



РАДИОНОВ А.В., канд. техн. наук,
директор НПВП "Феррогідродинаміка"
ПОДОЛЬЦЕВ А.Д., докт. техн. наук,
Інститут електродинаміки НАН України

МАГНИТОЖИДКОСТНЫЕ ГЕРМЕТИЗАТОРЫ КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ГЭС

Рассмотрена возможность применения магнитожидкостных герметизаторов вращающегося вала в качестве средства повышения экологической безопасности технологического оборудования ГЭС. Показано, что в случае больших рабочих зазоров в зоне герметизатора необходимо обеспечить уровень магнитного поля в зазоре на уровне 1,8 Тл. Расчетным путем показано, что при большом зазоре 0,8 мм для получения такого поля необходимо увеличивать объем постоянных магнитов, располагая их в непосредственной близости от магнитной жидкости.

Современное состояние гидроэнергетики Украины характеризуется обострением ряда проблем, обусловленных, прежде всего, старением оборудования, что связано с недостаточностью средств, вкладываемых в его обновление. Становится очевидным, что в ближайшей перспективе эксплуатация действующих ГЭС будет осуществляться частично на существующем оборудовании. Хотя в последнее время в связи с проведенной реконструкцией не возникали аварии, связанные со старением оборудования, существующая ситуация выдвигает проблемы совершенствования режимов эксплуатации и повышения экологической безопасности технологического оборудования.

Необходимо отметить, что 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, малозначительного элемента [1]. Поэтому для сохранения безотказности работы оборудования необходимо сочетать работы по полной замене оборудования и проведению расширенных восстановительных ремонтов турбин и генераторов с заменой отдельных узлов и деталей.

Технологическое оборудование ГЭС представляет собой комплекс разнообразных машин и их ресурс вырабатывается не одновременно. В связи с этим не только ремонт узлов, агрегатов по мере износа, но и постепенная их замена на новые усовершенствованные конструкции позволит повысить степень использования каждого элемента и осуществить восстановление оборудования с минимальными затратами.

Изучение обстоятельств аварийности и травматизма как в гидроэнергетической отрасли, так и в других отраслях показывает, что одним из основных источников опасности являются уплотнительные системы. Так, например, многочисленные узлы трения гидротурбин снабжены трудно-

доступными уплотнениями, достаточно сложно исключить утечки смазочных материалов. Из опыта эксплуатации гидротурбинных установок следует, что до 5% всех аварийных остановок гидроагрегатов связано с нарушением герметичности уплотнений гидротурбин [2].

Несмотря на значительный прогресс в области герметологии и многообразии 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 [3].

Одним из возможных путей решения данной проблемы являются применение нового типа уплотнений — магнитожидкостных герметизаторов (МЖГ) [4, 5, 6]. 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 зубцовую структуру.

Основными преимуществами МЖГ перед традиционными уплотнениями являются нулевые утечки герметизируемой среды, минимальный износ вследствие чисто жидкостного трения, низкие энергетические потери, высокая ремонтпригодность, простота техобслуживания, работоспособность в статике и динамике, самовосстановление в случае аварийного прорыва уплотняемой среды [7].



Техническое обслуживание МЖГ в период эксплуатации сводится к дозаправке магнитной жидкости один раз в 0,5...2 года (в зависимости от конструкции и условий эксплуатации). 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 % [8]. При применении МЖГ человеческий фактор существенно минимизируется.

Сдерживающим фактором внедрения МЖГ для оборудования, выработавшего свой ресурс, является неизученность 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 технологических установок ГЭС показывает, что на практике этот параметр должен быть увеличен как минимум до 0,5...0,8 мм.

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 данной статье рассмотрим влияние магнитного поля на работоспособность МЖГ. Из-за 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 антимионда индия [10], их толщина составляет до 0,05...0,07 мм. Однако с их помощью тоже сложно добиться полной картины распределения магнитного поля, а с учетом того, что в рабочей зоне МЖГ магнитное поле является резконеоднородным, 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 МЖГ. 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 вследствие 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, реализуемая методом конечных элементов с помощью пакета программ Comsol и описанная [12]. 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 равной 10 мм. На Рис. 2 показано распределение магнитной индукции для трех значений зазора – 0,2 мм, 0,5 мм и 0,8 мм. Исследовались три области – магнитная индукция на поверхности концентратора магнитного потока 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 в середине зазора 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 при зазоре 0,8 мм показаны на Рис. 3. Из этого рисунка видно, что при большом зазоре и при выборе магнитов большего объема (с высотой 20 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 [6] можно сделать вывод, что создаваемое магнитное поле на уровне 1,8 Тл способно обеспечить удержание магнитной жидкости в рабочем зазоре в статике при небольших оборотах вращающегося вала, когда линейная скорость вала в активной зоне герметизатора не превышает 10 м/с (что достаточно часто встречается в технологическом обо-

