильтров для использования в контурах энергетических установок. Основным недостатком таких систем сравнительно низкая напряженность магнитного поля в зоне захвата частиц, что в определенной мере сдерживает их широкое, а главное эффективное применение. Устранение данного недостатка может быть достигнуто совместным применением магнитных и механических фильтрующих элементов, а также гидродинамических эффектов, за счет профилирования проточных частей фильтров, что требует конструктивной проработки рабочей зоны фильтра.

Для повышения эффективности магнитной фильтрации и расширения области применения фильтров, имеющих в своем составе постоянные магниты, научной группой лаборатории «Парогенерирующие системы» кафедры «Атомные и тепловые станции» НГТУ им. Р.Е. Алексеева разработана уникальная конструкция магнитно-гидродинамического фильтра.

Целью данной работы является обоснование оптимальной конструкции фильтра для нужд энергетического комплекса, в котором эффективно используются как гидродинамический эффект, так и магнитное поле постоянных магнитов различного типа.

Основными задачами настоящей работы являются:

- моделирование магнитного поля неодимового и ферритового магнитов с использованием программного комплекса ANSYS Magnetostatic для количественной оценки магнитной силы, действующей на частицу, расчет гидродинамической силы;
- создание испытательного стенда для исследования эффективности фильтрации экспериментальных образцов;
- проведение испытаний с различными магнитными системами для качественного представления действия магнитных сил на частицы в потоке жидкости;
- разработка конструкции магнитного фильтра с использованием современных программных комплексов: ANSYS Fluent, ANSYS CFX, Autodesk Autocad.

Анализ сил, действующих на частицу в рабочей среде

На первом этапе исследования проведен количественный анализ сил, действующих на ферромагнитные частицы в потоке жидкости. Магнитная сила неодимового и ферритового магнитов определялась с использованием программного комплекса ANSYS

Magnetostatic [10]. Данное программное обеспечение позволяет смоделировать магнитное поле постоянно магнита с использованием метода конечных элементов и определить суммарную магнитостатическую силу, которая в общем виде описывается следующей формулой (1):

$$\vec{F}_m = \frac{1}{2} \oint (\vec{H} (\vec{n} \cdot \vec{B}) + \vec{B} (\vec{n} \cdot \vec{H}) - \vec{n} (\vec{H} \cdot \vec{B})) \partial s, \quad (1)$$

где \vec{B} – индукция магнитного поля, \vec{H} – напряженность магнитного поля, \vec{n} – единичный вектор внешней нормали к поверхности [4]. Расчет произведен для частицы, расположенной на разных расстояниях R от оси магнита.

Геометрические характеристики расчетных моделей соответствуют характеристикам магнитов, примененных в ходе экспериментального этапа исследования. Расчетная модель неодимового магнита представлена на рис. 1(а).

