

УДК 620.179.14

ДВУХПАРАМЕТРОВЫЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ АРМИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

А. П. ГУСЕВ, Я. И. ШУКЕВИЧ, А. Л. ЛУКЬЯНОВ

ГНУ «Институт прикладной физики НАН Беларуси»

Минск, Беларусь

UDC 620.179.14

TWO-PARAMETER METHOD OF CONTROL OF REINFORCEMENT CONCRETE STRUCTURES

A. P. GUSEV, Y. I. SHUKEVICH, A. L. LUKYANOV

Аннотация

В статье выполнен расчет методом конечных элементов внутреннего магнитного поля в прутке арматуры, распределения его напряженности по оси прутка и измерение пространственного распределения напряженности поля вне прутка при намагничивании его неоднородным полем постоянного магнита. Показано, что преобладающей составляющей намагниченности прутка является продольная, которая характеризуется соосными противоположно направленными диполями. Обоснована возможность одновременного определения диаметра прутка и его расстояния до магнита по распределению напряженности магнитного поля рассеяния.

Ключевые слова:

железобетонные конструкции, магнитный метод контроля, компьютерное моделирование, прутки, распределение магнитного поля.

Abstract

The article presents the results of finite element method analysis of the intensity of the internal magnetic field in the armature bar, its distribution along the bar axis, and the measurements of the spatial distribution of the field strength outside the rod when it magnetized by a nonuniform field of a permanent magnet. It is shown that the predominant component of the magnetization of the rod is longitudinal, which is characterized by coaxial oppositely directed dipoles. The possibility of simultaneous determination of the diameter of the rod and its distance to the magnet from the distribution of the magnetic field strength of the scattering is substantiated.

Key words:

reinforced concrete construction, magnetic method of control, computer simulation, rod, distribution of magnetic field.

Предлагаемые на мировом рынке приборы, например [1–7], для магнитного контроля параметров армирования железобетонных строительных конструкций основаны на однопараметровых способах измерения, вследствие чего их применение обусловлено необходимостью использования проектной документации на контролируемые объекты [8]. Физической ос-

новой способ являются операции: воздействие магнитным полем \vec{H}_0 преобразователя на контролируемую область конструкции и регистрация магнитного потока намагниченных прутков арматуры [9, 10], находящихся в этой области. Необходимость использования проектной документации обусловлена тем, что магнитное поле прутков определяется, как минимум, двумя параметрами объекта (толщиной h защитного слоя бетона и диаметром $2r$ прутков) и, что для определения одного из двух параметров необходимо знать (получить из документации) другой.

Для исключения необходимости использования проектной документации в [11, 12] предложен двухпараметровый способ контроля, особенностью которого является определение одновременно h и $2r$ по характеристикам пространственного распределения напряженности поля рассеяния \vec{H} намагниченного прутка. Экспериментальное обоснование этого способа в [12] выполнено с использованием источника однородного \vec{H}_0 , применение которого для контроля конструкций проблематично. В связи с этим, возможность использования предложенного способа требует дополнительного обоснования, применительно для источников неоднородного поля.

В данной работе представлены результаты локального намагничивания прутков арматуры неоднородным полем \vec{H}_0 постоянного магнита, обращенным к поверхности конструкции одним полюсом (рис. 1).

Модель и методика исследования

Метод исследования – компьютерное моделирование и измерение распределения напряженности магнитного поля. Исследуемая модель содержит намагничивающую систему 1, состоящую из двух постоянных магнитов, и ферромагнитный пруток 2. Магниты расположены симметрично относительно начала координат и с небольшим зазором между ними. Вектор намагниченности \vec{M}_0 магнитов направлен параллельно оси OZ . Пруток радиуса r расположен в плоскости YOZ параллельно оси OY на расстоянии $|z| = h$.

