



ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ ПОСТОЯННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Р.Т. Хазиева, М.Д. Иванов

Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, Россия
khazievart@mail.ru

Резюме: ЦЕЛЬ. Рассмотреть области применения электромагнитной обработки водных систем. Провести анализ современной литературы, посвященной применению постоянных магнитных полей для обезвоживания водонефтяных эмульсий. Разработать конструкцию устройства для генерации постоянных магнитных полей и выбрать его параметры. Выбрать электрическую схему питания устройства. Определить, как изменяется энергоэффективность устройства с увеличением его габаритных размеров. МЕТОДЫ. При решении поставленной задачи применялась система трехмерного моделирования КОМПАС-3D, расчет индукции магнитного поля проведен при помощи системы программирования Pascal ABC, выбор оптимальных параметров устройства осуществлен с помощью программы Microsoft Excel. РЕЗУЛЬТАТЫ. В статье описана актуальность темы, рассмотрено распределение магнитного поля в разрабатываемом устройстве, определены оптимальные параметры конструкции данного устройства и выбрана электрическая схема питания. ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Расчеты показали, что коэффициент, учитывающий неоднородное распределение магнитного поля в устройстве, равен 0,883. При помощи системы трехмерного моделирования КОМПАС-3D построена модель разрабатываемого устройства с учетом полученных соотношений. При использовании схемы с неуправляемым выпрямителем и автотрансформатором мощность, потребляемая устройством, ниже в 2,67 раза, чем мощность, потребляемая устройством, при использовании схемы с управляемым выпрямителем и трансформатором. Энергоэффективность значительно растет с увеличением объемов устройства.

Ключевые слова: постоянное магнитное поле, обезвоживание водонефтяных эмульсий, оптимизация технологического процесса, автотрансформатор, неуправляемый выпрямитель, повышенная энергетическая эффективность.

Для цитирования: Хазиева Р.Т., Иванов М.Д. Выбор оптимальных параметров устройства для генерации постоянного магнитного поля // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2020. Т. 22. № 6. С. 176-187. doi:10.30724/1998-9903-2020-22-6-176-187.

SELECTION OF OPTIMUM DEVICE PARAMETERS FOR PERMANENT MAGNETIC FIELD GENERATION

RT. Khazieva, AN. Yashin, MD. Ivanov

Ufa State Petroleum Technical University, Ufa, Russia
khazievart@mail.ru

Abstract: THE PURPOSE. To consider the fields of application of electromagnetic treatment of water systems. To analyze the modern literature on the use of constant magnetic fields for dehydration of oil-water emulsions. To develop the design of a device for generating constant magnetic fields and select its parameters. To select the electrical circuit for powering the device. To determine how the energy efficiency of the device changes with an increase in its overall dimensions. METHODS. When solving the problem, the KOMPAS-3D three-dimensional modeling

system was used, the magnetic field induction was calculated using the PascalABC programming system, the optimal device parameters were selected using the Microsoft Excel program. **RESULTS.** The article describes the relevance of the topic, considers the distribution of the magnetic field in the device under development, determines the optimal design parameters for this device and selects the electrical power circuit. **CONCLUSION.** Calculations have shown that the coefficient taking into account the inhomogeneous distribution of the magnetic field in the device is 0.883. Using the KOMPAS-3D three-dimensional modeling system, a model of the device under development was built taking into account the obtained relationships. When using a circuit with an uncontrolled rectifier and autotransformer, the power consumed by the device is 2.67 times lower than the power consumed by the device when using a circuit with a controlled rectifier and a transformer. Energy efficiency increases significantly with the increase in device performance.

Key words: constant magnetic field, dehydration of oil-water emulsions, optimization of the technological process, autotransformer, uncontrolled rectifier, increased energy efficiency.

For citation: Khazieva RT, Yashin AN, Ivanov MD. Selection of optimum device parameters for permanent magnetic field generation. *Power engineering: research, equipment, technology.* 2020;22(6):176-187. doi:10.30724/1998-9903-2020-22-6-176-187.

Введение и литературный обзор

Электромагнитная обработка водных систем может быть применена для достижения результатов в различных отраслях промышленности: для производства бетона, уменьшения образования накипи, флотационного обогащения полезных ископаемых, сгущения и фильтрации суспензий, а также во многих других целях¹, [1, 2]. В нефтегазовой отрасли данный метод может быть использован для обезвоживания и обессоливания водонефтяных эмульсий. В основе разрушения водонефтяных эмульсий в магнитном поле лежит его воздействие на бронирующие оболочки глобул нефти в воде, заключающееся в разрыхлении бронирующих оболочек на границе нефть – вода, которое происходит из-за перемещения соединений железа в сторону источников магнитного поля [3]. В эмульсиях обратного типа, «вода в нефти», уже капли воды будут растягиваться вдоль силовых линий, испытывая давление окружающей её нефти, при этом толщина бронирующего слоя будет уменьшаться, что способствует процессу обезвоживания [4]. Применение постоянных магнитных полей для интенсификации процесса подготовки нефти упоминается также в [5, 6].

В данной статье рассматриваются параметры устройства для обработки водонефтяной эмульсии в постоянном магнитном поле. Это первый этап процесса обезвоживания. Затем, согласно описанию технологического процесса, производится обработка в импульсном электромагнитном поле, способствующая ускорению процесса коалесценции капель воды, и, как следствие, повышению эффективности процесса обезвоживания [7].