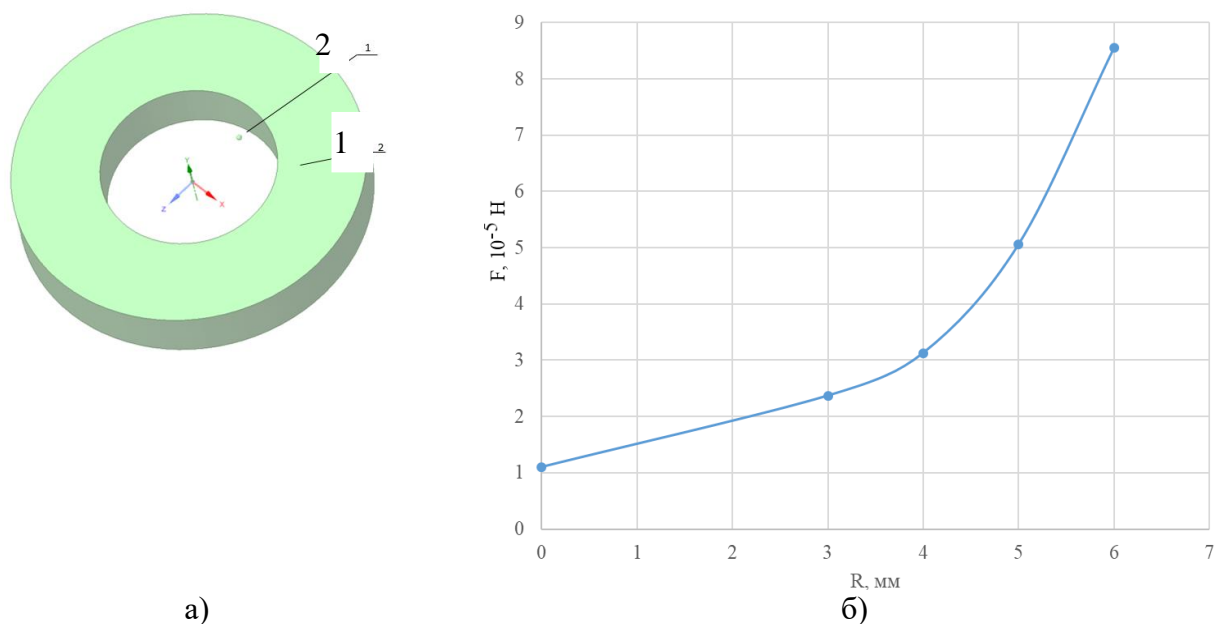


Рис. 1. Расчетные данные ANSYS Magnetostatic

1 – постоянный магнит; 2 – ферромагнитная частица;

а – расчетная модель; б – результат расчета магнитной силы

При проведении экспериментальных исследований в качестве ферромагнитных частиц применялись частицы железного порошка ПЖВ 2.160.26 ГОСТ 9849-86. Для контроля размеров частиц были использованы электронный микроскоп (Laboratory Student 107 Xsz-107bn Microscope) и объект-микрометр со шкалой длиной 1 мм и ценой деления 0,01 мм. Установлено, что размер частиц лежал в диапазоне от 10 до 160 мкм. Для расчетов размер частиц принят равным 100 мкм. Результат расчета представлен на рис. 1(б).

Гидродинамическая сила, действующая на частицу, может быть количественно оценена по следующей формуле (2):

$$F_z = 3 \cdot \pi \cdot \mu \cdot d_p \cdot (v - v_l) \cdot k_f, \quad (2)$$

где μ – динамическая вязкость; d_p – эффективный диаметр частицы; v – скорость среды; v_l – скорость частицы; k_f – коэффициент формы частицы [3]. Влиянием остальных сил и их составляющих, действующих в потоке жидкости на частицу в условиях данной задачи можно пренебречь [3]. Величина гидродинамической силы при среднерасходной скорости потока до 5 м/с составила порядка 10^{-6} Н. Таким образом, магнитная сила значительно превосходит гидродинамическую силу, что подтверждает возможность использования постоянных магнитов для фильтрации жидкости при достаточно больших скоростях.

Исследования эффективности фильтрации с использованием различных магнитных систем

Для экспериментального подтверждения эффективности магнитной фильтрации водяного теплоносителя введен в эксплуатацию учебно-исследовательский стенд (рис. 2). Стенд состоит из следующих элементов: насосов (Н1, Н2); запорно-регулирующих клапанов (31, 32, 33); трехходовых-регулирующих клапанов (Т1, Т2); экспериментального участка (ЭМ); индикаторной магнитной системы (ИМС), дозатора частиц (ДЧ); конуса (К) с прозрачным шлангом; труб полипропиленовых DN18; шлангов силиконовых прозрачных; контрольно-измерительных приборов. В качестве рабочей среды используется дистиллированная вода ГОСТ 6709-72.

