

УДК 621.317.329:621.359.7

UDC 621.317.329:621.359.7

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ УСТРОЙСТВА АКТИВАЦИИ ВОДЫ ПЕРЕМЕННЫМ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ

THEORETICAL ANALYSIS AND EXPERIMENTAL MEASUREMENTS OF THE MAGNETIC SYSTEM OF THE DEVICE FOR ACTIVATION OF WATER WITH ALTERNATING MAGNETIC FIELD

Хайновский Владимир Иванович
к.ф.-м.н., доцент

Khainovskii Vladimir Ivanovich,
Cand. Phys.-Math. Sci., associate professor

Хашченко Андрей Александрович
к.ф.-м.н., доцент

Khachenko Andrey Aleksandrovich,
Cand. Phys.-Math. Sci., associate professor

Никитин Петр Владимирович
к.т.н., доцент

Nikitin Peter Vladimirovich
Cand. Tech. Sci., associate professor

Копылова Оксана Сергеевна
к.ф.-м.н., доцент

Kopylova Oksana Sergeevna
Cand. Phys.-Math. Sci., associate professor

Козырев Антон Евгеньевич
аспирант кафедры физики
ФБГОУ ВПО Ставропольский государственный аграрный университет

Kozyrev Anton Evgenevich
postgraduate student
FGBOU VPO Stavropol state agrarian University

В работе представлен расчет на основе магнитной схемы замещения индукции магнитного поля в «водяных» зазорах устройства активации воды переменным магнитным полем промышленной частоты. Выполнен также расчет индуктивности магнитной катушки устройства с учетом толщин слоев намотки токового провода. Это позволило экспериментально определить с достаточной точностью значение относительной магнитной проницаемости используемой стали корпуса устройства, необходимое для указанного расчета устройства

The work presents the calculation on the basis of magnetic circuits of magnetic field induction in the "water" gaps of the device for activation of water with alternating magnetic field of industrial frequency. We have executed the calculations of magnetic inductance of the coil of the device taking into account the thickness of layers of winding current-carrying wires. This allowed experimentally determining - with reasonable accuracy - the value of the relative permeability of the steel used, housing, necessary for the specified calculation of the device in general

Ключевые слова: ИНДУКЦИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ, МАГНИТНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ, КАТУШКА ИНДУКТИВНОСТИ, УСТРОЙСТВО АКТИВАЦИИ ВОДЫ

Keywords: MAGNETIC FIELD INDUCTION, MAGNETIC RESISTANCE, INDUCTANCE, DEVICE FOR ACTIVATION OF WATER

Известно, что вода, подвергнутая воздействию малых величин магнитного поля от естественных или искусственных источников, изменяет свою структуру на молекулярном уровне, превращаясь в т. н. «омагниченную» воду, молекулы которой в малом процентном отношении (10-15 %) к общему объему воды объединяются в кластерные комплексы. Это состояние воды сохраняется до температур не превышающих 30-35 градусов Цельсия. Экспериментальными исследованиями установлено, что «омагниченная» вода повышает клеточный метаболизм человека, животных,

растительных организмов и микроорганизмов, поскольку обладает высокой проницаемостью через клеточные мембраны [1-7]. Поэтому она находит применение в медицине, пищевой промышленности, в сельском хозяйстве (растениеводстве). Создание устройств для получения «омагниченной» воды является актуальной задачей в каждом конкретном случае ее применения.

В настоящей работе рассматриваются конструктивные особенности устройства омагничения воды переменным магнитным полем, создаваемым током промышленной частоты-50 Гц. Выполнен расчет величин магнитной индукции в водяных зазорах устройства на основе его магнитной схемы замещения, дан расчет индуктивности его магнитной катушки, учитывающий суммарную толщину намотки электрического провода. Это позволило в целом получить требуемые величины магнитной индукции 30-60 мТл в рабочих («водяных») зазорах устройства при наименьшей потребляемой им мощности и температуре перегрева.

Теоретический расчет магнитной системы устройства и измерение индукции магнитного поля, активирующей воду

На рис. 1 представлен схематический разрез конструкции рассматриваемого устройства. Она включает в себя последовательно соединенные магнитные сопротивления, образованные отдельными металлическими конструктивными элементами (сердечником, гильзой с магнитной катушкой, цилиндрическими верхней и нижней крышкой, боковым цилиндрическим кожухом) и двумя рабочими (водяными) зазорами в металлических крышках цилиндрической формы.

