

А. В. Радионов, канд. техн. наук, директор (НПВП «Феррогидродинамика», г. Николаев, Украина)

Применение магнитожидкостных герметизаторов для повышения техногенной безопасности опасных производств

На основе исследования крупных аварий последнего десятилетия установлено, что для многих видов технологического оборудования причиной отказа была неудовлетворительная работа уплотнений. Решение этой проблемы возможно применением магнитожидкостных герметизаторов. Разработанная математическая модель позволяет прогнозировать работоспособность и эксплуатационную надежность при повышенных зазорах, образующихся ввиду физического старения и изношенности применяемого оборудования.

Ключевые слова: магнитная жидкость, магнитожидкостный герметизатор, техногенная безопасность, магнитная индукция.

На основі дослідження великих аварій останнього десятиліття встановлено, що для багатьох видів технологічного обладнання причиною відмови була незадовільна робота ущільнень. Вирішення цієї проблеми можливе завдяки застосуванню магніторідинних герметизаторів. Розроблена математична модель дозволяє прогнозувати працездатність і експлуатаційну надійність при підвищених зазорах, що утворюються через фізичне старіння і зношеність обладнання, що застосовується.

Ключові слова: магнітна рідина, магніторідинний герметизатор, техногенна безпека, магнітна індукція.

The major accidents of the last decade have been analyzed. It was shown that poor performance of seals was the cause of failure for many types of process equipment. The solution to this problem is possible by using magnetic sealers. The developed mathematical model allows to predict the performance and operational reliability at high gaps formed due to natural aging and wear of the used equipment.

Keywords: magnetic fluid, magnetic fluid seal, technological security, magnetic induction.

Постановка проблемы и анализ последних публикаций

Современное состояние экологической безопасности ряда отраслей промышленности Украины (нефтеперерабатывающая, горнодобывающая, химическая и т. д.) характеризуется обострением проблем, обусловленных, прежде всего, старением оборудования, что связано с недостаточностью средств, вкладываемых в его обновление. Последствия длительной эксплуатации изношенного оборудования проявляются в резком ухудшении техногенной безопасности, как составляющей части экологической безопасности по конечному результату влияния на окружающую среду и безопасную деятельность людей [1].

Стадии зарождения и развития аварийной ситуации протекают, как правило, скрытно и связаны с накоплением разрушительного потенциала. Об этом свидетельствует анализ крупных аварий последних десятилетий, многие из которых начинались с отказа вспомогательного, малозначи-

тельного элемента [2]. Одним из основных источников опасности являются уплотнительные системы [3].

Изучение обстоятельств аварийности и травматизма в этих отраслях показывает, что концепция безотказной работы технических систем и производственной безопасности должна рассматриваться как составная часть техногенной и экологической безопасности. Считается, что ущерб от аварийности и травматизма достигает 10–15 % валового национального продукта промышленного развития государств, а экологическое загрязнение окружающей среды и несовершенная техника безопасности являются причиной преждевременной смерти 20–30 % мужчин и 10–20 % женщин.

Значительное место в проблеме промышленной и техногенной безопасности занимает обеспечение безопасности при нормальной эксплуатации оборудования, которая в значительной степени определяется надежностью составляющих его элементов или систем.

Несмотря на значительный прогресс в области герметологии и многообразие конструктивных решений, проблема обеспечения длительного безотказного функционирования уплотнений является чрезвычайно актуальной. Это связано с тем, что потенциальные возможности традиционных уплотнений (манжетных, сальниковых, торцевых, лабиринтных и других типов) в значительной степени исчерпали себя, и обеспечить абсолютную герметичность они не в состоянии.

Изучение обстоятельств аварийности и травматизма в отраслях показало, что наибольший «вклад» вносят следующие источники опасности:

- электросиловое оборудование;
- средства хранения токсичных и легковоспламеняющихся жидкостей;
- подвижное технологическое оборудование [4].

