

УДК 534.2:532

UDC 534.2:532

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ВЫБОРА ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛЕЙ ПОДОБНЫХ АППАРАТОВ АКУСТО-МАГНИТНОЙ ОБРАБОТКИ ЖИДКОСТИ**

**DEVELOPMENT OF THE METHODS OF CHOOSING THE PARAMETERS OF THE MODELS OF DEVICES FOR ACOUSTIC-MAGNETIC PROCESSING OF LIQUIDS**

Коржаков Алексей Валерьевич  
к.т.н., доцент

Korzhakov Alexey Valeryevich  
Candidate of Technical Sciences, associate professor

Коржакова Светлана Александровна  
к.э.н.  
*Адыгейский государственный университет, Майкоп, Республика Адыгея, Россия*

Korzhakova Svetlana Aleksandrovna  
Cand.Econ.Sci.  
*Adyge state University, Maikop, Republic of Adygeya, Russia*

В статье приведены результаты исследования по созданию методики расчета акусто-магнитного аппарата. Предложена методика, которая позволяет проектировать аппараты различных размеров и типов

In the article we present the results of the researches of creation of methods of calculation of the acoustic-magnetic devices. The technique, which allows to design devices of various sizes and types has been proposed

Ключевые слова: АКУСТО-МАГНИТНЫЙ АППАРАТ, РАСЧЕТ РАЗМЕРОВ, ВЫБОР АКУСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ, ВЫБОР ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И МАГНИТНЫХ ПАРАМЕТРОВ

Keywords: ACOUSTO-MAGNETIC DEVICE, CALCULATION OF SIZE, SELECTION OF ACOUSTIC PARAMETERS, SELECTION OF ELECTRICAL AND MAGNETIC PARAMETERS

***Введение***

В последние годы во всем мире, на фоне полуголодного существования большей части населения, не ослабевает интерес к гидропонике, позволяющей выращивать растения без почвы, на искусственных питательных растворах. Данный способ выращивания растений, представлявший ранее чисто научный интерес, в настоящее время нашёл широкое применение в мире, т.к. позволяет получить высокие и устойчивые результаты при снижении себестоимости продукции. В растениеводстве защищенного грунта этот метод открывает возможности для механизации и автоматизации производственных процессов.[1]

Выращивание растений гидропонным методом особенно эффективно в районах крайнего Севера, пустынных и горных районах, в крупных тепличных хозяйствах, расположенных в зоне больших городов. В связи с быстрым развитием и внедрением гидропоники большое значение имеет обобщение результатов научных исследований и передового опыта фирм, занимающихся выращиванием растений гидропонным методом, и форми-

рование на основе опытных разработок новых научно обоснованных методов выращивания растений без почвы. В настоящее время существуют следующие основные методы гидропоники: агрегатоионопоника, водная культура, хемопоника, ионопоника, аэропоника.[2]

Для всех методов гидропоники существует необходимость приготовления питательного раствора, для которого необходимо использовать воду, разрешенную контролирующими учреждениями для неограниченного применения в качестве питьевой воды. К воде добавляют соответствующие минеральные соли и проводят регулирование показателя рН на уровне слабнокислого ( $5,0 \leq \text{pH} \leq 6,8$ ), что установлено опытным путём и отражено в работах разных авторов. Но большинство проб воды демонстрирует её щелочные свойства ( $\text{pH} > 7,0$ ) из-за содержания карбонатов. Поэтому перед растворением в воде питательных солей необходимо воду подкислить, для чего в настоящее время пользуются технической серной кислотой. Однако, операция растворения кислоты требует осторожности и большого числа итераций до получения определенного значения рН, что весьма проблематично для промышленных гидропонных установок и требует больших затрат. Кроме того, проверка значения рН раствора должна производиться очень быстро и часто. В реальных условиях эта операция отнимает много сил и средств, переводя её в трудоёмкие и малорентабельные.

В настоящее время в сельскохозяйственном производстве широко применяются аппараты магнитной обработки воды, по сути, являющиеся постоянными магнитами и электромагнитами. Они относительно просты по конструкции и сравнительно недороги. К основным их недостаткам следует отнести невозможность регулирования величины магнитного поля при обработке воды.

Для устранения описанных несоответствий предлагается решить проблему путем безреагентного способа изменения и контроля рН посредством акусто-магнитного аппарата [3] в системе управления величинами

акустического и магнитного поля на основе микроконтроллерной техники.