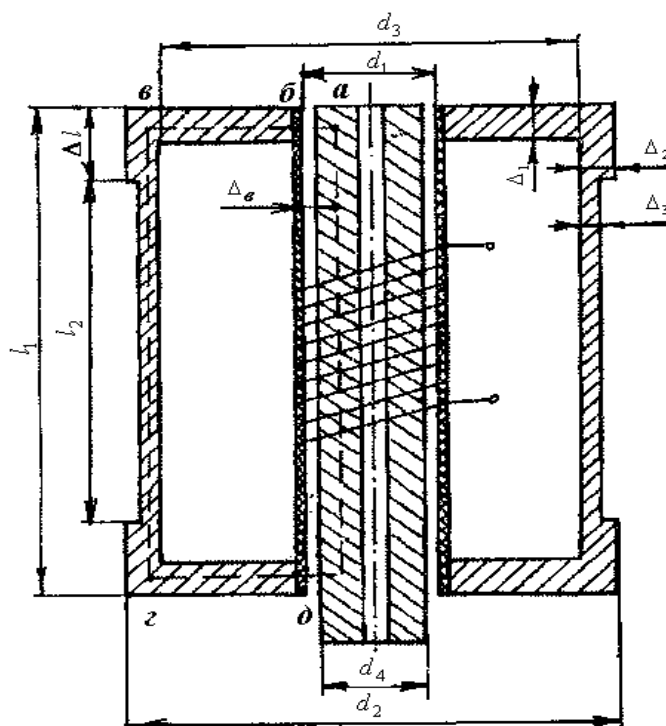


Рис.1. Схематическое изображение конструкции устройства. Пунктиром указано направление магнитных силовых линий магнитного потока в контуре: а-б-в-г-д.

В качестве материала корпуса устройства выбрана обычная промышленная трубчатая сталь. Вода протекает через цилиндрические зазоры верхней и нижней крышек корпуса устройства, в которых она подвергается воздействию магнитного поля. Воду рассматриваем как диамагнетик с относительной магнитной проницаемостью практически равной единице - $\mu_r = 1$. Ширина «водяных» зазоров устройства может ступенчато регулироваться и составлять величины: 1 мм, 2 мм, 3 мм для получения в них необходимых значений индукции магнитного поля. Для расчета устройства предложена его магнитная схема замещения, которая представлена на рис. 2а. Она учитывает наличие магнитных потоков «выпучивания» магнитного поля около каждого водяного зазора (рис. 2б). Поэтому полное магнитное сопротивление магнитному потоку в каждом водяном зазоре представляет

три параллельно соединенных магнитных сопротивления R_1 , R_2 , R_3 , из которых сопротивления R_2 и R_3 определяются соответственно магнитными потоками «выпучивания» Φ_1 и Φ_3 , а R_1 - магнитное сопротивление магнитному потоку Φ_1 , проходящему непосредственно в цилиндрическом водяном зазоре. Таким образом, магнитные потоки «выпучивания» магнитного поля учтены при расчете средней величины магнитной индукции в каждом водяном зазоре.