Основной задачей являлось определение оптимальных параметров разрабатываемого устройства, которые обеспечили бы наивысшую энергетическую эффективность процесса, а также выбор схемы управления данным процессом.

Работы, посвященные применению постоянных магнитных полей для обработки водонефтяных эмульсий, начали публиковаться относительно недавно: 20.07.2000 года Велес П.Р., Пивоварова Н.А., Щугорев В.Д., Бердников В.М., Шеламкова О.С., Кульнева И.Н. и Пивоваров А.Т. предложили обрабатывать водный раствор деэмульгатора в омагничивающем устройстве проточного типа, что увеличивало активность деэмульгатора, а при смешении такого раствора деэмульгатора с водонефтяной эмульсией ускоряется коалесценция, и, как следствие, дегидрирование эмульсии [8]. 27.05.2001 года Велес П.Р. и Пивоварова Н.А. разработали магнитный туннель, в котором цилиндрическая конструкция корпуса является одновременно составляющей магнитопровода и местом крепления диаметрально противоположно расположенных внутри него соленоидов, представляющих собой сердечники с катушками, между полюсами которых по диамагнитной трубе протекает обрабатываемая жидкость, обеспечивает высокий коэффициент использования магнитной энергии источников, повышение надежности магнетизатора [9].

В работе [10] подробно изучены существующие методы обезвоживания водонефтяных эмульсий с помощью электродегидраторов и электрокоалесцеров и описаны

¹Класен В.И. Омагничивание водных систем. М.: Химия, 1978. 240 с., ил.

их недостатки. В статье [11] показано, что при комбинированном воздействии магнитного поля и деэмульгаторов магнитное поле усиливает действие реагента, и при максимальном значении магнитной индукции приводит к полному обезвоживанию нефти, что доказывает эффективность комбинированного воздействия различных методов обработки водонефтяных эмульсий.

Влияние геометрии устройства на эффективность воздействия электромагнитных полей изучалось также в [12]. Для создания магнитной индукции заданной величины необходимо подавать на витки катушки ток заданной величины. Формирователь тока изучен в работе [13]. Питание разрабатываемого устройства должно осуществляться от источника вторичного электропитания через индуктивно-емкостный преобразователь напряжения, свойства которых изучены в работах [14, 15].

Технической задачей устройства, предлагаемого авторами статьи, является повышение эффективности работы устройства для успешного осуществления глубокого обезвоживания водонефтяной эмульсии.

Поставленная задача достигается тем, что в данном способе обезвоживания водонефтяной эмульсии реализуется комплексное применение постоянного магнитного поля и высокочастотных электромагнитных полей.

Предварительная обработка эмульсии производится в постоянном магнитном поле, в результате чего капли воды в нефти растягиваются вдоль магнитных линий, поскольку компоненты нефти имеют намного более сильную отрицательную магнитную восприимчивость, чем вода. Изменение геометрической формы глобул воды приводит к увеличению площади их поверхности, а следовательно, уменьшению толщины бронирующего слоя, что в дальнейшем облегчает проведение деэмульсации.

Материалы и методы

Объектом исследования является математическая модель распределения магнитного поля в предлагаемом устройстве. Его моделирование было проведено с помощью языка программирования *PascalABC*. На основе результатов моделирования был вычислен коэффициент, учитывающий неоднородность распределения магнитного поля внутри устройства. Затем на основе законов Био-Савара-Лапласа, Ома и Джоуля-Ленца была получена аналитическая зависимость мощности, потребляемой устройством, от его конструктивных параметров. Эта зависимость позволила получить оптимальное соотношение между высотой и радиусом рабочего цилиндра, а также выявить оптимальный диаметр витков катушки, намотанной на цилиндр. Затем были изучены варианты электрической схемы питания устройства и выбрана оптимальная с помощью аналитического анализа и расчетов, проведенных в программе *MicrosoftExcel*. Аналогичным методом была получена зависимость мощности, потребляемой устройством, от его габаритных размеров.

Результаты

Устройство для обработки нефти в постоянном магнитном поле изображено на рис. 1. Устройство представляет собой вертикальный цилиндрический аппарат, состоящий из обечайки, верхнего и нижнего днища, изготовленных из магнитомягкого железа. На обечайку намотаны витки, при протекании тока по которым внутри аппарата возникает постоянное магнитное поле.

Эмульсия подается в верхнюю часть цилиндра. Внутренние стенки снабжены спиралью из диэлектрического материала, который не влияет на распределение магнитного поля внутри устройства, однако обеспечивает движение эмульсии практически перпендикулярно силовым линиям магнитного поля под действием силы тяжести. С помощью угла наклона винтовой линии можно регулировать скорость прохождения эмульсией данного устройства и определять оптимальное время нахождения в постоянном магнитном поле. При этом при пересечении капель воды линий магнитной индукции, на механические примеси, расположенные в этих каплях, действует сила, которая приводит к «разрыхлению» бронирующих оболочек глобул нефти в случае эмульсии типа «нефть в воде», и растяжение капель воды в случае эмульсии типа «вода в нефти».



Рис. 1 устройство для обработки нефти в постоянном магнитном поле

Согласно данным диссертации Вольцова А.А. «Интенсификация процесса расслоения водонефтяных эмульсий путем их магнитно-вибрационной обработки» [2], оптимальным среднеквадратичным значением индукции при обработке в постоянном магнитном поле является 0,03-0,05 Тл. Выберем значение $B=0,05$ Тл для дальнейших расчетов. Тогда напряженность магнитного поля составит $H = 40$ кА/м.