В гидропонных установках используются трубы с различными типоразмерами. Разработка для каждого типа и диаметра труб аппарата акусто-магнитной обработки воды требует от исследователя создания аппаратов, принцип действия которых подчиняется одним и тем же законам, что делает возможным применение теории подобия для создания малой серии различных по типоразмеру аппаратов. Однако существуют промежуточные этапы: проектирование схемы аппарата, создание макета аппарата, экспериментального образца, серийного образца, внедрение его в мелкосерийное производство.

Возникает объективная необходимость в создании методики, позволяющей производить расчёт акусто-магнитного аппарата и сократить этапы проектирования. Первым этапом в создании методики является расчёт размеров акусто-магнитного аппарата с предварительным выбором акустических, электрических и магнитных параметров.

Существующие в настоящее время методы позволяют рассчитать отдельно акустические излучатели и магнитные аппараты, но все они не позволяют производить расчеты конструкций, у которых акустическая и магнитная часть аппарата объединены в единое целое.

**Объектом исследования** является модель акустической и магнитной частей акусто-магнитного аппарата.

**Предмет исследования** – параметры акустической и магнитной части акусто-магнитного аппарата.

**Целью** исследования является разработка методики выбора параметров моделей подобных аппаратов акусто-магнитной обработки жидкости.

**Задачи исследования:**

- выбор акустических параметров при проектировании ультразвуковой части аппарата,
- выбор электрических и магнитных параметров при проектировании

магнитной части аппарата.

### **Постановка и решение задачи.**

Расчет акусто-магнитного аппарата необходимо начинать с выбора акустических параметров ультразвуковой части аппарата, а затем, установив критерии подобия, проводить расчет электро-магнитной составляющей аппарата, для получения подобных моделей аппарата.

### **1 Выбор акустических параметров при проектировании ультразвуковой части аппарата.**

При проектировании ультразвуковой части акусто-магнитного аппарата необходимо решить задачи: расчёт рабочей частоты преобразователя, потребляемой мощности, входного электрического сопротивления преобразователя. Расчет и конструирование начинается с выбора параметров.

*Рабочая частота* относится к основным характеристикам преобразователя. При малых амплитудах возбуждения амплитуда колебаний пропорциональна амплитуде электрического напряжения, а коэффициент пропорциональности зависит только от свойств преобразователя и нагрузки. Отношение амплитуды колебаний к напряжению на входе преобразователя, называемое чувствительностью, также относится к основным характеристикам преобразователя.

*Чувствительность по напряжению в режиме холостого хода*

$$v_U = \xi_m / U_m$$
 при  $R = 0$  характеризует эффективность применения преобразователей при малом сопротивлении нагрузки.

*Собственное сопротивление преобразователя* на резонансной частоте равно сопротивлению механических потерь. Отношение сопротивления механических потерь к нагрузке может быть найдено путем измерения добротности нагруженного и ненагруженного преобразователя. Амплитуда колебаний на выходе преобразователя падает при отклонении частоты электрического напряжения от резонансной частоты преобразователя.

Степень уменьшения амплитуды связана с добротностью нагруженного преобразователя  $Q_n$ , которая зависит от добротности ненагруженного преобразователя  $Q_0$ , соотношения сопротивления механических потерь преобразователя и сопротивления нагрузки в том случае, когда мала реактивная составляющая нагрузки  $Q_n =$ .

Эта добротность не слишком велика при работе преобразователя на жидкую среду при малых амплитудах колебаний. Добротность ферритового преобразователя при излучении в условиях развитой кавитации больше добротности ненагруженного преобразователя. Соответственно при работе на малую нагрузку необходима система автоматической подстройки частоты.[4]

Для оценки эффективности преобразователя с энергетической точки зрения используют *электроакустический коэффициент полезного действия*.

Для ряда технологических процессов, связанных с ультразвуковой обработкой в жидкой фазе при малых амплитудах колебательной скорости, основным технологическим параметром является *полная акустическая мощность*. В этих условиях электроакустический КПД можно использовать для характеристики преобразователя. Однако, значение электроакустического КПД, так же как и чувствительность, зависит от соотношения сопротивлений нагрузки и механических потерь. При использовании электроакустического КПД в качестве характеристики преобразователя необходимо нормализовать нагрузку. Еще одной важной характеристикой является *чувствительность по току*:

где — активная составляющая входного сопротивления преобразователя.