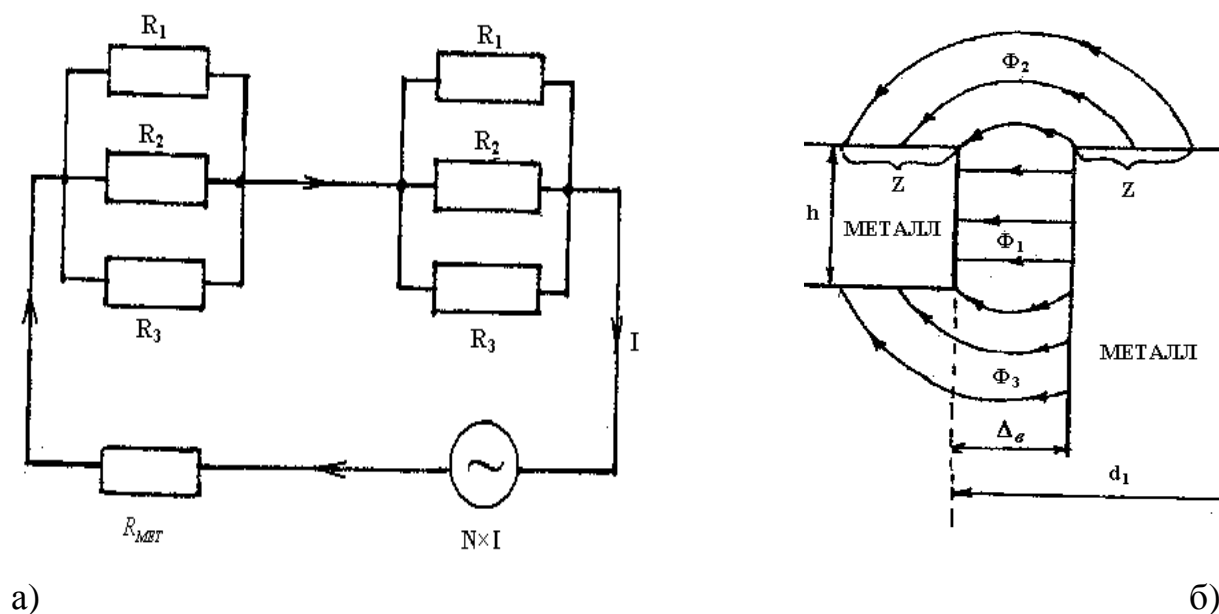


Рис.2 – Модель для расчета магнитной системы устройства: а) эквивалентная магнитная схема замещения устройства; б) схематическое распределение магнитных потоков в водяном зазоре устройства; Φ_2 и Φ_3 – магнитные потоки «выпучивания» магнитного поля из водяного зазора

Используя теорему Стокса в электродинамике «о циркуляции вектора напряженности магнитного поля» для рассматриваемой магнитной схемы замещения устройства, получаем следующее соотношение для величины магнитной индукции в каждом водяном зазоре:

$$B = \frac{\mu_6 \cdot \mu_0 \cdot N \cdot I}{2 \cdot \Delta_6} \cdot K, \quad K = \frac{1}{1 + \beta}, \quad \beta = \frac{R_{мет}}{R_6} \quad (1)$$

В выражении (1) обозначили: I – ток питания катушки, Δ_6 – ширина каждого водяного зазора устройства, N – полное число витков катушки, K и β – коэффициенты, учитывающие относительный вклад магнитных сопротивлений металлического корпуса $R_{мет}$ и обоих водяных зазоров R_6 в общее магнитное сопротивление устройства. Для указанных сопротивлений получены следующие соотношения:

$$R_{мет} = \frac{1}{\mu_{сп} \mu_0} \left[\frac{l_1}{S_1} + \frac{d_1}{S_2} \ln \left(\frac{d_1}{d_3} \right) + 2 \frac{\Delta l}{S_3} + \frac{l_2}{S_4} \right], \quad R_6 = \frac{2 \cdot \Delta_6}{\mu_6 \cdot \mu_0 \cdot S_1 (1 + Z/\Delta_1)}, \quad (2)$$

где $S_1 = 0.25\pi(d_2^2 - d_4^2)$, $S_2 = \pi d_1 \Delta_1$, $S_3 = \pi d_3 \Delta_2$, $S_4 = \pi d_3 \Delta_3$, $l_1 = l_2 + 2l$; также обозначили: Δ_1 , Δ_6 , S_i – высота, ширина и площадь поперечного сечения каждого «водяного» зазора; l_i , d_i , S_i – длины, диаметры и площади поперечных сечений различных частей установки (рис.1); z – длина расстояния бокового выпучивания магнитного потока (рис. 2б). Подставим в соотношения (2) следующие геометрические параметры установки: $d_1 = d_2 + 2\Delta_6$, $d_2 = 27\text{мм}$, $d_3 = 120\text{мм}$, $d_4 = 10\text{мм}$, $l_2 = 120\text{мм}$, $\Delta_l = 40\text{мм}$, $\Delta_1 = \Delta_2 = 4\text{мм}$, $\Delta_3 = 2\text{мм}$. Тогда для коэффициента β получаем выражение:

$$\beta = \frac{359 \cdot (1 + Z/\Delta_1) \cdot S_2}{\mu \cdot \Delta_6} \quad (3)$$

Необходимо отметить, что для приемлемого совпадения теории с экспериментом величина параметра выпучивания магнитного поля $-z$ вне каждого суммарного зазора магнитной обработки воды, образованного суммарной толщиной гильзы магнитной катушки в 1.5 мм и шириной водяного зазора $-\Delta_6$, увеличивается с возрастанием его величины (рис.2а). Положим в выражении (3): для $\Delta_6 = 1.0\text{мм}$ $z = 0.7(1.5 + \Delta_6)\text{мм}$, для $\Delta_6 = 2.0\text{мм}$ $z = 1.5(\Delta_6 + 1.5)\text{мм}$, для $\Delta_6 = 3.0\text{мм}$ $z = 2.3(\Delta_6 + 1.5)\text{мм}$, а значение относительной магнитной проницаемости корпуса стали устройства равным $\mu = 48$ (которое получено экспериментально на переменном токе

питания магнитной катушки с частотой 50 Гц). Экспериментальная проверка выражения (1) осуществлена непосредственным измерением величины магнитной индукции в зависимости от тока питания магнитной катушки, содержащей $N=6200$ витков медного провода диаметром-0.62 мм, при трех величинах ширины водяного зазора (рис.3).