Определим, как соотносится среднеквадратичное значение напряженности магнитного поля и ток в витках обмотки устройства:

На основе закона Био-Савара-Лапласа (1) проведем серию расчетов для построения графиков зависимости распределения магнитной индукции в такой системе от координаты точки:

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{Idl \sin \alpha}{r^2}. \quad (1)$$

Примем ток в катушке, равный 1 А. В результате компьютерного моделирования, выполненного с использованием языка программирования *PascalABC*, получим следующие зависимости:

При движении точки вдоль оси z' (рис. 2), параллельной продольной оси устройства, поперечная составляющая магнитной индукции (B_x) изменялась согласно рис. 3:

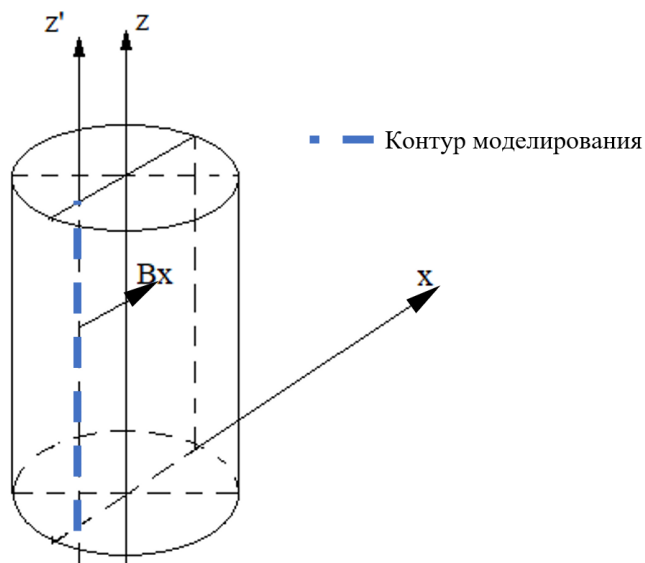


Рис. 2. контур, по которому происходил расчет поперечной составляющей магнитной индукции

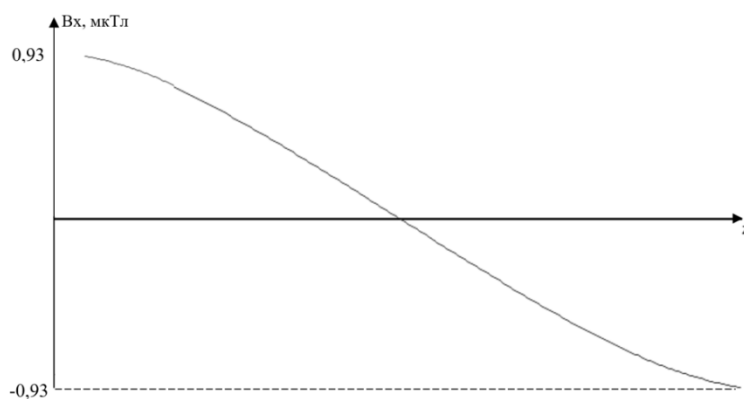


Рис. 3. Зависимость поперечной составляющей магнитной индукции от координаты точки по продольной оси катушки

Из рис. 3 видно, что поперечная составляющая магнитной индукции меняет направление действия при прохождении геометрического центра устройства. Однако её значение по сравнению с продольной составляющей весьма мало, и эту составляющую в дальнейших расчетах можно не учитывать.

Затем было проведено исследование зависимости продольной составляющей магнитной индукции (B_z) от координаты точки по радиальной оси катушки (Ox). При движении точки вдоль оси x (рис. 4), магнитная индукция менялась в соответствии с графиком на рис. 5:

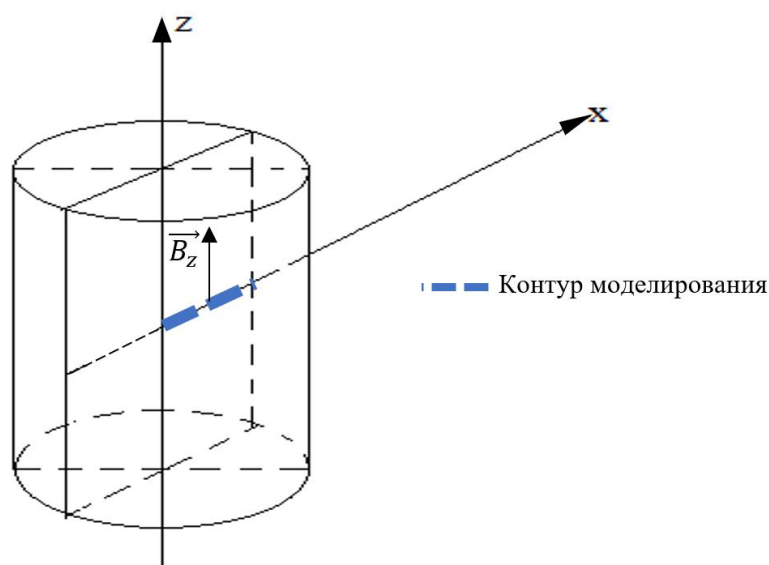


Рис. 4. Контур, по которому происходил расчет продольной составляющей магнитной индукции



Рис. 5. зависимость продольной составляющей магнитной индукции от координаты точки по радиальной оси катушки

Как видим из графика на рис. 5, магнитная индукция вдоль поперечной оси катушки распределена практически равномерно. На участке, расположенном близко к стенкам устройства, магнитная индукция резко возрастает, однако, поскольку этот эффект действует

в основном в области стенок устройства, и не захватывает саму эмульсию, этот рост можно не учитывать.