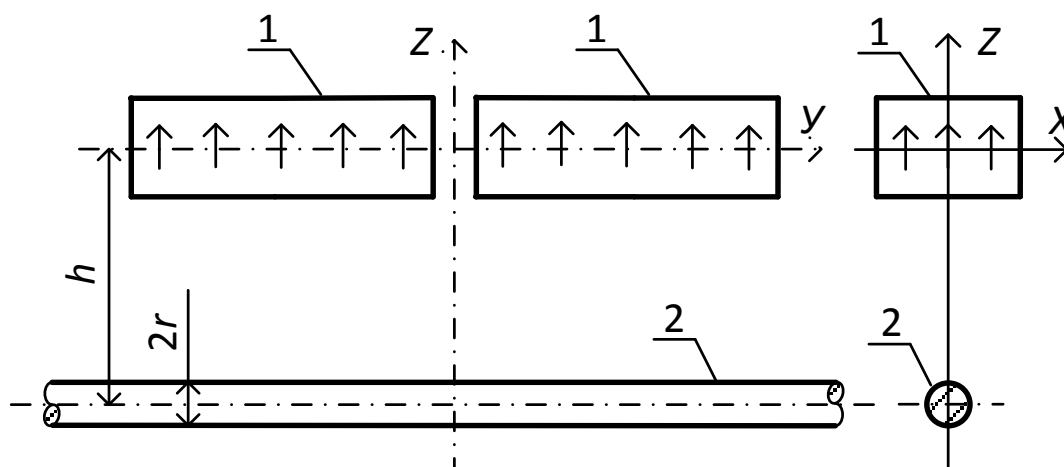


Рис. 1. Исследуемая модель: 1 – магниты; 2 – пруток

Пруток по исследуемой модели намагничивается локально неоднородным полем \vec{H}_0 постоянных магнитов, образуя в окружающем пространстве вторичное магнитное поле \vec{H} , характеристики которого определяются параметрами намагничивающего поля, параметрами прутка и его расположением относительно намагничивающей системы.

Для решения задачи использован метод конечных элементов в программе COMSOL Multiphysics 5.1. Для вычисления распределения магнитного поля под действием намагничивающего поля постоянных магнитов решалась система уравнений Максвелла:

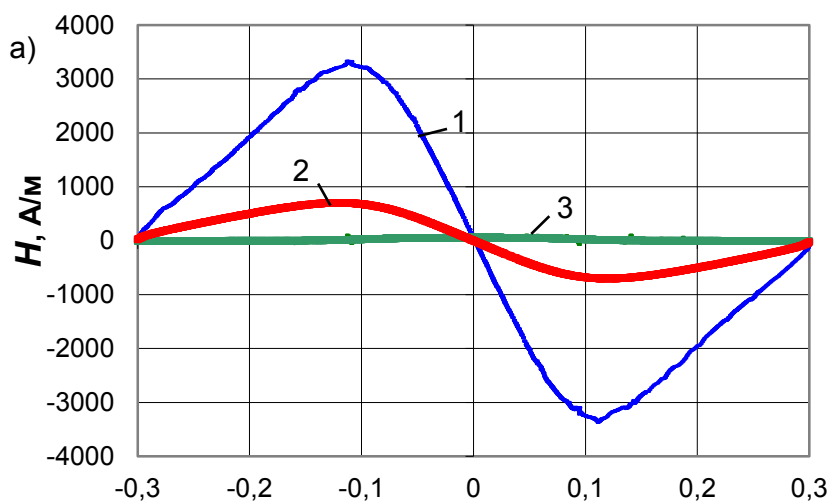
$$\begin{aligned} \vec{H} &= -\nabla V_m \\ \nabla \cdot (\mu_0 \mu \vec{H}) &= 0 \\ \vec{B} &= \mu_0 \mu \vec{H}, \end{aligned} \quad (1)$$

где \vec{H} – напряжённость магнитного поля; V_m – скалярный магнитный потенциал; \vec{B} – индукция магнитного поля; μ – магнитная проницаемость материала прутка.

Принятое в расчетах значение намагниченности \vec{M}_0 постоянных магнитов, входящей в соотношение $\vec{B} = \mu_0(\vec{H} + \vec{M}_0)$, равно 950000 А/м, что является типичным значением для материала *NdFeB*. Расчеты выполнялись в приближении $\mu = const$.

Результаты исследования и их обсуждение

На рис. 2 представлено расчетное распределение соосной $H_{\text{вн } y}$ и радиальной $H_{\text{вн } z}$ составляющих напряженности внутреннего магнитного поля на оси прутка для двух значений параметров h и r : $h = 0,04$ и $0,1$ м; $r = 0,0025$ и $0,01$ м.