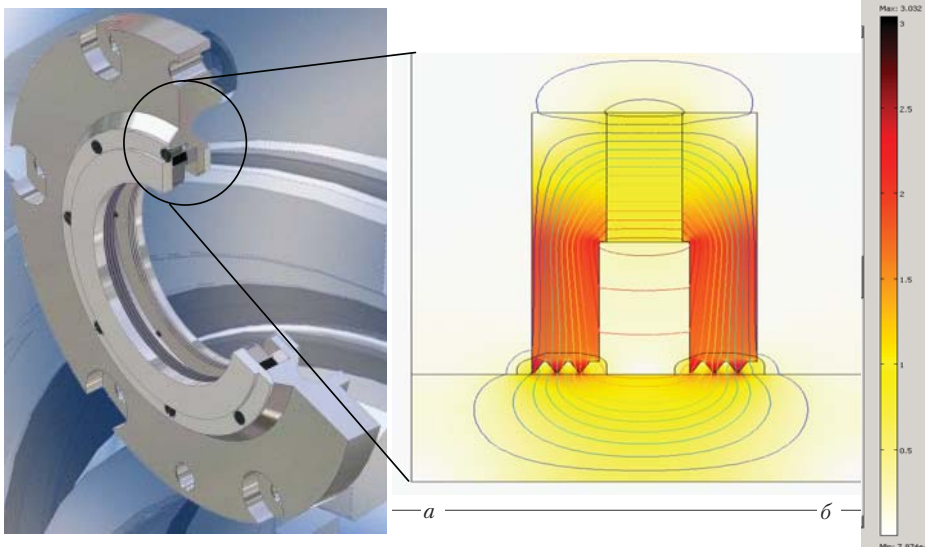


Рис. 1. Типовая конструкция МЖГ (а) и распределение силовых линий магнитного поля и магнитной индукции (в цвете) в его активной зоне (б)