С учетом вышеизложенных соображений, распределение магнитного поля внутри устройства хорошо иллюстрируется на рис. 7 зависимости индукции магнитного поля от координаты вдоль продольной оси z (рис. 6).

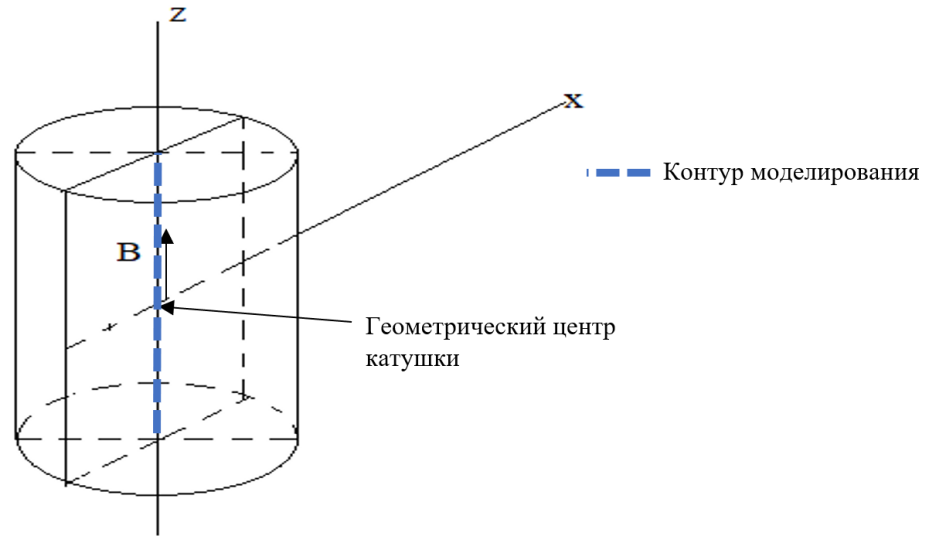


Рис. 6. контур, по которому происходил расчет магнитной индукции

Сопоставим значение индукции в геометрическом центре катушки (рис. 6) с значением, рассчитанным теоретически (формула (2)):

$$B_{max} = \frac{\mu_0 NI}{2l} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2) = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 300 \cdot 1}{2 \cdot 0,3} (\cos 45^0 - \cos 135^0) = 0,00089 \text{ Тл}, \quad (2)$$

где α_1 и α_2 – углы, под которыми видны края катушки из её центра. Учитывая, что $h=2r$ (данное соотношение было использовано для компьютерного моделирования) имеем $\alpha_1 = 45^0$, $\alpha_2 = 135^0$ соответственно. Сопоставив результаты теоретического расчета и моделирования, убеждаемся в корректности работы модели.

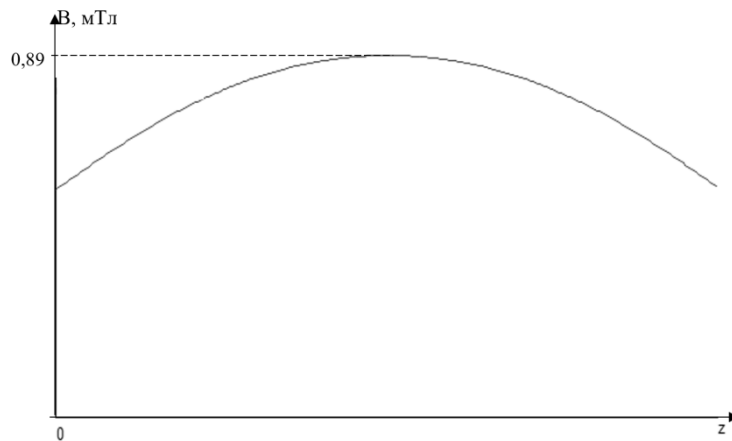


Рис. 7. Зависимость индукции магнитного поля от координаты вдоль продольной оси z

По графику на рис. 7 несложно определить и среднеквадратичное значение магнитной индукции во всех точках внутри катушки. Это значение примерно будет равно среднеквадратичному значению магнитной индукции в точках, расположенных на оси Oz (формула (3)), так как поперечной составляющей магнитной индукции можно пренебречь согласно данным рис. 3, а при распределении вдоль радиальной оси значение индукции также остается постоянным согласно рис. 5.

$$B_{\text{ср.кв.}} = \sqrt{\frac{1}{h} \int_0^h B^2 dz} = 0,000785 \text{ Тл}. \quad (3)$$

Максимальное значение индукции, согласно формуле (2), определяется током, протекающим по виткам катушки. Для определения тока и мощности, потребляемого устройством, необходимо перейти в расчетных формулах от максимального значения индукции к среднеквадратичному. Для этого введем коэффициент, учитывающий неоднородное распределение магнитного поля в устройстве:

$$k = \frac{B_{\text{ср.кв.}}}{B_{\text{max}}} = \frac{0,000785}{0,00089} = 0,883;$$