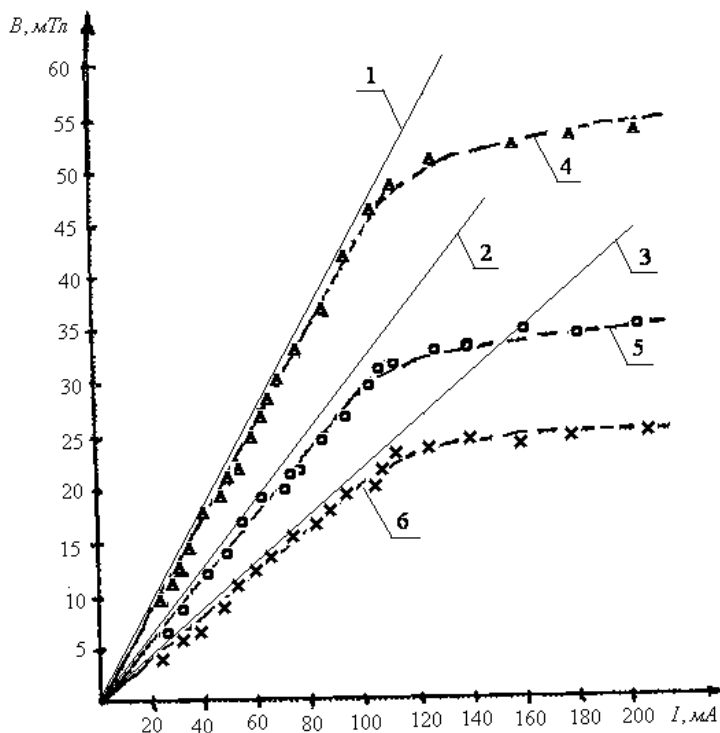


Рис.3. Зависимости теоретических (сплошные линии) и экспериментальных (пунктирные линии) значений магнитной индукции от тока питания магнитной катушки для нескольких величин ширины водяных зазоров устройства: 1- 2,5мм; 2- 3,5мм; 3- 4,5мм (с учетом толщины гильзы магнитной катушки-1.5мм).

Измерения выполнены путем последовательного размещения магнитного датчика (щупа) тесламетра тип- 43205 в нескольких точках каждого цилиндрического водяного зазора. При этом величина тока питания катушки увеличивалась от 0 до 220 мА (рис 3). Можно предположить, что при

больших токах питания магнитной катушки ($I \geq 100 \text{ мА}$) проявляется существенное увеличение емкостного тока собственной шунтирующей паразитной емкости магнитной катушки. Как следствие, уменьшается ток через индуктивность магнитной катушки и увеличение магнитной индукции в водяном зазоре устройства с ростом тока питания замедляется (рис. 3). Данный нежелательный эффект можно в значительной степени устранить, если сердечник магнитной катушки устройства выполнить из магнетика, имеющего на переменном токе большой коэффициент относительной магнитной проницаемости μ .

Расчет индуктивности магнитной катушки устройства

Для численного расчета магнитной схемы замещения рассматриваемого устройства необходимо экспериментально определить значение относительной магнитной проницаемости μ стали его корпуса на переменном токе питания магнитной катушки. Это предполагает, в свою очередь, экспериментальное измерение величины индуктивности магнитной катушки. Традиционно, расчетное значение индуктивности получают основываясь на величине среднего диаметра - D_{cp} катушки электрического провода магнитной катушки, определяемого соотношением:

$$D_{cp} = 0.5(D_{мин} + D_{макс}) = D_O + n_p d_O \quad (6)$$

Здесь обозначили: d_O - диаметр электрического провода, D_O - диаметр гильзы катушки, n_p - полное число рядов витков электрического провода катушки. Если полное число витков провода катушки - N , ширина его катушки по ее длине - l , μ_O - абсолютная магнитная проницаемость вакуума, то среднюю величину индуктивности магнитной катушки (без сердечника) можно рассчитать по формуле:

$$L_{cp} = \left(\frac{\mu_O \cdot N^2}{l} \right) \cdot n_p^2 \cdot \left(\frac{\pi \cdot D_{cp}^2}{4} \right), \quad (7)$$