В этой связи актуальным является рассмотрение эксплуата-

ционной надежности электрических машин переменного тока. Они массово используются на всех опасных производствах в качестве привода компрессоров, насосов большой производительности, мешалок и в значительной мере определяют эффективность применения всех технических средств. Недостаточная надежность электромашин приводит как к большим сверхнормативным расходам на преждевременные ремонты и внеплановые простои оборудования, так и к риску возникновения крупных техногенных и экологических катастроф.

Целью данной работы является исследование возможности применения магнитожидкостных герметизаторов для крупных электрических машин при величинах рабочего зазора 0,2–1,0 мм для повышения техногенной безопасности технологического оборудования путем изучения распределения магнитной индукции непосредственно в рабочей зоне.

Исследование возможности применения магнитожидкостных герметизаторов для крупных электрических машин

Одним из возможных путей решения данной проблемы является применение нового типа уплотнений – магнитожидкостных герметизаторов (МЖГ) [5–7].

Типовая конструкция герметизатора показана на рис. 1 а и содержит следующие основные элементы: постоянный магнит, полюсные наконечники и вращающийся вал, которые образуют замкнутую магнитную цепь. В рабочем зазоре между валом и наконечниками находится магнитная жидкость, удерживаемая в этом зазоре с помощью магнитных сил, зависящих от величины магнитного поля в зазоре. Характер распределения магнитного поля в активной зоне МЖГ, полученный с помощью численного метода конечных элементов, показан на рис. 1 б. Отметим, что для получения резконеоднородного магнитного поля в рабочем зазоре поверхность полюсных наконечников имеет зубчатую структуру.

Основными преимуществами МЖГ перед традиционными уплотнениями являются нулевые утечки герметизируемой среды, минимальный износ вследствие чисто жидкостного трения, низкие энергетические потери, высокая ремон-

топригодность, простота техобслуживания, работоспособность в статике и динамике, самовосстановление в случае аварийного прорыва уплотняемой среды [8].

Все техническое обслуживание МЖГ в период эксплуатации сводится к дозаправке магнитной жидкости, в зависимости от конструкции и условий эксплуатации, один раз в 0,5–2 года. Это особенно важно, т. к. наиболее типичной причиной аварийной ситуации технологического оборудования являются две предпосылки: ошибка человека или отказ оборудования. Доля исходных предпосылок, вызванных ошибочными и несанкционированными действиями человека, составляет 50–80 %, тогда как технические предпосылки – 15–25 % [9]. При применении

Основные характеристики МЖГ определяются параметрами магнитного поля в рабочем зазоре и физическими свойствами (прежде всего, седиментационной и агрегативной устойчивостью) находящейся в нем магнитной жидкости (МЖ).

В работе рассмотрено влияние магнитного поля на работоспособность МЖГ. Ввиду малой величины рабочего зазора измерить распределение магнитной индукции фактически невозможно, т. к. датчик Холла имеет больший размер, чем зазор в МЖГ. Единственной возможностью измерить индукцию в зазоре является применение датчиков Холла из нитевидных кристаллов антимонида индия [10], их толщина составляет до 0,05–0,07 мм. Однако с их помощью тоже сложно добиться полной картины распре-