Оптимизируем параметры устройства таким образом, чтобы потребляемая мощность стремилась к минимуму при неизменном среднеквадратичном значении магнитной индукции. Для этого выведем общую формулу зависимости потребляемой мощности от параметров устройства: N – числа витков, d – диаметра провода, h – высоты цилиндра и r – его радиуса:

$$P = \frac{8B_{\text{ср.кв.}}^2 \rho}{(k\mu\mu_0)^2} \cdot \frac{(h^2 + 4r^2)r}{Nd^2};$$

Учтем, что $h \approx 1,05Nd$, тогда:

$$P = \frac{8,4B_{\text{ср.кв.}}^2 \rho}{(k\mu\mu_0)^2} \cdot \frac{(h^2 + 4r^2)r}{hd}; \quad (4)$$

Проанализируем полученное выражение. Потребляемая мощность зависит от:

- 1) среднеквадратичного значения магнитной индукции, коэффициента распределения магнитной индукции, удельного сопротивления меди и магнитной проницаемости эмульсии – параметров, которые нельзя изменить в данном выражении;
 - 2) обратно пропорциональна диаметру витков;
 - 3) зависит сложным образом от геометрических размеров катушки.
- Определим оптимальные параметры h и r :

$$h = \frac{V}{\pi r^2}; \quad (5)$$

С учетом (5), продифференцируем выражение (4) по r и определим оптимальное значение радиуса устройства, при котором потребление активной мощности из сети будет минимально:

$$r = \sqrt[6]{\frac{V^2}{20\pi^2}};$$

При объеме установки 5 л (в лабораторных условиях), радиус цилиндра, в котором происходит воздействие постоянным магнитным полем, составит:

$$r = \sqrt[6]{\frac{0,005^2}{20\pi^2}} = 0,071 \text{ м};$$

Тогда высота цилиндра составит с учетом (5):

$$h = \frac{V}{\pi r^2} = r\sqrt{20} = 0,071\sqrt{20} = 0,317 \text{ м}. \quad (6)$$

Из соотношения (6) видно, что разрабатываемое устройство должно иметь такую форму, что её высота превышает радиус примерно в 4,47 раза.

Возможно 2 основных способа подключения установки к питающей сети: с использованием трансформатора и управляемого выпрямителя, или с использованием автотрансформатора и неуправляемого выпрямителя. В первом случае регулирование значения выпрямленного напряжения осуществляется с помощью изменения значения угла отпирания тиристоров, а во втором – с помощью изменения числа витков вторичной обмотки автотрансформатора. Рассмотрим, какой из данных способов обеспечит более высокую энергоэффективность процесса.

Расчет схемы с управляемым выпрямителем и трансформатором

Рассчитаем параметры понижающего трансформатора и выпрямителя.

Поскольку в ходе экспериментов будет необходимо изменять значение индукции магнитного поля, выберем управляемый выпрямитель, в котором можно будет регулировать выходное напряжение.

Наиболее предпочтительной схемой однофазного выпрямителя является несимметричная мостовая схема управляемого выпрямителя, в которой два поперечных плеча моста выполнены на неуправляемых вентильях (диодах), а два других – на управляемых вентильях (тиристорах). Эта схема обладает также повышенным коэффициентом мощности, лучшей регулировочной характеристикой и более простой схемой управления тиристорами выпрямителя (рис. 8).

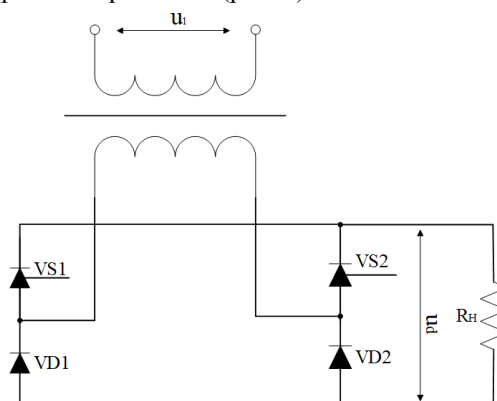


Рис. 8 – схема управляемого выпрямителя

Выберем значение угла регулирования $\alpha_p = 25^\circ$, напряжения короткого замыкания 4,5% и проведем расчет основных параметров схемы питания для установки объемом 5 л при различных диаметрах обмоточного провода. Среднее падение напряжения на силовом диоде составляет 1,5 В, а на тиристоре – 20 В², что негативно сказывается на КПД установки, поскольку полезная мощность пропорциональна напряжению U_d , так как ток, потребляемый устройством, должен оставаться постоянным согласно требованиям технологического процесса. То есть, увеличение энергоэффективности предполагает увеличение диаметра обмоточного провода (по формуле (4)), что приводит к уменьшению сопротивления, а в результате – напряжения U_d . При низких значениях U_d КПД установки также сильно падает, что ведет к увеличению потребления мощности из сети. Согласно теоретическим расчетам, затраченная мощность P_1 будет минимальна, если падение напряжение в выпрямителе будет равно падению напряжения на выводах устройства для создания постоянного магнитного поля, то есть при КПД = 50%. Это подтверждается таблицей 1, приведенной ниже:

Таблица 1

Зависимость КПД и мощности установки объемом 5л от сечения обмоточного провода

Сечение s , мм ²	Диаметр провода d , мм	Число витков N	Напряжение U_d , В	Ток I , А	Полезная мощность P_2 , Вт	КПД η	Затраченная мощность P_1 , Вт
0,5	0,80	397	236,71	39,37	9318,30	0,92	10164,66
0,75	0,98	324	157,81	48,21	7608,65	0,88	8645,27
1	1,13	281	118,36	55,68	6590,51	0,85	7787,71
1,2	1,24	256	98,63	61,01	6017,08	0,82	7328,73
1,5	1,38	229	78,90	68,19	5380,47	0,79	6846,56
2	1,60	199	59,18	78,73	4659,15	0,73	6351,87
2,5	1,78	178	47,34	88,04	4168,05	0,69	6060,92
3	1,95	162	39,45	96,46	3805,50	0,65	5879,37
4	2,26	140	29,59	111,37	3295,25	0,58	5689,66
5	2,52	126	23,67	124,49	2946,84	0,52	5623,38
6	2,76	115	19,73	136,44	2691,41	0,48	5624,87
8	3,19	99	14,79	157,46	2329,57	0,41	5715,02
10	3,57	89	11,84	176,08	2084,02	0,36	5869,77
16	4,51	70	7,40	222,74	1647,63	0,26	6436,43

²Выпрямительные преобразователи силовой электроники электропривода. Учебно-методическое пособие к выполнению курсовой работы по дисциплине «Силовая электроника» для студентов направления подготовки: 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника». Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2019.

25	5,64	56	4,73	278,72	1319,51	0,18	7311,92
35	6,68	47	3,38	329,87	1115,50	0,14	8207,78
50	7,98	40	2,37	393,85	932,30	0,10	9400,17
70	9,44	34	1,69	466,75	789,17	0,07	10824,23
95	11,00	29	1,25	542,92	676,39	0,05	12349,11
120	12,36	26	0,99	610,78	602,41	0,04	13734,22
150	13,82	23	0,79	682,80	538,75	0,04	15218,85
185	15,35	21	0,64	759,03	485,60	0,03	16804,74
240	17,48	18	0,49	863,87	426,02	0,02	18999,18
300	19,54	16	0,39	965,19	380,78	0,02	21132,28
400	22,57	14	0,30	1116,86	330,47	0,01	24342,91

Видим, что оптимальным сечением обмоточного провода будет являться 5 мм^2 , при этом мощность, потребляемая из сети, минимальна, а напряжение U_d максимально приближено к $21,5 \text{ В}$ – падению напряжения в ветви выпрямителя.

Расчет схемы с неуправляемым выпрямителем и автотрансформатором

Основным преимуществом такой схемы является отсутствие тиристоров, падение напряжения на которых в прямом направлении в среднем составляет 20 В .

Пересчитаем таблицу 1 с учетом, что в схеме неуправляемого выпрямителя тиристоры заменены диодами:

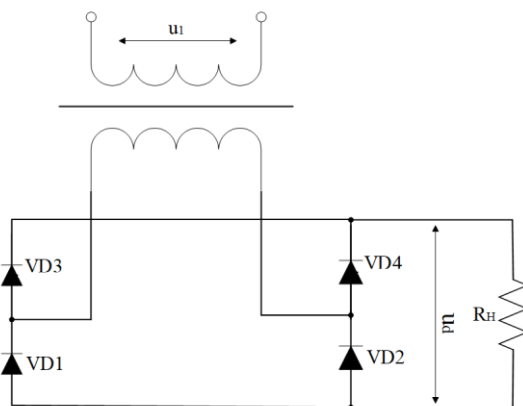


Рис. 9. схема неуправляемого выпрямителя

Таблица 2

Зависимость КПД и мощности установки объемом 5л от сечения обмоточного провода в схеме с неуправляемым выпрямителем

Сечение s , мм^2	Диаметр провода d , мм	Число витков N	Напряжение U_d , В	Ток I , А	Полезная мощность P_2 , Вт	КПД η	Затраченная мощность P_1 , Вт
0,5	0,80	397	236,71	39,37	9318,30	0,99	9436,40
0,75	0,98	324	157,81	48,21	7608,65	0,98	7753,29
1	1,13	281	118,36	55,68	6590,51	0,98	6757,56
1,2	1,24	256	98,63	61,01	6017,08	0,97	6200,10
1,5	1,38	229	78,90	68,19	5380,47	0,96	5585,04
2	1,60	199	59,18	78,73	4659,15	0,95	4895,34
2,5	1,78	178	47,34	88,04	4168,05	0,94	4432,17
3	1,95	162	39,45	96,46	3805,50	0,93	4094,88
4	2,26	140	29,59	111,37	3295,25	0,91	3629,36
5	2,52	126	23,67	124,49	2946,84	0,89	3320,31
6	2,76	115	19,73	136,44	2691,41	0,87	3100,73
8	3,19	99	14,79	157,46	2329,57	0,83	2801,96
10	3,57	89	11,84	176,08	2084,02	0,80	2612,27
16	4,51	70	7,40	222,74	1647,63	0,71	2315,83
25	5,64	56	4,73	278,72	1319,51	0,61	2155,66
35	6,68	47	3,38	329,87	1115,50	0,53	2105,12
50	7,98	40	2,37	393,85	932,30	0,44	2113,86
70	9,44	34	1,69	466,75	789,17	0,36	2189,41

95	11,00	29	1,25	542,92	676,39	0,29	2305,15
120	12,36	26	0,99	610,78	602,41	0,25	2434,76
150	13,82	23	0,79	682,80	538,75	0,21	2587,14
185	15,35	21	0,64	759,03	485,60	0,18	2762,69
240	17,48	18	0,49	863,87	426,02	0,14	3017,62
300	19,54	16	0,39	965,19	380,78	0,12	3276,34
400	22,57	14	0,30	1116,86	330,47	0,09	3681,04