где $N_0 = N / n_p$ - число витков провода в одном ряду катушки. Значение величины индуктивности - L_{cp} , полученное по формуле (7), является приближенным. Поэтому возникает необходимость точного расчета индуктивности катушки с учетом толщины и числа рядов намотки провода. Для этого примем во внимание, что полную индуктивность магнитной катушки без сердечника $-L_{кат}$ можно представить как сумму последовательно соединенных индуктивностей - L_n , созданных каждым отдельным слоем провода, содержащим - N_0 витков:

$$L_{кат} = \sum_{n=1}^{n_p} L_n, \text{ где } L_n = \frac{\Phi_n}{I_L}, \Phi_n = \sum_{k=1}^n \Phi_k, (1 \leq k \leq n) \quad (8)$$

Согласно выражению (3) при заданном токе питания катушки - I_L , величина индуктивности L_n каждого отдельного слоя витков провода с номером n определяется суммарным магнитным потоком $-\Phi_n$, создаваемым магнитным потоком собственно витка провода (тока) с номером - n , всеми $(n-1)$ слоями витков провода магнитной катушки, расположенными ниже рассматриваемого n -го слоя, а также $(n_p - n)$ слоями витков провода, расположенными выше слоя с номером n , и пронизывающей площадь - S_n поперечного сечения n -го слоя провода катушки ($1 \leq n \leq n_p$). Например, магнитный поток $-\Phi_1$, пронизывающий первый ряд витков ($n=1$) магнитной катушки через его площадь поперечного сечения S_1 , выражается соотношениями:

$$\Phi_1 = L_1 I_L, L_1 = L_0 [1 + (n_p - 1)(1 + \delta)^2],$$

$$L_0 = \left(\frac{\mu_0 \cdot N_0^2}{l} \right) \left(\frac{\pi \cdot D_0^2}{l} \right), \delta = \frac{2 \cdot d_0}{D_0} \quad (9)$$

Магнитный поток и индуктивность, соответствующие второму слою витков провода катушки равны:

$$\Phi_2 = L_2 \cdot I_L, L_2 = L_0 \cdot [1 + (n_p - 2) \cdot (1 + 2\delta)^2 + (1 + \delta)^2] \quad (10)$$

Рассчитав аналогичные соотношения для всех магнитных потоков - Φ_k

($1 \leq k \leq n$) и проведя их суммирование согласно выражению (8), получаем соотношение для индуктивности n -го слоя витков магнитной катушки:

$$L_n = L_0 \cdot \left[n + (n_p - n) \cdot (1 + n\delta)^2 + n \cdot (n - 1) \left[\delta + \frac{(2n-1)}{6} \cdot \delta^2 \right] \right] \quad (11)$$

Затем складывая согласно выражению (8) индуктивности всех n_p рядов витков провода находим окончательную величину полной индуктивности магнитной катушки без сердечника:

$$L_{кат} = (L_0 \cdot n_p^2) \cdot C, \text{ где } C = 1 + \frac{(n_p^2 - 1)}{6 \cdot n_p} \cdot (4\delta + n_p \cdot \delta^2) \quad (12)$$

По физическому смыслу величина $(L_0 \cdot n_p^2)$ в выражении (12) есть индуктивность магнитной катушки, когда пренебрегаем толщинами (диаметрами) витков электрического провода и, как следствие, соответствующим увеличением ее площади поперечного сечения. Это возрастание площади поперечного сечения и соответствующее увеличение индуктивности магнитной катушки учитывает геометрический фактор (коэффициент) C . Оценка индуктивности магнитной катушки по величине ее среднего диаметра, согласно выражениям (6-7) является весьма приближенной. Степень этого приближения можно оценить на основании выражений (7) и (12), вычислив отношение: $\varepsilon = |L_{кат} - L_{cp}| / L_{кат} = [(1 - 0.5n_p\delta^2) / C - 1]$ и представив его графически на рис.4 как функцию полного числа рядов витков n_p провода магнитной катушки.