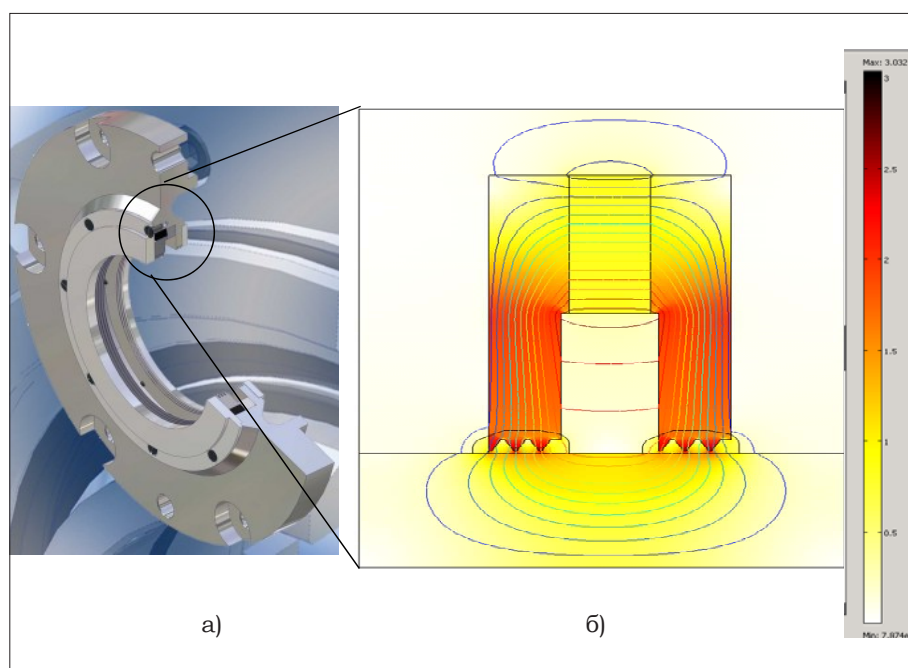


Рис. 1. Типовая конструкция магнитожидкостных герметизаторов (а) и распределение силовых линий магнитного поля и магнитной индукции (в цвете) в его активной зоне (б)

МЖГ человеческий фактор существенно минимизируется.

Сдерживающим фактором внедрения МЖГ для оборудования, выработавшего свой ресурс, является недостаточная изученность работоспособности МЖГ при больших величинах рабочего зазора. Как правило, эта величина должна быть не более 0,2–0,25 мм [9]. В тоже время анализ условий работы электрических машин показывает, что на практике этот параметр должен быть увеличен как минимум до 0,5–0,8 мм.

деления магнитного поля, а с учетом того, что в рабочей зоне МЖГ магнитное поле является резко неоднородным, то фактически невозможно. Аналитические методы также не решают проблему ввиду сложной геометрии в зазоре из-за наличия концентраторов магнитного потока, нелинейных характеристик постоянных магнитов, магнитопроводов и МЖ. Для расчета и анализа магнитного поля используются методы, основанные на ряде допущений, соответственно результаты получаются с высокой

погрешностью. Даже использование численных методов до недавнего времени не давало существенных результатов ввиду большой сложности расчетов [11]. И только в последние годы уровень развития вычислительной техники позволил решать такие задачи.

Для изучения распределения магнитной индукции в рабочем зазоре МЖГ была разработана компьютерная методика, приведенная в работе [12], которая реализуется методом конечных элементов с помощью пакета программы Comsol. С помощью этой методики было рассчитано распределение магнитной индукции в активной зоне МЖГ для интервала изменения рабочего зазора 0,1–0,8 мм с шагом 0,1 мм. Высота постоянного магнита в этих расчетах принималась 12 мм. На рис. 2 показано распределение магнитной индукции для трех значений зазора – 0,2, 0,5 и 0,8 мм. Исследовались три области – магнитная индукция на поверхности концентратора магнитного потока («зубе») либо магнитопровода (кривая 1), в середине зазора (кривая 2) и на поверхности вала (кривая 3).

Закономерности распределения магнитной индукции в рабочем зазоре следующие. В зонах минимального зазора между зубцами и валом магнитная индукция максимальна, в области канавок, т. е. на границах зубцов – минимальна. На внешних границах крайних зубцов магнитная индукция ниже, чем на границах средних зубцов. Это связано с проявлением краевого эффекта и выпучивания силовых линий магнитного поля. Магнитная индукция в рабочем зазоре меняется как в аксиальном направлении, так и в радиальном.

Из рассмотрения рис. 2 видно, что максимальное поле с увеличением рабочего зазора уменьшается с 1,8 Тл при зазоре 0,2 мм до 1,2 Тл при зазоре 0,8 мм. Это уменьшение индукции приведет к снижению величины критического перепада давления между внутренним и внешним объемами МЖГ, а отсюда и к снижению эффективности работы герметизатора.

Одним из возможных путей увеличения магнитного поля в рабочем зазоре МЖГ является увеличение объема постоянных магнитов. Результаты расчетов магнитного поля для трех значений высоты постоянного магнита показаны на рис. 3. Из рисунка видно, что при большом зазоре и при выборе магнитов

большого объема (с высотой 22 мм), можно получить магнитное поле со средним значением 1,75 Тл, т. е. практически такое же поле, как и при малом зазоре (0,2 мм и малой высоте магнита – см. верхний рисунок на рис. 2).

