

**КОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
МАГНИТНОГО ВИС ТИПА «MFL»****В. И. Прокошин¹, В. А. Ярмолович²**¹*Белорусский республиканский фонд фундаментальных исследований,
г. Минск, Республика Беларусь*²*ГО «НПЦ НАН Беларуси по материаловедению»,
г. Минск, Республика Беларусь*

Разработана компьютерная модель расчета пространственного распределения компонент индукции магнитного поля внутри трубы магистрального трубопровода, когда в ней находится внутритрубный инспекционный снаряд (ВИС) типа «MFL», обеспечивающий продольное намагничивание трубы между «щетками» практически до насыщения. При этом задаются геометрические параметры реального снаряда MFL, трубопровода, магнитные свойства материалов труб, щеток, магнитов и конструкций магнитопровода. Для этого с помощью программы FEMM 4.2 [1] решалось уравнение Пуассона для векторного магнитного потенциала A , где $B = \text{rot } A$, а B – индукция магнитного поля. Для полного определения функции A использовалось условие $\text{div } A = 0$. Уравнение, описывающее магнитные свойства материалов конструкции имело вид $B = \mu H + B_r$, где μ – магнитная проницаемость вещества, которая являлась функцией $|B|$, что и выражает нелинейную связь между полями B и H вследствие насыщения магнитного потока (особенно в месте сужения магнитного потока). Для этой модели граничные условия выражались через векторный потенциал. Тангенциальная составляющая A на границе, находящейся в бесконечности, приравнивалась к нулю. На оси симметрии вращения накладывалось условие $A = 0$, а в плоскостях магнитной и геометрической симметрии $dA/dn = 0$. Так как конструкция ВИС типа «MFL» симметрична относительно продольной оси трубы магистрального трубопровода, то решалась двухмерная задача в координатах R, Z и считалось, что магнитное поле не зависит от угла φ . Конечные элементы, используемые для дискретизации рассматриваемой области, имели вид треугольников различных размеров, причем размеры увеличивались при приближении к границам модели. Общее количество точек, в которых осуществлялся расчет, составлял не менее 50 тысяч. Дискретизация выполнялась автоматически. Постпроцессор решал систему линейных алгебраических уравнений таким образом, пока сходимость уравнений не уменьшалась до 10^{-8} .

Проведен модельный расчет распределения магнитного поля в «щетках» ВИС типа «MFL» и установлены общие закономерности прохождения магнитного потока к стенкам магистрального трубопровода. Закладывались магнитные свойства постоянных магнитов на основе NdFeB с удельной энергией 37 МГОе. Считалось, что корпус «MFL» и магистрального

трубопровода изготовлен из стали М-45. Зависимости $B(H)$ для магнитных материалов аппроксимировались кубическими сплайнами. Применялся геометрический аналог щеток с отношением поверхностей изображенных прутьев к поверхности держателя, равным коэффициенту заполнения щеток, который равнялся 0,3. Использовалось 6 групп сплошных прутьев.

Проведено компьютерное моделирование пространственного распределения компонент индукции магнитного поля в зоне расположения датчиков Холла снаряда «MFL» при различных неоднородностях в ферромагнитных конструкциях трубопровода, имитирующих следующие дефекты магистральных нефте- и газопроводов: поперечные трещины, коррозия, задиры, ликвации, непровары швов, нарушения сплошности.

Определена разрешающая способность (минимальные размеры) обнаружения датчиками Холла дефектов на поверхностях трубы как функция удаленности магнитных сенсоров от поверхности трубы. Например, при расположении двухкомпонентных преобразователей Холла на расстоянии 3–4 мм от внутренней поверхности трубы разрешающая способность обнаружения дефекта при глубине h не менее чем $h = 0,1t$, где t – толщина трубы трубопровода для следующих видов дефектов: общая коррозия, питтинг, заDIR поперечный, обнаружение раковин, пор, непроваров, шлаковых включений – от $0,15t$ и обнаружение поперечных трещин – от $0,2t$.

Показано, что дефекты стресс-коррозийного типа могут быть обнаружены инспекционными снарядами типа «MFL» только случайным образом.

Для разбраковки неоднородностей в ферромагнитных объектах на приповерхностные и др. предложены конструкции новых селективных датчиков типа ID/OD, которые функционируют на классическом и планарном эффектах Холла.

УДК 004.5:65.011.56

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В РЕШЕНИИ ЗАДАЧ АВТОМАТИЗАЦИИ ТРУБОПРОВОДНОГО ТРАНСПОРТА

Д. Н. Свирский

*ГНУ «Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси»,
г. Минск, Республика Беларусь*

Трубопроводный транспорт играет заметную роль в реальном секторе экономики. В настоящее время его эффективное функционирование во многом определяется развитой системой автоматизированного управления, комплексом технических средств. Магистральный трубопровод как объект автоматизации характеризуется прежде всего отсутствием самовыравнивания и значительным запаздыванием. Эти свойства обуславливают сложность