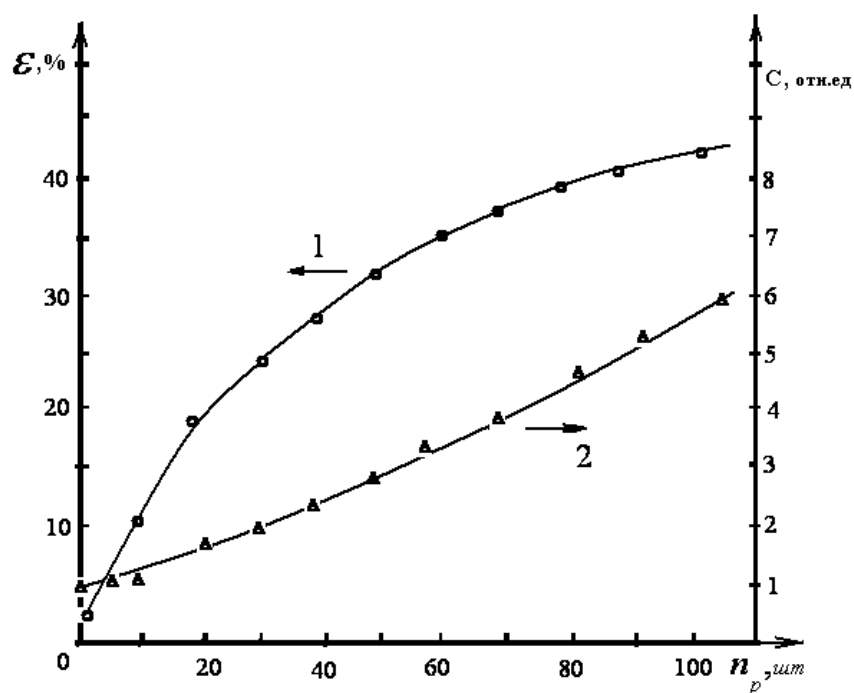


Рис.4. Зависимости: 1- величины ε и 2- геометрического фактора C от полного числа рядов витков n_p электрического провода магнитной катушки.

Из указанного графика следует, что для большого числа рядов витков провода ($n_p \geq 100$) оценка индуктивности катушки по ее среднему диаметру меньше точного расчетного значения более, чем на 40%. Для магнитной катушки исследуемого устройства, когда $n_p=37$, это отличие составляет 28%, что тоже велико.

Соотношение (12) позволяет также рассчитать индуктивность магнитной катушки при наличии в ней сердечника из магнитного материала (магнетика) диаметром - $D_{сер}$ и имеющего относительную магнитную проницаемость - μ для переменного тока питания катушки. В этом случае суммарный магнитный поток, пронизывающий площадь поперечного сечения катушки равен:

$$\Phi = \left[L_{кат} - (L_0 \cdot n_p^2) \cdot \left(\frac{D_{сер}}{D_0} \right)^2 \right] \cdot I_L + \mu \cdot (L_0 \cdot n_p^2) \cdot \left(\frac{D_{сер}}{D_0} \right)^2 \cdot I_L \quad (13)$$

В соотношении (13) первое слагаемое есть магнитный поток, распространяющийся внутри катушки, но вне магнитного сердечника. Второе слагаемое отражает магнитный поток внутри магнитного сердечника катушки. Преобразуя (13) получаем для индуктивности магнитной катушки с магнитным сердечником следующее соотношение:

$$L_{кат}^{сер} = (\mu - 1) \cdot (L_0 \cdot n_p^2) \cdot \left(\frac{D_{сер}}{D_0} \right)^2 \cdot C \quad (14)$$

Здесь величина $\frac{C}{(\mu-1)} \cdot \left(\frac{D_0}{D_{сер}} \right)^2$ учитывает относительный вклад магнитного потока катушки вне ее сердечника в полный магнитный поток, пронизывающий ее. Как правило, для достаточно больших значений величины μ этот вклад существенно меньше единицы, т. е. магнитный поток концентрируется в основном внутри магнитного сердечника. Используя соотношения (12) и (14) получим отношение величин индуктивностей магнитной катушки с сердечником и без сердечника в виде:

$$\gamma = \frac{L_{кат}^{сер}}{L_{кат}} = 1 + \frac{(\mu-1)}{C} \cdot \left(\frac{D_{сер}}{D_0} \right)^2 \quad (15)$$

Из выражения (16) получаем искомую величину относительной магнитной проницаемости материала сердечника, измеренную на переменном токе питания магнитной катушки, в виде соотношения:

$$\mu = 1 + (\gamma - 1) \cdot C \cdot \left(\frac{D_0}{D_{сер}} \right)^2 \quad (16)$$

На рис.5 представлены теоретические зависимости величины μ от значений γ , рассчитанные по соотношению (16).