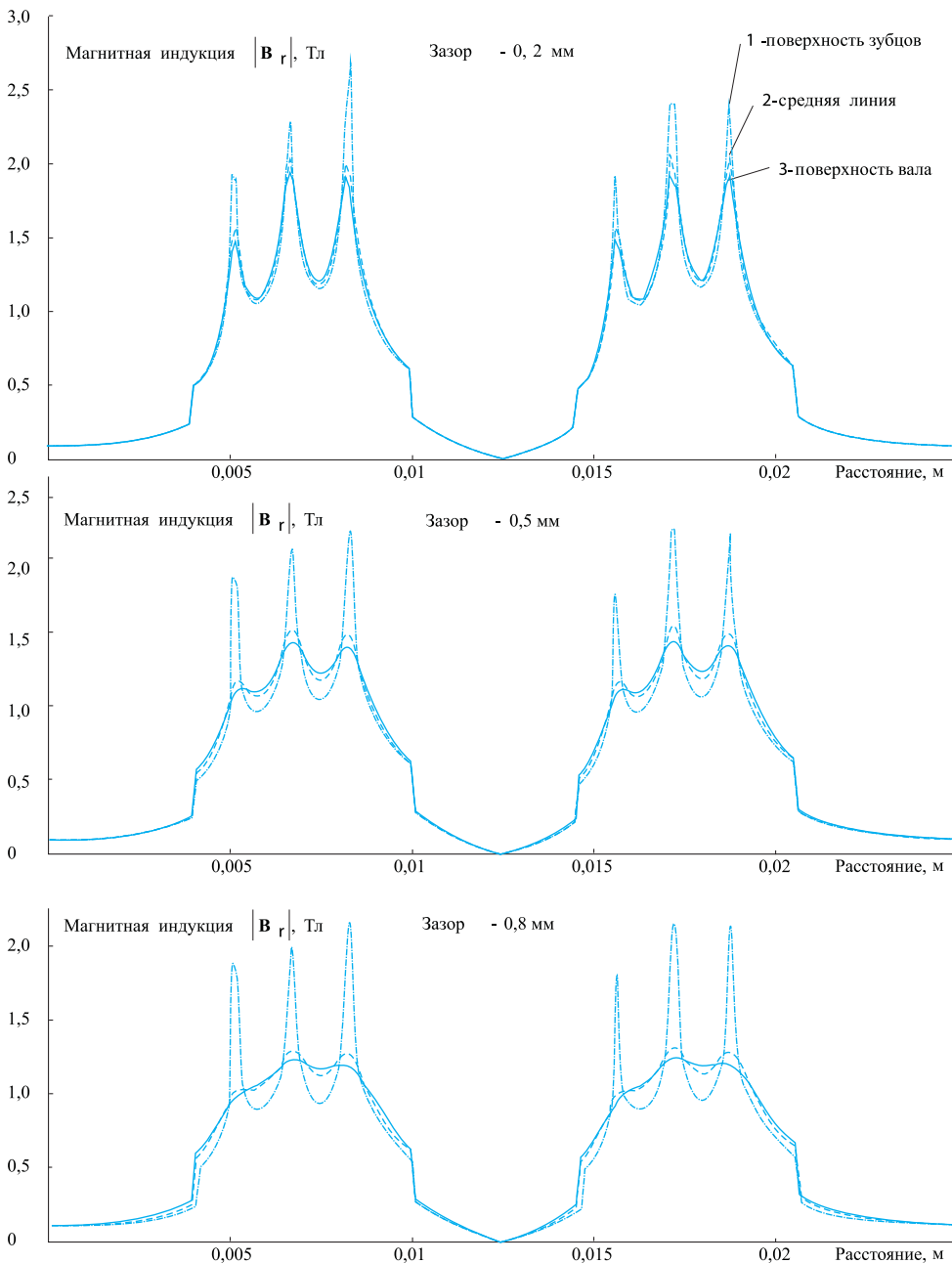


Рис. 2. Распределение магнитной индукции в рабочем зазоре МЖГ при трех значениях зазора

рудования, в том числе и применяемом на ГЭС). В случае больших зазоров для получения такой величины поля необходимо создавать специальную магнитную систему, характеризующуюся, во-первых, повышенным объемом постоянных магнитов, и во-вторых, реализующую принцип Хальбаха (когда намагниченность постоянных магнитов совпадает с направлением силовых линий магнитного поля). При более высоких линейных скоростях вала необходимо проводить компьютерное моделирование взаимосвязанных нелинейных магнитных и гидродинамических процессов в активной зоне МЖГ для каждой разрабатываемой конструкции герметизатора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Макронос А.Г., Придвижкин В.А., Питецкая К.Ю. Управление ресурсом безопасной эксплуатации техники. // Екатеринбург: ГОУВПО "Рос. гос. Проф." – ред. ун-т, 2007. – 185 с.

2. Козлитин А. М., Попов А.И., Хрусталева В.А. [и др.]. Детерминированные методы количественной оценки экологической опасности аварий на гидротехнических сооружениях. // Межд. науч. сб. "Устойчивое экологическое развитие: региональные аспекты. – Саратов: Саратовский гос. техн. ун-т, 2001. – С.69–83.

3. Мельник В.А. Торцовые уплотнения валов. // М.: Машиностроение, 2008. – 320 с. – (Б-ка конструктора)

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

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

6. Радионов А.В. Опыт эксплуатации магнитожидкостных герметизаторов в промышленной энер-