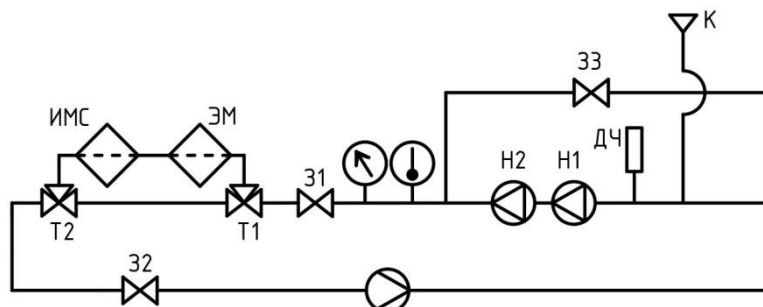


Рис. 2. Гидравлическая схема стенда

Измерение расхода осуществляется по перепаду давления на прямом участке трубы. В ходе проведения эксперимента осуществлялось измерение температуры на входе в экспериментальный участок с помощью хромель-алюмелевой термопары, изготовленной из кабеля КТМС с диаметром чувствительной части 1 мм, и давления. Погрешность измерения расхода, температуры и давления составила 1,5 %, 5 % и 2 % соответственно. Эксперимент проведен в следующем диапазоне режимных параметров: скорость потока воды от 1 м/с до 5 м/с с шагом 2 м/с; температура потока воды от $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$; давление от $0,18\text{ МПа} \pm 0,02\text{ МПа}$. Регулирование скорости потока байпасное. Наличие обводной (байпасной) ветки позволяет добиться равномерного распределения частиц после эжекции их в поток.

Конструкция стенда позволяет проводить исследование фильтров и фильтрующих элементов различных конструкций. Экспериментальная модель (рис.3) на данном этапе представляет собой прямой участок трубы (Т) 16x2 мм длиной 170 мм, изготовленный из органического стекла. В центральной части наружной поверхности трубы размещена магнитная система (МС), которая представляет собой один или более магнитов кольцевого типа, скрепленных между собой. Монтаж ЭМ в состав стенда осуществляется при помощи быстросъемных соединений, обеспечивающих удобство и простоту замены магнитной системы.

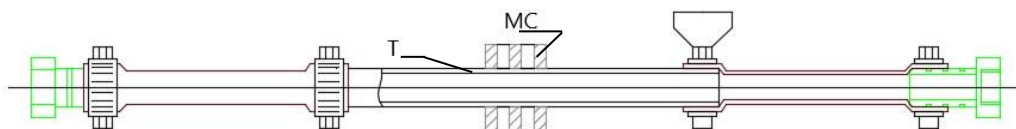


Рис. 3. Экспериментальная модель

В ходе эксперимента исследовалось влияние магнитного поля магнитов, имеющих разную индукцию и напряженность поля на ферромагнитные частицы в потоке жидкости. Типы магнитов и их характеристики приведены в табл. 1.

Таблица 1

Типы магнитов и их характеристики

| Тип магнита (маркировка) | Размеры, мм | Остаточная магнитная индукция, Тл | Коэрцитивная сила, кА/м | Скорость размагничивания, %/10 лет | Диапазон температур, °С |
|--------------------------|-------------|-----------------------------------|-------------------------|------------------------------------|-------------------------|
| Ферритовый (Y30) | 30x17x5 | 0,35 | 200 | 10 | -60 до +200 |
| Неодимовый (N38) | 32x16x5 | 1,22-1,25 | 950 | 1 | -60 до +80 |

Количественной мерой оценки работы магнитных систем является степень фильтрации контура, определяемая по следующей формуле (3):

$$\varepsilon = \frac{m_{\phi}}{m_0} 100\% \quad (3)$$

где m_{ϕ} – масса отфильтрованных частиц; m_0 – масса введенных в контур частиц.

Масса ферромагнитных примесей, вводимых в контур и отфильтрованных магнитной системой, измеряется на аналитических весах Pioneer PA114 с точностью до тысячных долей грамма. Результаты экспериментов с ферритовой и неодимовой магнитными системами представлены на рис. 4 и 5 соответственно. При низкой среднерасходной скорости потока (около 1 м/с) степень фильтрации ферритовых и неодимовых магнитов одинакова. Данный эффект объясняется тем, что гидродинамическая сила F_z не способна преодолеть силы тяжести и трения покоя, действующие на крупные частицы. В результате чего в поток вовлекается лишь малая часть дисперсной примеси, обладающая минимальными габаритами и массой, легко улавливаемая магнитами обоих типов.