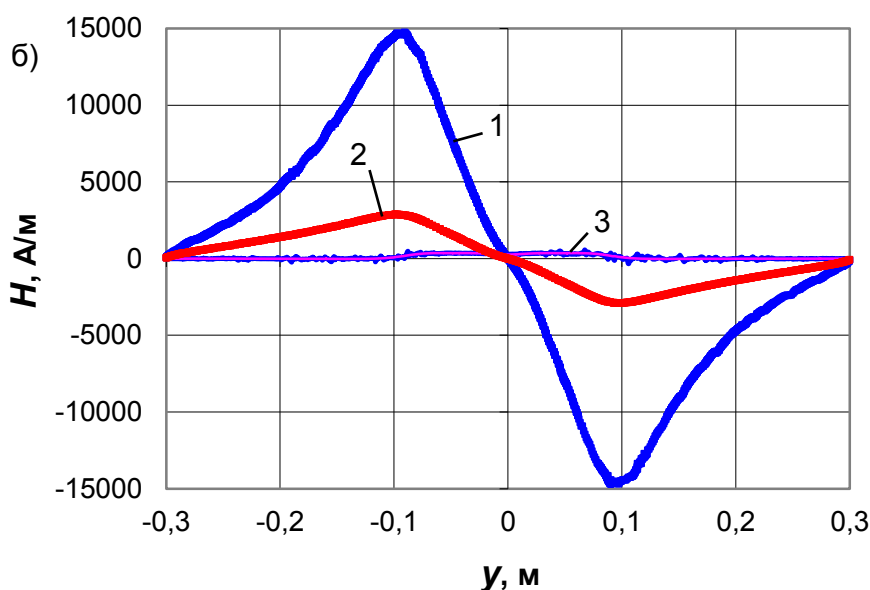


Рис. 2. Распределение составляющих $H_{вн\ y}$ и $H_{вн\ z}$ напряженности внутреннего магнитного поля на оси прутка: а – $h = 0,1$ м: 1 – H_y ($r = 0,0025$ м); 2 – H_y ($r = 0,01$ м); 3 – H_z ($r = 0,0025$ м, $0,01$ м); б – $h = 0,04$ м: 1 – H_y ($r = 0,0025$ м); 2 – H_y ($r = 0,01$ м); 3 – H_z ($r = 0,0025$ м, $0,01$ м)

Из рис. 2 видно, что значение составляющей $H_{вн\ y}$ внутреннего поля на оси прутка существенно больше, чем составляющей $H_{вн\ z}$. Отношение максимальных значений соосной и радиальной составляющих $H_{вн\ y} / H_{вн\ z}$ находится в диапазоне 10–40, в связи с чем основные характеристики поля рассеяния прутка определяются его продольным намагничиванием.

Сравнение величины $H_{вн\ y}$ в прутках различного диаметра показывает, что соосная составляющая напряженности внутреннего поля в тонком прутке примерно в 4,7 раза больше (в условиях нашей модели), чем в толстом, независимо от величины h . Из этого, однако, не следует, что напряженность \vec{H} поля рассеяния тонкого прутка будет больше, чем толстого, так как \vec{H} зависит не только от намагниченности материала, но и от намагниченного объема.

Составляющая $H_{вн\ y}$ по обе стороны от плоскости симметрии XOZ имеет различный знак, то есть намагниченность прутка в этих областях характеризуется двумя, направленными в противоположные стороны, магнитными диполями. Следовательно, магнитное поле рассеяния, формируемое преимущественно этими диполями, будет иметь зеркальную (при используемом в расчетной модели способе намагничивания), относительно плоскости XOZ , симметрию распределения напряженности \vec{H} .

На рис. 3 представлено полученное экспериментально распределение по оси OX составляющей H_x напряженности магнитного поля рассеяния прутков при $h = 40$ мм.

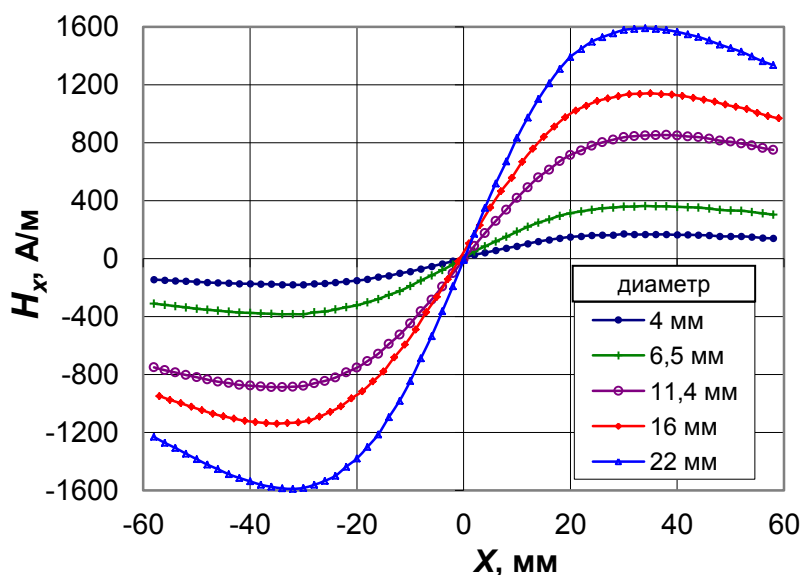


Рис. 3. Распределение составляющей H_x напряженности магнитного поля рассеяния прутков по оси OX