Для исследуемой магнитной системы с применением постоянных магнитов из сплава Ne-Fe-B с учетом опыта проектирования и эксплуатации МЖГ [7] можно сделать вывод, что создаваемое магнитное поле на уровне 1,8 Тл способно обеспечить удержание магнитной жидкости в рабочем зазоре.

Выводы

1. Повышенные требования к эксплуатационной надежности технологического оборудования опасных производств активизировали работы по совершенствованию уплотнительных систем с целью достижения 100 % герметичности.

2. Применение магнитоэластомерных герметизаторов является обоснованным направлением повышения техногенной безопасности оборудования при радиальных зазорах до 1 мм.

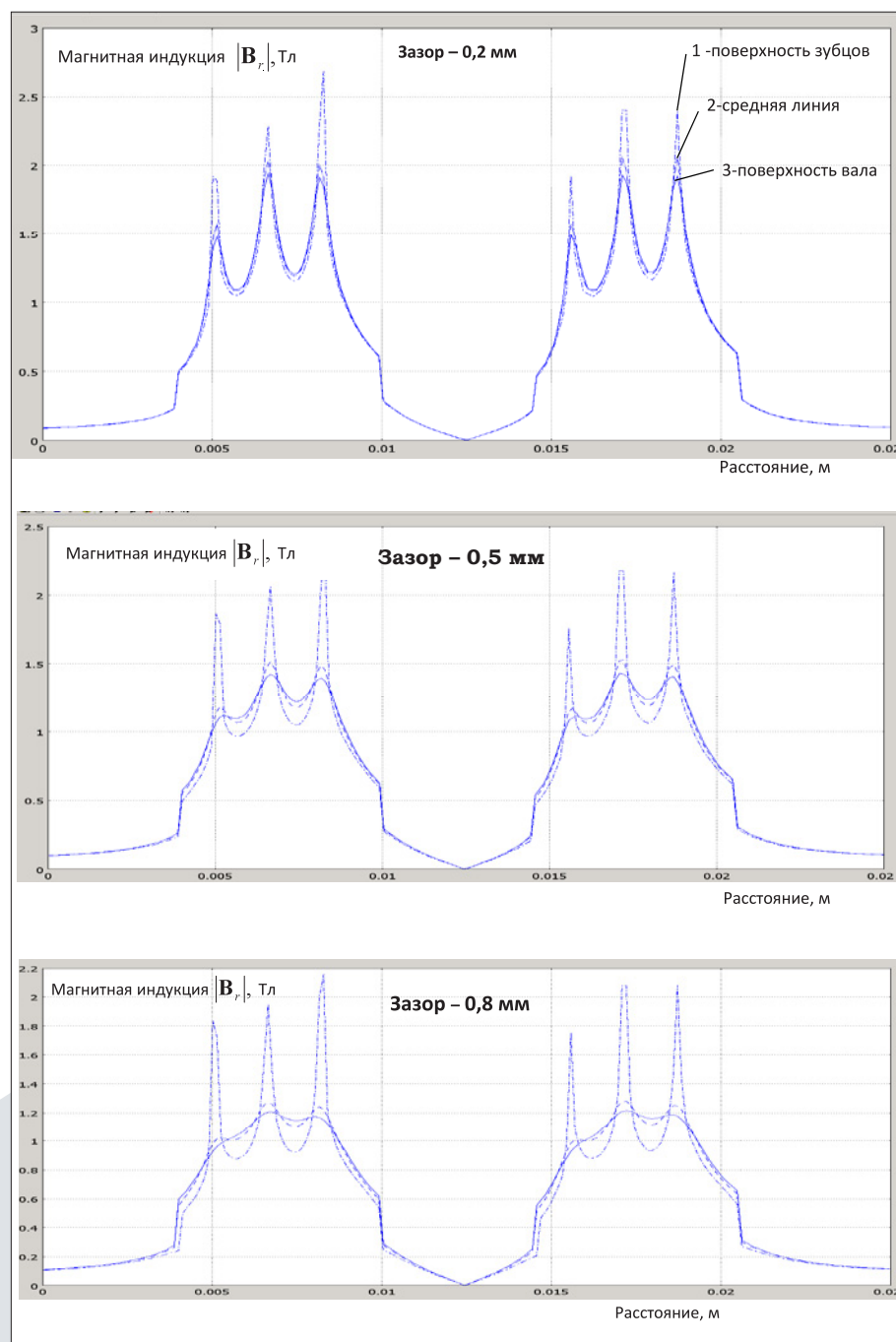


Рис. 2. Распределение магнитной индукции в рабочем зазоре магнитоэластомерного герметизатора при трех значениях зазора

3. Разработанная математическая модель для анализа магнитного поля в рабочей зоне МЖГ учитывает нелинейные свойства материалов магнитопровода и вада. Она применяется при проектировании герметизаторов крупных электрических машин.

4. Опыт эксплуатации МЖГ показывает, что с помощью модели можно точно прогнозировать работоспособность герметизатора.

Список литературы:

1. Белов С. А. Надежность теплоэнергетического оборудования ТЭС / С. А. Белов, В. В. Литвак, С. С. Солод. – Томск: Изд-во НТЛ, 2008. – 218 с.
2. Быков А. А. О проблемах техногенного риска и безопасности техносферы / А. А. Быков // Проблемы анализа риска. – 2012. – Т. 9. – № 3. – С. 4–8.

3. Казаков Ю. Б. Герметизаторы на основе нанодисперсных магнитных жидкостей и их моделирование / [Ю. Б. Казаков, Н. А. Морозов, Ю. И. Страдомский, С. М. Перминов]. – Иваново: ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина, 2010. – 184 с.