Такой же общей характеристикой преобразователя является электромеханический КПД, который достаточно полно характеризует электрические потери в преобразователе независимо от вида акустической нагрузки. С увеличением амплитуды напряжения или мощности на входе преобразователя пропорционально растет амплитуда колебаний или акустическая мощность. В этом случае усталостная прочность элементов конструкции или степень нагрева определяет допустимую амплитуду колебательных смещений  $\xi_{lim}$  или допустимое значение акустической мощности  $W_{a\ lim}$ . По определению, это — максимальная для данной конструкции амплитуда смещений (акустическая мощность). В нелинейном режиме с увеличением амплитуды электрического напряжения на входе возможно снижение вынуждающего напряжения, а также увеличение механических или электрических потерь. Это приводит к уменьшению чувствительности, КПД или коэффициента эффективности при увеличении напряжения или мощности на входе преобразователя. В этом случае за допустимую амплитуду принимается такое значение, при котором падение чувствительности или коэффициента эффективности не превышает заданной величины.

Таким образом, основными характеристиками преобразователя являются: чувствительность, коэффициент эффективности, сопротивление механических потерь, допустимая амплитуда, номинальная электрическая мощность, а также электромеханический КПД, добротность ненагруженного преобразователя, входное сопротивление, ток подмагничивания.[4]

Известно, что эффективность ультразвуковой обработки растет с понижением частоты, производительность обработки при постоянной амплитуде смещения растет с увеличением частоты. При повышении частоты уменьшаются габаритные размеры и масса, но падает амплитуда колебаний и КПД системы. Условия работы при излучении в среду характеризуются заданной площадью излучения и удельной акустической мощностью.

Установлено, что добротность  $Q$  для всех магнитострикционных ма-

териалов, в том числе и ферритов, зависит от напряженности постоянного поля. При этом для ферритов и никеля добротность зависит от амплитуды ультразвуковых деформаций. [5]

При поставленной задаче получить максимум деформации в заданном объеме можно в радиальной колебательной системе. Распределение амплитуды радиальных колебаний и деформаций таково, что в центре наблюдается максимум амплитуды деформаций, а амплитуда смещений стремится к нулю, тогда на внешней стороне колебательной системы амплитуда смещения достигает максимума.[5]

Основными характеристиками такого преобразователя являются резонансная частота и амплитуда ультразвуковых деформаций в центре при заданной величине электрического напряжения на входе преобразователя. Существует однозначное соответствие между амплитудой колебаний на внешней поверхности  $\xi_R$  и амплитудой ультразвуковых деформаций  $\varepsilon_{mr}(0)$  в центре при  $r = 0$  :

$$\varepsilon_{mr}(0) = \gamma k \xi_R.$$

где  $k$  – волновое число;  $\gamma$  – коэффициент, зависящий только от формы преобразователя. Коэффициент  $\gamma$  аналогичен коэффициенту усиления стержневого концентратора.

Зная чувствительность радиального преобразователя, определяемую как  $\nu_U = \frac{\xi_R}{U_m}$ , при известной величине коэффициента  $\gamma$  можно найти величину ультразвуковой деформации в центре:  $\varepsilon_{mr}(0) = \gamma k \nu_U U_m$ .

*Коэффициент эффективности* определяется по формуле:

Для определения *амплитуды преобразователя радиальных колебаний* применяется приближенная формула, описывающая распределение

амплитуды напряжений и смещение по радиусу для однородного диска:

$$\xi_{mr}(r) = \frac{\xi_R}{I_1(kR_0)} J_1(kr);$$

$$\sigma_{rr}(r) = \frac{Ek\xi_R}{(1-\nu^2)I_1(kR_0) \left[ J_0(kr) + \frac{\nu-1}{kr} J_1(kr) \right]},$$

где  $\xi_R$  – амплитуда колебаний на внешней поверхности диска при  $r = R$ ;  $k = \frac{2\pi f}{c} \sqrt{1-\nu^2}$ ;  $c$  – скорость звука;  $\nu$  и  $E$  – коэффициент Пуассона и модуль Юнга;  $J_0(kr)$ ,  $J_1(kr)$  – функции Бесселя нулевого и первого порядка. Резонансная частота радиальных колебаний диска определяется из условия

Амплитуда колебаний при резонансе  $\xi_R$  пропорциональна произведению  $\lambda Q U_m$ , где  $\lambda$  – константа магнитострикционного преобразователя;  $Q$  – добротность материала. Выбор узлового радиуса  $r_1$  и оптимального положения активного элемента  $r_2$  определяется из условия  $kr_{1,2} = \alpha_{1,2}$ . [4]

## 2 Установление критериев подобия.

Исследуя явления, происходящие в акусто-магнитном аппарате, путем физического моделирования перенесем полученные результаты на объекты той же физической природы, но отличающиеся по электрическим, магнитным и другим показателям. Необходимо понимать, что полное физическое подобие получить невозможно, поэтому приходится довольствоваться приближенным подобием, т.е. подобием по определенным показателям.