Различный характер изменения степени фильтрации контура при увеличении скорости потока жидкости (рис. 4 и 5) обусловлен соотношением гидродинамической и магнитной сил, действующих на ферромагнитную частицу. Это соотношение удобно выразить с помощью безразмерного коэффициента ζ (4):

$$\zeta = \frac{F_z}{F_M} \quad (4)$$

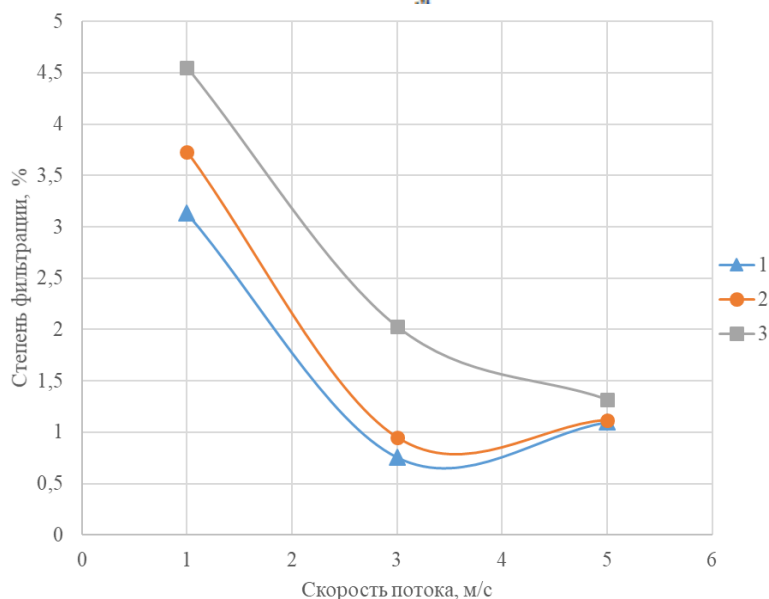


Рис. 4. Результаты исследования ферритовой магнитной системы

- 1 – результаты фильтрации с одним магнитом,
- 2 – с двумя плотно соединенными магнитами,
- 3 – с тремя плотно соединенными магнитами

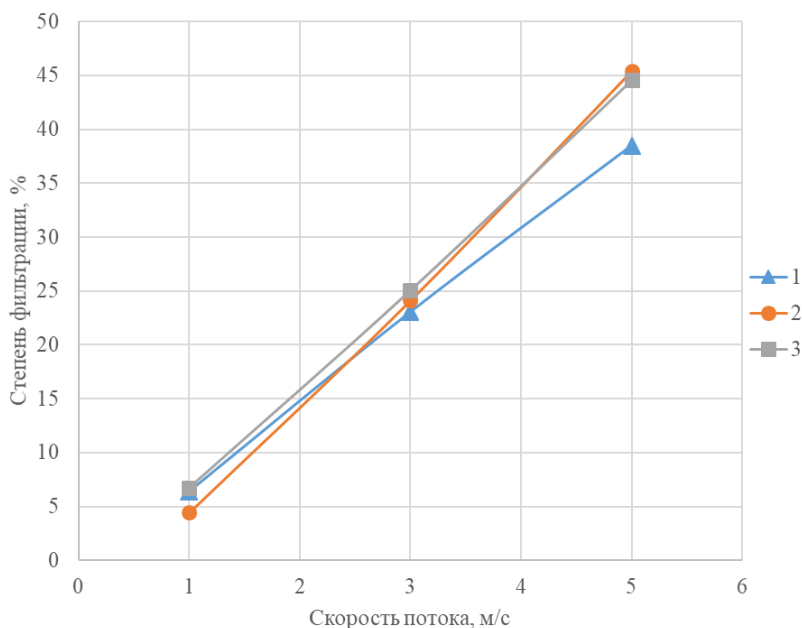


Рис. 5. Результаты исследования неодимовой магнитной системы

- 1 – результаты фильтрации с одним магнитом,
- 2 – с двумя плотно соединенными магнитами,
- 3 – с тремя плотно соединенными магнитами