По графикам рис. 3 видно, что в распределении H_x имеются экстремумы, величина которых зависит от диаметра прутков. При этом координаты $x_э$, в которых функции $H_x(x)$ достигают экстремума, одинаковы для всех значений $2r$, то есть распределение напряженности \vec{H} поля рассеяния прутков не зависит от их диаметра и определяется лишь характеристиками \vec{H}_0 и положением прутка в этом поле, в нашем случае – расстоянием h . Это значит, что определение параметров h и $2r$ по пространственному распределению магнитного поля прутков арматуры, намагничиваемых неоднородным полем, возможно применением методики, изложенной в [12], с соответствующей коррекцией аналитических выражений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1. http://www.proceq.com/ru/produkcija/kontrol-betona/lokator-sterzhnei-armatury-v-betone/profometer-pm-600.html](http://www.proceq.com/ru/produkcija/kontrol-betona/lokator-sterzhnei-armatury-v-betone/profometer-pm-600.html)
- [2. http://www.proceq.com/ru/produkcija/kontrol-betona/lokator-sterzhnei-armatury-v-betone/profometer-pm-630-650.html](http://www.proceq.com/ru/produkcija/kontrol-betona/lokator-sterzhnei-armatury-v-betone/profometer-pm-630-650.html)
- [3. http://www.elcometer.com/images/stories/PDFs/InstructionBooks/331_b.pdf](http://www.elcometer.com/images/stories/PDFs/InstructionBooks/331_b.pdf)
- [4. http://www.proceq.com/ru/produkcija/kontrol-betona/lokator-sterzhnei-armatury-v-betone/profoscope.html?pq=5](http://www.proceq.com/ru/produkcija/kontrol-betona/lokator-sterzhnei-armatury-v-betone/profoscope.html?pq=5)
- [5. http://www.stroypribor.com/produkt/catalog/naprarm/](http://www.stroypribor.com/produkt/catalog/naprarm/)
- [6. http://www.interpribor.ru/measuring-the-thickness-of-the-protective-layer-of-concrete-poisk25](http://www.interpribor.ru/measuring-the-thickness-of-the-protective-layer-of-concrete-poisk25)
- [7. http://www.tgindt.com/products/concrete-testing-gauge/time-tc100-tc110-rebar-locator.html](http://www.tgindt.com/products/concrete-testing-gauge/time-tc100-tc110-rebar-locator.html)
8. Улыбин, А. В. Методы контроля параметров армирования железобетонных конструкций / А. В. Улыбин // Инженерно-строительный журнал. – 2012. – № 1(27). – С. 4–13.

9. **ГОСТ 22904-93.** Конструкции железобетонные. Магнитный метод определения толщины защитного слоя бетона и расположения арматуры.

10. **EN 1520:2011.** Prefabricated reinforced components of lightweight aggregate concrete with open structure with structural or non-structural reinforcement.

11. **А. с. 1243479 СССР, МКИ G 01 В 7/06.** Способ измерения защитного слоя бетона и диаметра арматуры строительных конструкций и устройство для его осуществления / Н. Н. Зацепин, А. П. Гусев, С. Г. Пушкин ; заявитель и патентообладатель Ин-т прикладной физики АН БССР. – № 3556153 ; заявл. 23.02.83 ; опубл. 15.12.94, Открытия. Изобретения № 23.

12. **Гусев, А. П.** Железобетонные строительные конструкции. Разработка оперативного метода измерений толщины защитного слоя бетона и диаметра прутков арматуры / А. П. Гусев, С. А. Косовец // Современные строительные технологии и материалы. Импортзамещающие приборы для диагностики и контроля качества в строительстве: сб. науч. тр. II междунар. науч.-практ. семинара по реализации задач государственной программы ориентированных фундаментальных исследований «Строительство и архитектура», Минск, 19–21 сент. 2007 г. : в 3 т. / Белорус. нац. техн. ун-т; под ред. Б. М. Хрусталева [и др.]. – Минск, 2008. – Т. 2. – С. 13–20.

E-mail: gusevap@iaph.bas-net.by