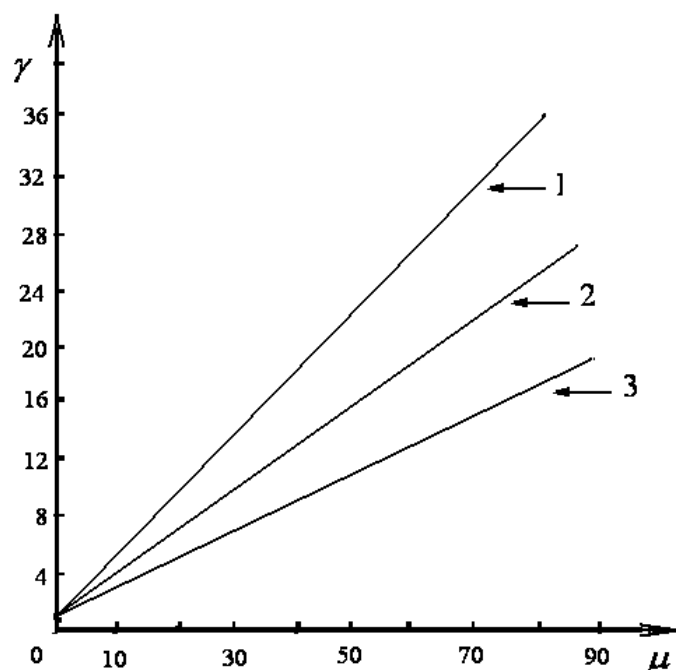


Рис.5. Теоретические зависимости отношения индуктивностей магнитной катушки γ от величины относительной магнитной проницаемости μ сердечника (т. е. стали корпуса устройства) при различном числе рядов витков провода: 1- $n_p=20$, 2- $n_p=37$, 3- $n_p=60$.

Экспериментальное определение относительной магнитной проницаемости сердечника магнитной катушки на переменном токе

Сердечником магнитной катушки является центральная цилиндрическая часть корпуса установки (рис.1). Полное реактивное сопротивление магнитной катушки для переменного тока питания можно представить, в упрощенной модели, как последовательно соединенные индуктивность катушки — $L_{кат}$ и омическое сопротивление — $R_{кат}$ витков ее провода, которые «зашунтированы» параллельно включенной им паразитной электрической емкостью витков катушки — C . Экспериментальное исследование вольтамперных характеристик магнитной катушки на переменном токе ча-

стотой $\nu=50$ Гц позволяет предположить, что на малых токах питания катушки ($I_L \leq 20$ мкА) паразитная емкость достаточно мала и шунтирующим действием ее реактивного сопротивления можно пренебречь. Поэтому полное сопротивление катушки для переменного тока можно записать в виде: $Z = R_{кат} + j\omega L_{кат}$, где $\omega=2\pi\nu$. Обозначим через $Z_{кат} = \omega L_{кат} = \sqrt{Z_1^2 - R_{кат}^2}$ и $Z_{кат}^{сер} = \omega L_{кат}^{сер} = \sqrt{Z_2^2 - R_{кат}^2}$ - модули реактивных сопротивлений катушки соответственно без сердечника и с магнитным сердечником. Также введем обозначение $\gamma = \frac{Z_{кат}^{сер}}{Z_{кат}} = \frac{L_{кат}^{сер}}{L_{кат}}$. Геометрические параметры магнитной катушки следующие: $N_0 = 128$, $l = 104$ мм, $D_0 = 32$ мм, $D_{сер} = 27$ мм, $n_p = 37$, $d_0 = 0.6$ мм. Тогда согласно выражению (7) расчет дает, что $C=2.3$. По измерениям вольтамперых характеристик магнитной катушки на малых токах установлено, что $Z_1 = 182$ Ом $\pm 2\%$, $Z_2 = 2400$ Ом $\pm 5\%$, $R_{кат} = 97$ Ом $\pm 2\%$. Тогда расчеты дают, что $L_{кат} = 0.49$ Гн, а $L_{кат}^{сер} = 7.64$ Гн и $\gamma = 15.59$. Подставляя полученные значения величин γ и C , а также значения геометрических параметров в соотношение (12) окончательно получаем искомую величину относительной магнитной проницаемости стали корпуса устройства (т.е. сердечника магнитной катушки) равную $\mu = 48 \pm 6\%$. Отметим, что погрешность 6% в определении указанной величины μ в основном определяется погрешностями измерений реактивных и омического сопротивлений магнитной катушки.