Увеличение скорости потока, согласно выражению (2), приводит к соответствующему увеличению гидродинамической силы, превосходящей магнитную силу ферритового магнита, что приводит к снижению степени фильтрации (рис.4). Таким образом, при $\zeta > 1$ эффективность фильтрации тем ниже, чем выше величина F_z . В предельном случае, когда ζ стремиться к бесконечности, ε асимптотически стремится к 0. При использовании неодимовых магнитов в указанном диапазоне изменения скорости потока коэффициент $\zeta \ll 1$. В этом случае с увеличением скорости потока эффективность фильтрации возрастает (рис. 5). Данный эффект обусловлен увеличением количества частиц, вовлекаемых в поток жидкости с увеличением F_z . Рост ε должен продолжаться до тех пор, пока ζ не достигнет значения 1, после чего характер изменения степени фильтрации контура при дальнейшем увеличении скорости потока жидкости примет вид, представленный на рис.4.

Очевидно, что в рассмотренной конструкции гидродинамическая сила, действующая на частицы, находящиеся в магнитном поле, при $\zeta > 1$ является «конкурирующей» по отношению к магнитной. Однако принципиально реализуема конструкция фильтра, позволяющая повысить эффективность использования магнитного поля за счет применения закрутки потока при значительной величине F_z . Основной задачей при разработке конструкции такого типа является профилирование проточной части таким образом, чтобы в зоне установки магнитов выполнялось условие $\zeta \ll 1$.

Обоснование конструкции фильтра

С учетом результатов предварительных экспериментов разработана оригинальная конструкция проточного магнитно-гидродинамического фильтра, 3D модель которого представлена на рис. 6.

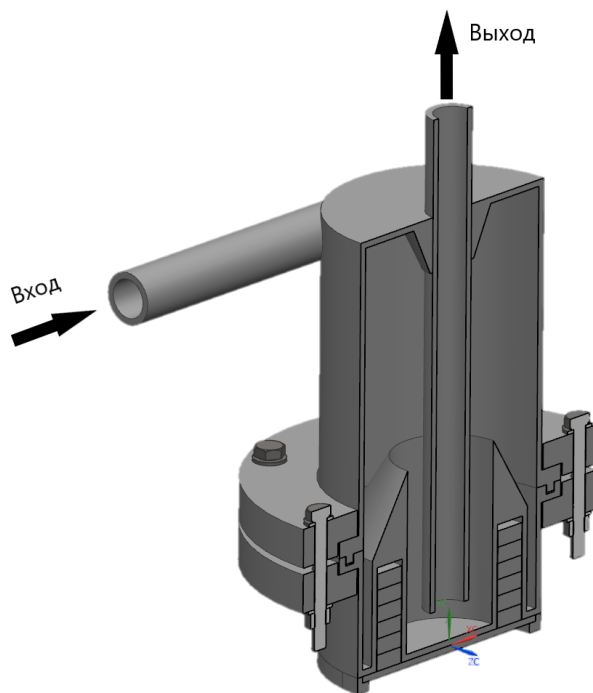


Рис. 6. 3D модель фильтра

На этапе проработки конструкции фильтра решалась сложная задача определения оптимальных геометрических размеров проточной части. Поэтому для уточнения геометрических и получения гидродинамических характеристик использовался программный комплекс ANSYS CFX [12]. В итоге получено поле скорости, определены застойные зоны (области с малым значением усредненной скорости), в которых время действия магнитного поля наибольшее и на ферромагнитные частицы в наименьшей степени действует гидродинамическая сила. Результат расчета в ANSYS CFX представлен на рис. 7а. Как видно из рисунка, скорость в расчетной области в застойных областях стремится к 0 м/с.

Для подтверждения предположения о возможной остановке частиц в застойных областях проведен анализ двухфазного потока в отсутствие магнитного поля в программе ANSYS Fluent [10] с использованием DPM (Discrete Phase Model) модели, которая позволяет смоделировать течение твердых частиц в потоке жидкости. По результатам расчета построены траектории движения частиц (particle track) в расчетной области, рис. 7б. Как видно из рисунка, даже без влияния магнитного поля, траектории частиц сконцентрированы в расчетной области, унос частиц за пределы фильтра практически не наблюдается. Положительные результаты расчетного обоснования позволили перейти к этапу создания экспериментальной модели магнитно-гидродинамического фильтра для валидации результатов, полученных в расчетных кодах.