Осуществляя физический эксперимент на модели, нам необходимо знать до какой степени соответствует модель оригиналу и какие параметры необходимо перенести на оригинал после получения результатов экспериментов. Также необходимо учесть все влияющие и не влияющие факторы на данную систему. Только при таких условиях эксперименты, проведенные на модели, позволят определить необходимые характеристики ориги-

нала. Получить ответы на поставленные вопросы возможно на основе анализа критериев подобия. При физическом моделировании акусто-магнитного аппарата проведение геометрического подобия бывает в ряде случаев затруднительно. Более удобно пользоваться обобщенными геометрическими параметрами: сечение обмоточного окна (рабочий зазор), поверхность охлаждения, приведенная геометрическая магнитная проводимость, средняя длина витка и др. При таком подходе есть возможность сопоставить системы, не имеющие геометрического подобия. В тоже время более наглядно можно представить результаты экспериментов. Облегчается процесс контроля влияющих факторов, появляется известная свобода при доведении конструкции акусто-магнитного аппарата до требуемой цели, так как варьировать обобщенными геометрическими параметрами легче, чем отдельными конструктивными размерами. Наша задача состоит в вычислении значений факторов, влияющих на характеристики акусто-магнитного аппарата, с целью перенесения на оригинал результатов, полученных на модели, а так же отыскание путей изменения характеристик аппарата в желаемом направлении.

В соответствии с задачами, сформулированными исходя из третьей теоремы подобия, выбираем критерии, обеспечивающие подобие модели предполагаемому оригиналу по всем показателям. Базируясь на выбранных критериях, следует спроектировать новую модель. Затем необходимо спланировать эксперимент, зарегистрировать все величины, входящие в критерии подобия. Обработка экспериментальных данных проводится в критериальной форме. Характеристики модели записываются в натуральной форме, чтобы определить с помощью критериев масштабы перехода, для расчета натуральных размеров оригинала. Пересчет параметров подобия производится путем определения значений интересующего нас параметра для одной точки, для всех других пересчет производится при помощи констант подобия, определенных для сходных точек по модели.

Существует множество различных условных показателей и эмпирических коэффициентов для расчета электромагнитов. Но у всех у них есть один существенный недостаток, связанный с узким диапазоном конструкций, работающих в определенных условиях. Преимущество перед ними имеют критерии подобия, которые не зависят от величины сравниваемых конструкций, т.к. являются безразмерными комплексами.

Состав критериев подобия показывает, какие величины должны быть измерены на опыте, чтобы их результаты были сопоставимы. Полученные экспериментальные данные, записанные в критериальной форме могут быть использованы при обобщении результатов опытов с целью создания новых конструкций или сравнения с существующими. Для создания электромагнитов новой конструкции необходимо рассмотреть подобия: геометрическое, электромагнитное, тепловое, механическое.

Нам известно, что с изменением размеров электромагнитов изменение индукции, температуры обмотки, плотности тока происходит не пропорционально. Если существующая конструкция электромагнита является рациональной, то подобная ей, но других размеров, может быть не работоспособной, или, по крайней мере, не рациональной. Поэтому, основная задача состоит в подборе наиболее подходящих для новой конструкции критериев подобия.

Установим критерии подобия. Для этого воспользуемся следующими данными.

В качестве критерия оптимизации при рассмотрении процесса выращивания грибов «вешенка», был выбран показатель урожайности, зависящий от веса органического субстрата[3]. Этот показатель является искомым параметром.

Урожайность от веса органического субстрата определяется как отношение:

$$\xi = \frac{M_n}{M_o},$$

где  $M_n$  – отношение веса грибов к органическому субстрату без обработки воды для полива грибов;

$M_o$  – то же, после обработки.

Исходными параметрами являются входные переменные  $\vec{X}$  :

$X_1$  – частота трехфазного напряжения  $f$ (Гц);

$X_2$  – длина рабочего участка аппарата  $L$ (м). [3]

Задача состоит в том, чтобы с помощью теории подобия определить исходные параметры модельного эксперимента.

Известно, что два неодинаковых события подобны, если в результате преобразований параметров, характеризующих события, эти параметры совпадают.