Видим, что в схеме с неуправляемым выпрямителем при объеме установки 5 л при оптимальных габаритных размерах и правильном выборе сечения обмотки мощность, подаваемая на выпрямитель, должна составлять порядка 2,1 кВт. Также заметим, что затрачиваемая мощность будет наименьшей при КПД, составляющем 50%, что также подтверждается теоретическими расчетами. При этом, по сравнению с питанием от управляемого выпрямителя, установка становится эффективнее в несколько раз: для обезвоживания одного и того же объема эмульсии потребляемая энергия будет ниже в 2,67 раза. Расчетная мощность автотрансформатора составит всего лишь 2,5 кВт.

Если построить похожую таблицу для установки объемом 20 л, обнаружим, что в этом случае потребляемая мощность составит порядка 3,3 кВт, а для установки объемом 100 л – 5,7 кВт. Таким образом, установка промышленного образца будет обладать гораздо более высокой энергетической эффективностью.

Обсуждение результатов

В ходе исследований были получены следующие результаты:

- 1) Определено распределение постоянного магнитного поля внутри разрабатываемого устройства;
- 2) Определен коэффициент, учитывающий неоднородное распределение магнитного поля в устройстве: $k=0,883$;
- 3) Определена оптимальная геометрическая форма: $h=r\sqrt{20}$, где h – высота цилиндра, в котором происходит магнитная обработка, а r – его радиус;
- 4) Проведено сравнение схем питания устройства. В результате аналитического анализа и расчетов выявлено, что схема с автотрансформатором и неуправляемым выпрямителем обладает наибольшей энергоэффективностью. Так, для установки объемом 5 л, потребляемая энергия для данной схемы будет в 2,67 раза ниже, чем для схемы с трансформатором и управляемым выпрямителем;
- 5) Были рассчитаны мощности, потребляемые из сети, для установок различных объемов. В результате определено, что энергоэффективность значительно растёт с увеличением производительности устройства. Таким образом, производственная модель устройства будет обладать эффективностью гораздо выше, чем лабораторная.

Заключение

В ходе исследований были получены результаты, необходимые для конструирования экспериментальной установки для обезвоживания водонефтяной эмульсии. Были определены оптимальные геометрические размеры устройства, оптимальная электрическая схема питания, а также были рассчитаны мощности, потребляемые из сети, для установок различных объемов. В результате определено, что энергоэффективность значительно растёт с увеличением производительности устройства. Данные исследования позволят сконструировать лабораторную установку для проведения серии экспериментов по обезвоживанию водонефтяной эмульсии с этапом предварительной подготовки в постоянном магнитном поле.

Литература

1. Рунов Д.М., Лаптев А.Г. Электромагнитная обработка воды в системе оборотного водоснабжения // Научно-практический рецензируемый журнал «Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ», №1-2 (2015). С. 18-25.
2. Кашаев Р.С. Подготовка водотопливных эмульсий во вращающихся магнитном и неоднородном электрическом полях с контролем процесса методом ЯМР-релаксометрии // Научно-практический рецензируемый журнал «Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ». 2016. №1-2. С. 20-26.
3. Вольцов А.А. Интенсификация процесса расслоения водонефтяных эмульсий путем их магнитно-вибрационной обработки. Канд.диссертация. Уфа: УГНТУ. 2006. 122 с.
4. Ермеев А.М., Елпидинский А.А. О применении магнитного поля в процессах разрушения водонефтяных эмульсий. В журнале «Вестник Казанского технологического университета», 2013. Т. 16. № 2. С. 170-174.

5. Ибрагимов Н.Г., Судыкин А.Н., Сахабутдинов Р.З., и др. Технологии и методы интенсификации процесса подготовки высоковязкой нефти // Нефтяное хозяйство. 2016. № 7. С. 61–63.
6. Золфагари Р., Фахру'л-Рази А., Абдулла Л.С. и др., Методы деэмульгирования эмульсий вода в нефти и нефть в воде в нефтяной промышленности, *Sep. Purif. Technol.*, 2016. Т. 170. С. 377–407.
7. Иванов М.Д., Конесев С.Г. Генератор импульсного электромагнитного поля для обезвоживания водонефтяной эмульсии. Статья в сборнике «Материалы 71-й научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных УГНТУ. В 2 т. / отв. ред. Р.У. Рабаев. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2020. 572 с.
8. Велес П.Р., Пивоварова Н.А., Щугорев В.Д., Бердников В.М., Шеламкова О.С., Кульнева И.Н., Пивоваров А.Т. Способ обезвоживания водонефтяной эмульсии. Патент 2 152 817 (РФ) от 20.07.2000, МПК B01D 17/06.
9. Швецов В.Н., Юнусов А.А. Магнитный туннель. Патент 2 167 824 (РФ) от 27.05.2001, МПК C02F 1/48.
10. Новая энергоэффективная технология и техника электродеэмульсации нефти на основе применения композитных электродов // Научно-практический рецензируемый журнал «Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ». 2018. Т. 20. № 3-4. С. 54-61.
11. Шейх-Али А.Д. Комбинированное воздействие магнитного поля и деэмульгаторов на процесс обезвоживания нефти // Подготовка нефти и газа. 2018. № 1. С. 76-80.
12. Таваколи М.Н., Оджаги А., Мохаммади-Манеш Э., и др. Влияние геометрии катушки на процесс индукционного нагрева в системах выращивания кристаллов // Журнал выращивания кристаллов, 2009. Т. 311. № 6.
13. Кит К.Сум. Усовершенствованный формирователь тока с пассивной коррекцией коэффициента мощности с заполнением впадин, приближенный к пределам спецификации IEC / PCIM Magazine, февраль 1998 г.
14. Конесев С.Г., Хазиева Р.Т., Кириллов Р.В. Индуктивно-емкостные преобразователи для вторичных высоковольтных источников питания // Международная мультikonференция по промышленной инженерии и современным технологиям. Институт инженеров по электротехнике и радиоэлектронике. FarEastCon, стр. 1-5. doi: 10.1109 / FarEastCon.2019.8934018.
15. Конесев С. Г., Хазиева Р. Т., Кириллов Р. В., и др. Исследование стабилизирующих свойств индуктивно-емкостных преобразователей на основе гибридных электромагнитных элементов», *Journal of Physics: Conference Series (JPCS)*. 2017. V.803. doi: 10.1088 / 1742-6596 / 803/1/012076.