Для контроля процесса осаждения частиц за счет гидродинамических сил, обусловленных закруткой потока, изготовлена модель фильтра с применением технологии 3D печати. Материал модели подобран таким образом, что после специальной обработки рабочей части фильтра она становится доступной для визуального контроля. Модель дала возможность оценить работоспособность конструкции фильтра и перейти к созданию образца из натурального материала – стали аустенитного класса 12X18H10T.

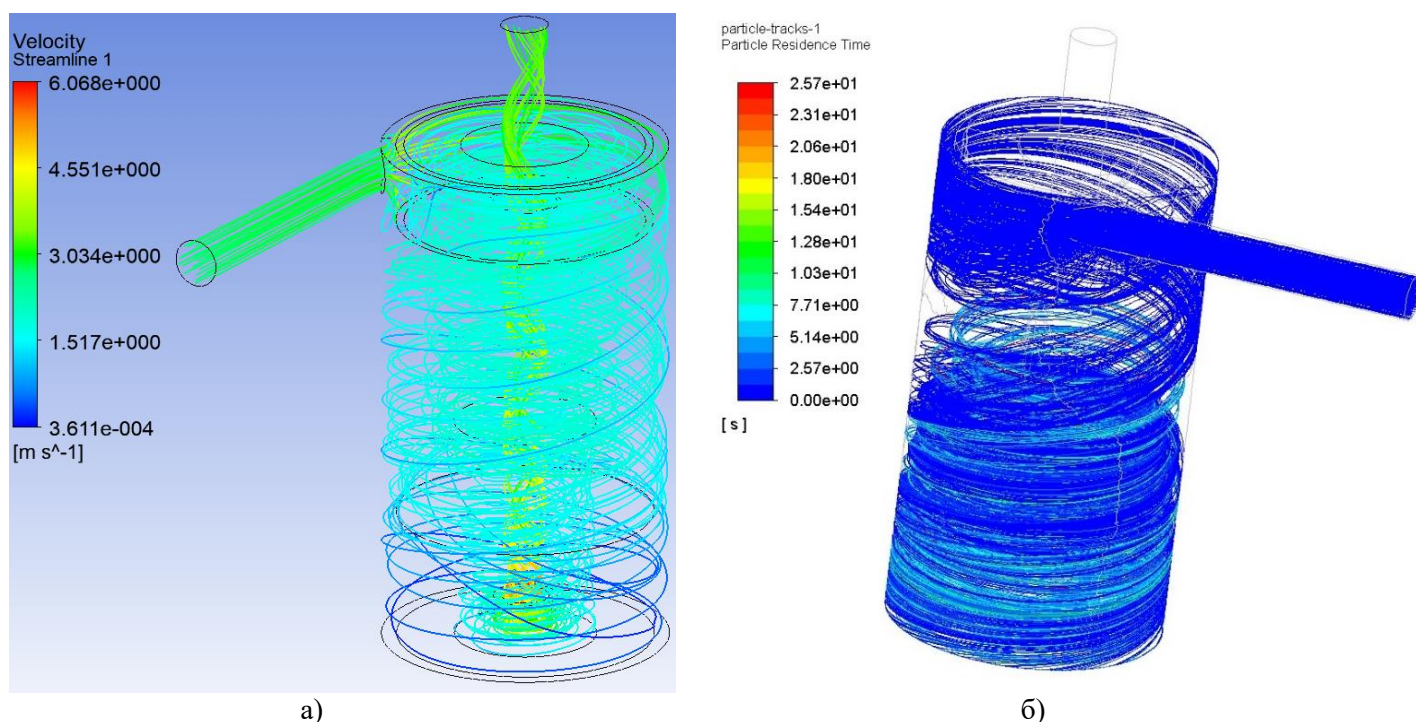


Рис. 7. Результаты расчета в ANSYS

а – поле скоростей в ANSYS CFX, б – траектория частиц в ANSYS Fluent

К настоящему времени разработана методика проведения экспериментального исследования магнитно-гидродинамического фильтра на стенде, согласно которой эксперимент осуществляется следующим образом: в поток жидкости, циркулирующей по обводной относительно экспериментальной модели линии стенда, производится эжекция ферромагнитных частиц массой m . После чего, с помощью трехходовых клапанов Т1 и Т2 циркуляция переводится на линию, включающую экспериментальную модель. Далее, в течение времени t производится фильтрация потока жидкости до появления осадка на магнитной системе ИМС, установленной в качестве индикатора загрязнения контура за ЭМ. В случае, если ИМС не улавливает частиц, циркуляция вновь переводится на обводную линию и эжктируется следующая порция частиц в обозначенном количестве. Последовательность действий повторяется до тех пор, пока на ИМС не начнут осаждаться частицы железа. Эксперимент проводится в диапазоне скорости потока фильтруемой среды до 5 м/с. В ходе эксперимента фиксируется количество впрыскиваемых и отфильтрованных частиц, рассчитывается степень фильтрации. На основании проведенного исследования планируется вынести заключение об эффективности применения магнитно-гидродинамического фильтра приведенной конструкции в системах водо-водяных РУ и, при необходимости, рекомендации по доработке изделия.

Заключение