4. Ветошкин А. Г. Техногенный риск и безопасность / А. Г. Ветошкин, К. Р. Таранцева. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та. 2001. – 171 с.

5. Радионов А. В. Магнитожидкостные герметизаторы на химических заводах: опыт внедрения и перспективы / А. В. Радионов, А. Н. Виноградов, В. Н. Веревкин // Химическая техника. – 2003. – № 1. – С. 28–32.

6. Радионов А. В. Комбинированные магнитожидкостные герметизаторы – эффективная альтернатива бесконтактным уплотнениям подшипниковых узлов с жидкой смазкой / А. В. Радионов, А. Н. Виноградов // Збачення корисних копалин: наук. техн. зб. – 2009. – Вип. 35 (76). – С. 148–155.

7. Радионов А. В. Опыт эксплуатации магнитожидкостных герметизаторов в промышленной энергетике / А. В. Радионов // Гірничі електромеханіка та автоматика. – Вип. 87. – Дніпропетровськ, 2011. – С. 134–138.

8. Розенцвейг Р. Феррогидродинамика / Р. Розенцвейг. – М.: Мир, 1989. – 357 с.

9. Таїрова Т. М. Методологічні засади моніторингу виробничого травматизму. – [Електронне видання]: монографія / Т. М. Таїрова. – К.: Основа, 2014. – 201 с.

10. А.С. СССР №840773. Магнитометр / [В. А. Крикун., В. А. Радионов., В. Г. Борозенец и др.] / заявл. 27.09.1978, опубл. 23.06.1981, бюл. № 23.

11. Chari M. V. K. Finite element analysis of a magnetic fluid seal for large-diameter high-speed rotating shaft / M. V. K. Chari, E. T. Laskasis, J. D'Angelo // Jee Transactions On Magnetics. – 1981. – Vol. Maf. 17. №6, November. – P. 3000–3002.

12. Radionov A. Finite-Element Analysis of Magnetic Field and the Flow of Magnetic Fluid in the Core of Magnetic-Fluid Seals for Rotational Shaft / A. Radionov, A. Podoltsev, A. Zahorulko // XIIIth International Scientific and Engineering Conference «HERVICON-2011». Procedia Engineering. – 2012. – №39. – P. 327–338.