Авторы публикации

Хазиева Регина Тагировна – канд. техн. наук, доцент кафедры «Электротехники и электрооборудования предприятий», Уфимский государственный нефтяной технический университет.

Иванов Максим Дмитриевич – студент, Уфимский государственный нефтяной технический университет.

References

1. Runov DM, Laptev AG. Electromagnetic water treatment in the circulating water supply system. *Scientific and practical peer-reviewed journal Izvestiya vysshikh uchebnykh zavadenii. PROBLEMY ENERGETIKI*. 2015;1-2:18-25.
2. Kashaev RS. Preparation of water-fuel emulsions in rotating magnetic and non-uniform electric fields with process control by NMR-relaxometry. *Scientific and practical peer-reviewed journal Izvestiya vysshikh uchebnykh zavadenii PROBLEMY ENERGETIKI* " 2016;1-2:20-26.
3. Voltsov AA. Intensification of the process of stratification of oil-water emulsions by means of their magnetic vibration treatment. Candidate dissertation. Ufa: USPTU. 2006. 122 p.
4. . Ermeev AM, Elpidinsky AA. On the use of a magnetic field in the processes of destruction of water-oil emulsions. *Bulletin of Kazan Technological University*. 2013;16(2):170-174.
5. Ibragimov NG, Sudykin AN, Sakhabutdinov RZ, et al. Technologies and methods of intensification of the process of preparation of high-viscosity oil. *Oil industry*. 2016;7:61-63.
6. Zolfagari R, Fakhru'l-Razi A, Abdulla LS. et al. Methods for demulsifying water-in-oil and oil-in-water emulsions in the petroleum industry. *Sep. Purif. Technol.* 2016;170:377–407.
7. Ivanov M.D, Konesev SG. *Generator of pulsed electromagnetic field for dehydration of oil-water emulsion. An article in the collection Materials of the 71st Scientific and Technical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists of USPTU*. 2 tons / hole ed. RU. Rabaev. Ufa: USPTU Publishing House, 2020. 572 p.

8. Veles PR, Pivovarova NA, Shchugorev VD, Berdnikov VM, Shelamkova OS, Kulneva IN. and Pivovarov AT. *Method of dehydration of water-oil emulsion* .Patent 2 152 817 (RF) dated 20.07.2000, IPC B01D 17/06.

9. Veles PR, Pivovarova NA. *Magnetic tunnel*. Patent 2 167 824 (RF) dated 27.05.2001, IPC C02F 1/48. Magnetic tunnel.

10. Shvetsov VN, Yunusov AA. New energy-efficient technology and technique of oil electrodeemulsification based on the use of composite electrodes // *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavadenii. PROBLEMY ENERGETIKI*. 2018;20,3-4:54-61.

11. Sheikh-Ali A.D. Combined effect of magnetic field and demulsifiers on the process of oil dehydration. *Oil and Gas Preparation*. 2018;1:76-80.

12. Tavakoli MH, Ojagi A, Mohammadi-Manesh E, et al. The influence of coil geometry on the process of induction heating in crystal growing systems. *Journal of growing crystals*. 2009,311:6.

13. Keith Sum. K. Enhanced cavity filling passive power factor correction current driver, close to IEC. PCIM Magazine specification limits, February 1998

14. Konesev SG, Khazieva RT, Kirillov RV. Inductive-capacitive converters for secondary high-voltage power supplies. *International Multiconference on Industrial Engineering and Modern Technologies*, 2019. Institute of Electrical and Electronic Engineers, FarEastCon, pp. 1-5. doi: 10.1109 / FarEastCon.2019.8934018.

15. Konesev SG., Khazieva RT., Kirillov RV, et al. Investigation of the stabilizing properties of inductive-capacitive converters based on hybrid electromagnetic elements. *Journal of Physics: Conference Series (JPCS)*. 2017. V. 803. doi: 10.1088 / 1742-6596 / 803/1/012076.

Authors of the publication

Khazieva R. Tagirovna – Ufa State Petroleum Technical University, Ufa, Russia.

Ivanov M. Dmitrievich – Ufa State Petroleum Technical University, Ufa, Russia.

Получено

13 ноября 2020г.

Отредактировано

11 декабря 2020г.

Принято

14 декабря 2020г.