Магнитное поле является эффективным средством фильтрации рабочей среды. Сила магнитного поля существенно превышает гидродинамическую силу, действующую на частицы в потоке жидкости, что подтверждается экспериментами, проведенными на экспериментальной модели из органического стекла. По результатам проведенного эксперимента наиболее оптимальной для фильтрации является неодимовая магнитная система. Это объясняется магнитной силой неодимовых магнитов, которая существенно превышает силу ферритовых, как показал расчет в ANSYS Megnetostatic.

С использованием неодимовых магнитов разработана оригинальная конструкция магнитно-гидродинамического фильтра. Конструкция разработанного фильтра предусматривает наличие образованных за счет закрутки потока рабочей среды застойных областей, обеспечивающих высокую продолжительность нахождения частиц в области действия магнитного поля. Все эти факторы положительно сказываются на степень фильтрации жидкости, содержащей ферромагнитные дисперсные примеси.

Представленная конструкция фильтра имеет ряд конструктивных решений, обеспечивающих следующие уникальные свойства:

- возможность быстрого извлечения магнитной системы без разгерметизации контура;
- отсутствие контакта магнитной системы с водой, а значит система не подвержена коррозии и не может быть источником вторичных отложений;
- работоспособность в условиях высокого давления.

Следует отметить, что у неодимовых магнитов имеется существенный недостаток, а именно невозможность их использования при высоких температурах. В условиях воздействия высоких температур следует применять самарий – кобальтовые магниты, которые имеют рабочий диапазон от -40°C до $+450^{\circ}\text{C}$, что превышает рабочий диапазон неодимовых более чем в 4 раза. Следовательно, дальнейшие исследования магнитной фильтрации в контурах РУ с водяным теплоносителем должны быть направленными в сторону проработки конструкции фильтров с установленной в них магнитной системой из самария-кобальта.

Работа выполнена в рамках развития кадрового потенциала НГТУ и выполнения мероприятий стратегического проекта 3 «Региональный центр расчетно-экспериментального обоснования инновационных приложений ядерных технологий» Программы развития Опорного Университета, на основании Положения о грантовой поддержке, приказом № 661/6 от 6 декабря 2019 года.