Установим критерий подобия как отношение длины рабочего участка аппарата к частоте.

$$\pi_1 = \frac{L}{f}.$$

## **2 Выбор электрических и магнитных параметров при проектировании магнитной части аппарата.**

### **1 Выбор рабочей частоты.[6]**

где  $r$  – средний радиус кольца;  $R_n$  – наружный радиус кольца;  $R_{в}$  – внутренний радиус кольца;  $c$  – скорость распространения упругих колебаний в феррите.

2 Расчет габаритных размеров магнотрикссионного излучателя производим с учётом того факта, что при малой длительности трансформированных импульсов большой интерес представляют МС из ферритов. Вследствие чрезвычайно высокого удельного электрического сопротивления

ферритов потери на вихревые токи в них практически отсутствуют.

2.1 Находят оптимальную величину среднего диаметра кольца и частоту излучателя из феррита по формуле:

$$D_{cp} = \frac{c}{\pi f},$$

где  $f$  – выбранная частота.

2.2 Определяют активную ширину кольца излучателя по среднему диаметру:

.

2.3 Определяют наружный и внутренний диаметры колец излучателя:

$$D_{вн} = D_{cp} - 2 \cdot a_0,$$

$$D_n = D_{cp} + 2 \cdot a_0',$$

где  $a_0 + a_0' = a$ .

2.4. Площадь поперечного сечения  $S_n$ , необходимая для работы в оптимальном режиме, находится из выражения:

$$S_n = \frac{U \cdot 10^6}{4.44 \cdot f \cdot N \cdot B},$$

где  $U$  – напряжение возбуждения;

$B$  – амплитуда переменной магнитной индукции (находится по кривым магнитострикции).

2.5 Число витков на вольт определяем по формуле:

$$\omega = \frac{33,3}{S_n}.$$

3 Расчет элементов электрических и механических цепей магнитострикционного излучателя.

3.1 Сопротивление излучателя [6]:

;

$$r_n = \frac{U_m^2}{P_n};$$

$$L_n = \frac{U_m^2}{2\pi f_0 P_n},$$

где  $r_m$  – эквивалентное механическое сопротивление, ом;

$r_n$  – эквивалентное сопротивление электрических потерь, ом;

$L_n$  – эквивалентная индуктивность, гн.

3.2 Потребляемая излучателем электрическая мощность определяется по формуле:

где – механическая мощность;

$P_n$  – мощность электрических потерь состоящая из потерь на вихревые токи  $P_v$  и потерь электрической мощности на гистерезис  $P_g$ ;

3.3 Определение напряжения, подводимого к обмотке излучателя:

$$U_m = 4,44N(n + 1)f_0QB_m;$$

3.4 Выбор марки провода рабочей обмотки преобразователя произведем согласно [6]:

$$I_{общ} = \sqrt{I_{подм}^2 + I_{эф.возб}^2} ;$$

где ;

$$I_{эф.возб} = \frac{I_{возб}}{\sqrt{2}} ;$$

где  $n$  – число витков;

– средняя длина пути магнитной силовой линии, определяемая из геометрических размеров излучателя;

$H$  – напряженность магнитного поля, определяемая по кривым магнитострикции (средняя точка прямолинейного участка).

3.5 Рабочее напряжение первичной обмотки [7]:

где  $R$  – омическое сопротивление катушки;

$X_L$  – индуктивное сопротивление катушки.

3.6 Находим расчетные числа витков первичной и вторичной обмоток [8]:

где  $U_c$  – напряжение, подаваемое на излучатель,

$U_u$  – напряжение, подаваемое на обмотку управления.

3.7 Определение сечения провода:

$$S = \frac{I_{\text{общ}}}{j},$$

где  $j$  – плотность тока.

3.8 Диаметр провода без изоляции находится из выражения:

$$D = 2\sqrt{\frac{S}{\pi}}$$

3.9 Возбуждаемая в тороидальном магнитоотрицательном излучателе магнитная индукция складывается из индукции  $B_i e^{j\omega t}$ , обусловленной переменным током  $i$ , и из индукции  $B_m$ , обусловленной обратным магнитоотрицательным эффектом:

$$B_m = \delta\mu \frac{x}{l}.$$

3.10 Длина пути жидкости в активной зоне аппарата [7]:

$$L = vt,$$

$v$  - заданный параметр скорости воды в рабочем зазоре аппарата;

$t$  - заданное время прохождения жидкости через активную зону аппарата.