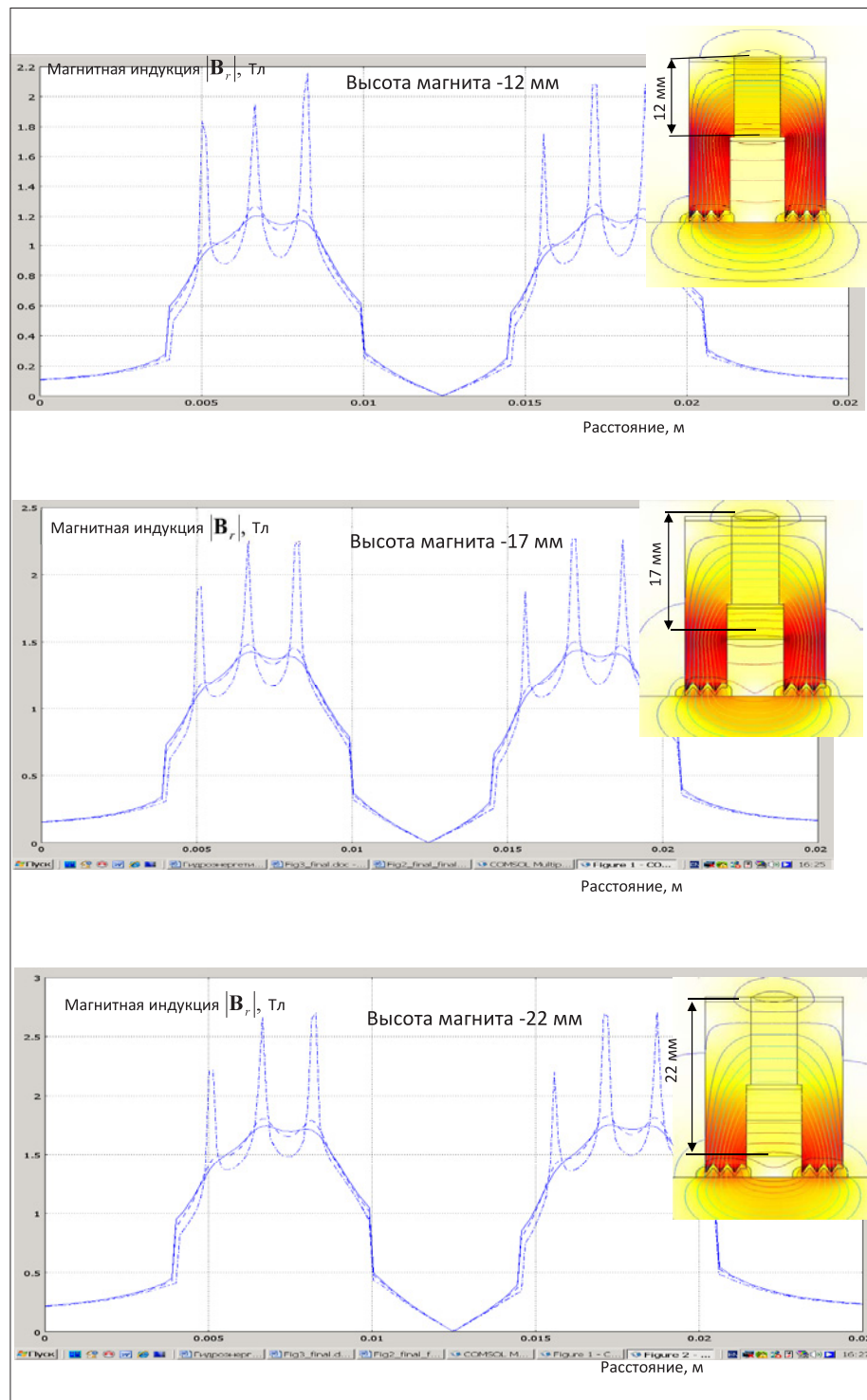


Рис. 3. Распределение магнитной индукции в рабочем зазоре магнитожидкостного герметизатора при трех значениях высоты постоянного магнита