Библиографический список

1. **Сандуляк, А.А.** Совершенствование режимов и систем магнитной очистки технологических сред для предупреждения чрезвычайных ситуаций при эксплуатации энергетического оборудования: дис. канд. тех. наук: 05.26.02 – Московский государственный технический университет «МАМИ», Москва, 2005 – 127 с.
2. **Гусев, Б.А.** Разработка и совершенствование технологий очистки контуров ЯЭУ с водяным теплоносителем от продуктов коррозии: дис. Санкт-Петербург док. тех. наук: 05.14.03 – Научно-исследовательский технологический институт имени А.П. Александрова, Санкт – Петербург, 2014. – 193 с.
3. **Сандуляк, А.В.** Магнитофильтрационная очистка жидкостей и газов / А.В. Сандуляк. – М.: Химия, 1988. – 136 с.
4. **Аносов, С.Н.** Аппараты магнитной обработки воды. Проектирование, моделирование и исследование: монография / С.Н. Аносов, С.Н. Антонов, А.И. Адошев, И.К. Шарипов, В.Н. Шемякин. – Ставрополь: АГРУС Ставропольского гос. аграрного ун-та, 2014. – 220 с.
5. Пат. №2429045. Электромагнитный фильтр // патент РФ №2429045 / А.А. Цынаева, Д.А. Генералов, А.В. Прохоров, А.С. Долгов.
6. Пат. №2206371. Электромагнитный фильтр осадитель // патент РФ №2206371 / А.И. Елшин, Н.Е. Киреев.
7. Пат. №2160148. Магнитный фильтр // патент РФ №2160148. / Ю.В. Данченко.
8. Пат. №2203124. Высокоградиентный магнитный фильтр // патент РФ №2203124. / Б.А. Гусев, Л.Л. Чилипенко, Е.П. Козлов, С.М. Ковалев, С.Н. Харахнин, В.Н. Тищенко.
9. Пат. №2360740. Высокоградиентный магнитный фильтр // патент РФ №2360740 / Д.А. Кирпиков, Б.А. Гусев.
10. **Федорова, Н.Н.** Основы работы в ANSYS 17 / Н.Н. Федорова, С.А. Вальгер, М.Н. Данилов, Ю.В. Захарова. – М.: ДМК Пресс 2017. – 210 с.

11. Гусев, Б.А. Численное моделирование процесса высокоградиентной фильтрации / Б.А. Гусев, В.Г. Семенов, В.В. Панчук // Журнал технической физики. – 2016. – том 86, вып. 9. – С.13-19.
12. Соборнов, А.Е. Определение гидравлических характеристики элементов теплообменного оборудования ЯЭУ с помощью ANSYS CFD 14.0: методические указания / А.Е. Соборнов, Р.Р. Рязанов, А.В. Мамаев, А.Е. Хробостов, М.А. Легчанов. – Н.Новгород: НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2017. – 46 с.

*Дата поступления
в редакцию: 05.02.2019*

M.V. Treushnikov, R.R. Riazapov, A.E. Sobornov, A.V. Mamaev, A.V. Kotin

CALCULATION AND EXPERIMENTAL STUDY OF MAGNETIC FILTERS ON PERMANENT MAGNETS APPLICABLE TO PRESSURIZED WATER REACTOR

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alekseev

Purpose: development of an optimal magneto-hydrodynamic filter design for the needs of the power industry, which effectively uses the strength of the hydrodynamic force and the magnetic field of permanent magnets of various types.

Design / methodology / approach: The paper presents a comparative analysis of existing designs of magnetic filters. An original filter design is proposed. Development of the filter included numerical and experimental studies. Numerical modeling of the velocity field and pressure gradients of swirling flow is carried out using ANSYS CFX, particle flow paths calculated using DPM model in ANSYS Fluent. Computational study of magnetic force made by using the ANSYS Magnetostatic software package. An experimental study of the efficiency of magnetic filters is carried out at the experimental facility, which was specially designed to study filters of various designs. Studies are conducted for neodymium and ferrite magnetic systems of various geometric shapes.

Findings: Quantitative values of the magnetic and hydrodynamic forces are obtained. The results of evaluating the filtration efficiency at various coolant speeds and versions of magnetic systems are presented. The data obtained can be used to further develop of the filter design.

Originality/value: Based on the obtained experimental and calculated data, an original filter design has been proposed that provide effectively using both the strength of the magnetic field and the hydrodynamic force.

Key words: magnetic filtration, hydrodynamic force, magnetic force, magnetic field, velocity field, ANSYS, experimental facility, flow swirl, reactor, PWR, neodymium magnet, ferrite magnet, DPM model.