3.11 Площадь проходного сечения воды в рабочем зазоре (для определения диаметра трубы, проходящей через рабочую зону аппарата обработки жидкости) [7]:

$$S_{\text{в}} = \frac{Q}{0.36vt},$$

где  $Q$  – часовой расход воды,

$m$  – число включённых в параллель рабочих зазоров (определяется на основании прикидочных расчётов).

3.11 Находим критерий подобия:

$$\pi_1 = \frac{L}{f}.$$

После намотки излучателя и подключения его к генератору окончательная корректировка величин производится экспериментально до получения модели, подобной требуемой по критерию  $\pi_1$ . Т.к. существует разброс в магнитных свойствах магнитострикционных материалов, типах и размерах промышленно изготавливаемых ферритовых колец, являющихся основой магнитострикционного излучателя, то необходима корректировка параметров, значительно изменяющихся в процессе изготовления.

## Заключение

Итак, в соответствии с поставленной целью были решены задачи:

- выбраны акустические параметры ультразвуковой части аппарата;
- выбраны электрические и магнитные параметры магнитной части аппарата.

Разработанную методику расчета акусто-магнитного аппарата рекомендуется применять при проектировании различных типов аппаратов, предназначенных для выпуска мелких серий аппаратов, имеющих различные характеристики.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бедриковская Н.П. Гидропоника комнатных цветов./ Н.П. Бедриковская. – Киев: Наука думка, 1972. – 63 с.
2. Гиль Л.С. Современное овощеводство закрытого и открытого грунта. Практическое руководство./ Л.С. Гиль, А.И. Пашковский, Л.Т. Сулима.- Житомир: Рута, 2012. - 468 с.
3. Коржаков А.В. Идентификация и синтез системы акусто-магнитной обработки

жидкости // Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. 2005.

4. Казанцев В.Ф. Расчет ультразвуковых преобразователей для технологических установок. / В.Ф. Казанцев. – М.: Машиностроение, 1980. – 42с.

5. Булычева З.Н. Отечественные материалы для магнитострикционных преобразователей./ Ганева Л.И., Голямина И.П. – Вопросы судостроения, сер. Акустика, вып 1, 1974.- С.

6. Чинаев П.И. Расчет исполнительных, корректирующих и преобразовательных элементов автоматизированных систем./ П.И. Чинаев, Н.М. Чумаков, А.П. Жданов, В.И.Панов, Н.С. Сивов, А.И. Суд-Злочевский, И.И. Чугунов.– М.: Техника, 1971. -308 с.

7. Тебенихин Е. Ф. Безреагентные методы обработки воды в энергоустановках.- М.: Энергия, 1977.-184 с.

8. Мартынихин Г. Расчёт тороидальных трансформаторов. «Радио». 1972.-№3.- 64 с.

#### References

1. Bedrikovskaja N.P. Hidroponika komnatnyh cvetov./ N.P. Bedrikovskaja. – Ki-ev: Nauka dumka, 1972. – 63 s.

2. Gil' L.S. Sovremennoe ovoshhevodstvo zakrytogo i otkrytogo grunta. Prakti-cheskoe rukovodstvo./ L.S. Gil', A.I. Pashkovskij, L.T. Sulima.- Zhitomir: Ruta, 2012. - 468 s.

3. Korzhakov A.V. Identifikacija i sintez sistemy akusto-magnitnoj obrabotki zhidkosti // Dissertacija na soiskanie uchjonoj stepeni kandidata tehniceskikh nauk. 2005.

4. Kazancev V.F. Raschet ul'trazvukovyh preobrazovatelej dlja tehnologicheskikh ustanovok. / V.F. Kazancev. – М.: Mashinostroenie, 1980. – 42s.

5. Bulycheva Z.N. Otechestvennye materialy dlja magnitostriktionnyh preobrazovatelej./ Ganeva L.I., Goljamina I.P. – Voprosy sudostroenija, ser. Akustika, vyp 1, 1974.- S.

6. Chinaev P.I. Raschet ispolnitel'nyh, korrektirujushhih i preobrazovatel'nyh jelementov avtomatizirovannyh sistem./ P.I. Chinaev, N.M. Chumakov, A.P. Zhdanov, V.I.Panov, N.S. Sivov, A.I. Sud-Zlochevskij, I.I. Chugunov.– М.: Tehnika, 1971. -308 s.

7. Tebenihin E. F. Bezreagentnye metody obrabotki vody v jenergoustanovkah.- М.: Jenergija, 1977.-184 s.

8. Martynihin G. Raschjot toroidal'nyh transformatorov. «Radio». 1972.-№3.- 64 s.