Выводы

Выполнен расчет магнитных параметров конкретного устройства активации воды переменным магнитным полем, созданным током промышленной частоты- 50 Гц. Точность расчета по предложенной модели определяется в основном погрешностью в расчете магнитных потоков выпучивания магнитного поля ($\sim 13\%$) и экспериментальной погрешностью в определении величины μ для стали корпуса устройства ($\sim 6\%$) и составляет $\sim 15\%$. Ее можно уменьшить, если применить для расчета магнитных потоков

выпучивания в зазорах устройства более точный численный расчет на основе метода конечных элементов по известным специальным программам [8]. Полученные результаты наряду с практическим применением для рассматриваемого устройства полезны в методическом плане для расчета других подобных магнитных систем.

Литература

1. Уоттерсон Дж. Г. Роль воды в функции клетки // Биофизика.-1991.- Т.38. вып.1.- С. 5-28.
2. Классен В.И. Омагничение водных систем/ В.И.Классен.- М: Химия.1982.-296 с.
3. Сокольский Ю.М. Омагниченная вода: правда и вымысел/Ю.М. Сокольский.- Л.: Химия.- 1990.- 143с.
4. Пономарев О.А. Свойства жидкой воды в электрических и магнитных полях/ О.А.Пономарев, Е.Е.Фесенко// Биофизика.-2000.- Т.45.-вып. 3.- С. 389- 398.
5. Фесенко Е. Е. Структурообразование в воде при действии слабых магнитных полей и ксенона. Электронно- микроскопический анализ/Фесенко Е.Е., Попов В.И., Новиков В.В., Хуцян С.С.//Биофизика.-2002.- Т.47.- вып.3.-С.389-394.
6. Карташева И.А. Влияние свойств активированной магнитным полем воды на посевные качества и микрофлору семян ячменя/И.А. Карташева, О.Ю. Лобанкова, М.Г. Федорищенко // Проблемы экологической безопасности Северо-Кавказского региона: материалы регион. конф. – Ставрополь , 2000.- С. 149-150.
7. Ковалева Г.Е. Использование воды, активированной электромагнитным полем в технологическом процессе производства пшеничного хлеба/Г.Е.Ковалева, Г.П. Стародубцева, В.И. Крахоткин, И.А. Боголюбова// ООО « Курсив». Ставрополь.-2012. -125 с.
8. Никитенко Г.В. Математическое моделирование физических процессов в аппаратах магнитной обработки воды (учебное пособие) / Г.В. Никитенко // Изд-во « Агрис». Ставрополь.-2003.- с.124.

Literatura

1. Uotterson Dzh. G. Rol' vody v funkcii kletki // Biofizika.-1991.- Т.38. vyp.1.- S. 5-28.
2. Klassen V.I. Omagnichenie vodnyh sistem/ V.I.Klassen.- М: Himija.1982.-296 s.
3. Sokol'skij Ju.M. Omagnichennaja voda: pravda i vymysel/Ju.M. Sokol'skij.- L.: Himija.- 1990.- 143s.
4. Ponomarev O.A. Svoystva zhidkoj vody v jelektricheskij i magnitnyh poljah/ O.A.Ponomarev, E.E.Fesenko// Biofizika.-2000.- Т.45.-vyp. 3.- S. 389- 398.
5. Fesenko E.E. Strukturnoobrazovanie v vode pri dejstvii slabych magnitnyh polej i ksenona. Jelektronno- mikroskopicheskij analiz/Fesenko E.E., Popov V.I., Novikov V.V., Hucjan S.S.//Biofizika.-2002.- Т.47.- vyp.3.-S.389-394.
6. Kartasheva I.A. Vlijanie svojstv aktivirovannoj magnitnym polem vody na posevnye kachestva i mikrofloru semjan jachmenja/I.A. Kartasheva, O.Ju. Lobankova, M.G. Fedorishenko // Problemy jekologicheskoy bezopasnosti Severo-Kavkazskogo regiona: materialy region. konf. – Stavropol' , 2000.- S. 149-150.

7. Kovaleva G.E. Ispol'zovanie vody, aktivirovannoj jelektromagnitnym polem v tehnologicheskom processe proizvodstva pshenichnogo hleba/G.E.Kovaleva, G.P. Starodubceva, V.I. Krahotkin, I.A. Bogoljubova// ООО « Kursiv». Stavropol'.-2012. -125 s.

8. Nikitenko G.V. Matematicheskoe modelirovanie fizicheskikh processov v apparatah magnitnoj obrabotki vody (uchebnoe posobie) / G.V. Nikitenko // Izd-vo « Agrus». Stavropol'.-2003.- s.124.