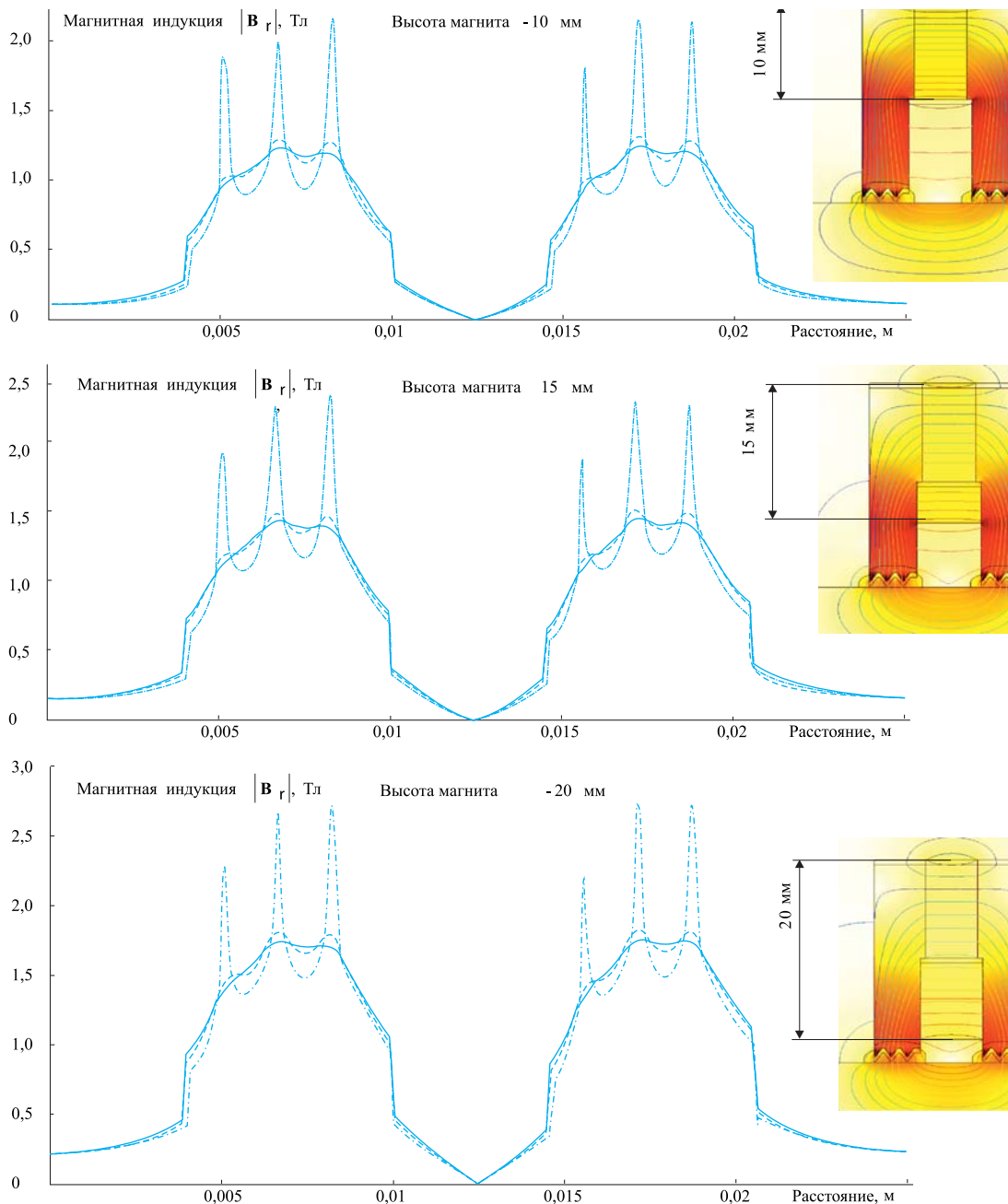


Рис. 3. Распределение магнитной индукции в рабочем зазоре МЖГ при трех значениях высоты постоянного магнита

гетике.// Гірничя електромеханіка та автоматика. — Вип. 87. — Дніпропетровськ, 20011. — С. 134 — 138.

7. Розенцвейг Р. Феррогидродинамика. — М.: Мир, 1989. — 357 с.

8. Таїрова Т.М. Методологічні засади моніторингу виробничого травматизму. — К.: Основа, 2014. — 201 с.

9. Казаков Ю.Б., Морозов Н.А., Страдомский Ю.И., Перминов С.М. Герметизаторы на основе нанодисперсных магнитных жидкостей и их моделирование. /ГОУВПО "Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина. — Иваново, 2010. — 184 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., Laskasis E.T., D'Angelo J. Finite element analysis of a magnetic fluid seal for large-diameter high-speed rotating shaft.// IEEE Transactions On Magnetics. — 1981. — Vol. Maf. 17. № 6, November, — P. 3000 — 3002.

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

© Радионов А.В., Подольцев А.Д., 2014

