

ЛЕБЕДЕВА Дарья Александровна

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ
МЕДИЦИНСКИХ АППАРАТОВ ДЛЯ ТРАВМАТОЛОГИИ И ХИРУРГИИ,
ШИРОКОДИАПАЗОННЫХ ПО ПАРАМЕТРАМ НАГРУЗКИ**

Специальность: 05.11.17 – Приборы, системы и изделия
медицинского назначения

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Омский государственный технический университет»

Научный руководитель: **Новиков Алексей Алексеевич**
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Белик Дмитрий Васильевич**
доктор технических наук, директор научно-исследовательского института медицинской инженерии ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет» (г. Новосибирск)

Чухланцева Марина Михайловна
кандидат технических наук, директор ФБУ «Томский центр стандартизации, метрологии и испытаний в Томской области» (г. Томск)

Ведущая организация: **Открытое акционерное общество научно-производственное объединение «Экран»**
(г. Москва)

Защита состоится “03” ноября 2015 г. в 17.00 часов на заседании диссертационного совета Д.212.269.09 при ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по адресу: 634028, Россия, г. Томск, ул. Савиных, 7, ауд.215.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по адресу: 634028, Россия, г. Томск, ул. Белинского, 55 и на сайте <http://portal.tpu.ru/council/916/worklist>.

Автореферат разослан “17” сентября 2015 г.

Ученый секретарь совета Д 212.269.09
кандидат технических наук

Е.А. Васендина

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы.

Первоочередное значение в развитии здравоохранения приобретают новые разработки специализированных медицинских аппаратов и их широкое внедрение. Все более значительное место в лечебном аппаратном комплексе начинает занимать низкочастотная ультразвуковая терапия и хирургия. Безвредность, малая травматичность, простота и эффективность ультразвукового воздействия позволяет использовать его в клинической и практической медицине самых различных направлений. Однако, несмотря на достигнутые успехи в области ультразвуковых медицинских технологий, последние могли бы развиваться значительно интенсивнее, если бы не недостаточная эффективность существующей медицинской ультразвуковой аппаратуры. Эффективность ультразвукового воздействия определяется стабильностью поддержания амплитуды колебаний рабочего окончания волновода-инструмента ультразвукового пьезокерамического излучателя, при различных изменениях условий его взаимодействия с технологической средой. Эти изменения отражаются на эквивалентной нагрузке ультразвукового излучателя. Для каждого излучателя существует предельное значение допустимой нагрузки. Поэтому разработка УЗМА широкодиапазонных по параметрам нагрузки является актуальной.

Целью данной работы является исследование и разработка базовых структур ультразвуковых медицинских аппаратов для работы на широкодиапазонные технологические нагрузки.

Для достижения поставленной цели определены **следующие задачи:**

1. Проанализировать ультразвуковые медицинские аппараты для хирургии и травматологии производимые и предлагаемые к продаже, учитывая их мощность и эффективность работы излучателя при значительных нагрузках.
2. Исследовать частотные и нагрузочные характеристики ультразвуковых пьезокерамических излучателей продольного типа, используемых в травматологических медицинских аппаратах и определить возможные пути их улучшения для широкодиапазонных нагрузок.
3. Разработать методику выбора величины дополнительной индуктивности в контуре возбуждения ультразвукового излучателя, обеспечивающую повышенную устойчивость его работы на широкодиапазонные технологические нагрузки, что позволит значительно расширить функциональные возможности УЗ аппаратов для травматологии и хирургии.
4. Разработать принципиальную схему УЗ медицинского аппарата с повышенной выходной мощностью и нагрузочной способностью при работе на пьезокерамические излучатели.
5. Оценить эффективность применения разработанного аппарата для основных направлений использования УЗ в травматологии и хирургии.

Методы исследования

Теоретические и экспериментальные, основанные на теории электротехники и радиотехники, основах акустики, прикладной и вычислительной математике, прикладных программах для персонального компьютера, теории погрешностей.

Достоверность и обоснованность полученных результатов обусловлена использованием стандартных методов расчета и исследования, а также использованием приборов, прошедших проверку в Омском центре стандартизации и метрологии, и подтверждена путем экспериментальных и клинических исследований.

Научная новизна работы:

1. Предложена и исследована математическая модель пьезокерамического ультразвукового излучателя с дополнительными элементами, обеспечивающими повышение его нагрузочной способности.

2. Показана эффективность использования дополнительной индуктивности в контуре питания УЗ излучателя при повышенных значениях нагрузки лишь при условии удержания излучателя на частоте акустического резонанса. Установлено, что дополнительная индуктивность повышает нагрузочную способность акустической системы, но снижает ее «акустическую эффективность», то есть рост проводимости, а соответственно, и рост тока через излучатель опережают рост амплитуды колебаний рабочего торца излучателя.

3. Предложена методика рационального выбора величины дополнительной индуктивности для уменьшения уровня снижения акустической эффективности излучателя, заключающаяся в том, что дополнительная индуктивность выбирается так, чтобы вместе с собственной емкостью пьезоматериала излучателя они образовывали колебательный контур с резонансной частотой соответствующей второй гармонике частоты акустического резонанса излучателя.

4. Разработано и предложено устройство, обеспечивающее компенсацию влияния собственной емкости пьезокерамического излучателя на фазовые соотношения тока и напряжения возбуждения в рабочих режимах. Показано, что предложенное техническое решение обеспечивает возможность использования еще трех вариантов включения излучателя, наиболее рациональных для разных диапазонов изменения нагрузки, что позволяет использовать максимально простые и надежные системы фазовой автоподстройки частоты, с устойчивым и широким частотным диапазоном регулирования, а также обеспечивает возможность увеличения нагрузочной способности излучателя.

Практическая ценность работы:

1. Предложены новые схемные решения УЗ аппаратов для травматологии и хирургии, обеспечивающие повышенную нагрузочную способность, надежность и расширение функциональных возможностей.

2. Разработаны новые ультразвуковые волноводы – инструменты, - (тройная елочка, трехвитковая спираль, диафизарный волновод-шуруп)

расширяющие технологические и функциональные возможности УЗМА и используемые на различных этапах эндопротезирования.

3. Получены результаты экспериментальных и клинических исследований, подтверждающие эффективность предложенных решений для расширения диапазона рабочих нагрузок травматологических и хирургических УЗМА .

4. Электрофизические модели и схемные решения, разработанные в диссертационной работе, используются в учебном курсе «Ультразвуковая обработка материалов» для студентов специальности 22.03.01 «Материаловедение и технология материалов» в ФГБОУ ВПО Омский государственный технический университет.

Личный вклад автора

Основные научные теоретические и экспериментальные исследования, макетирование выполнены автором самостоятельно либо при его непосредственном участии.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

1. Математическая модель пьезокерамического ультразвукового излучателя с дополнительными элементами, обеспечивающими повышение его нагрузочной способности.

2. Зависимость «акустической эффективности» акустической системы от соотношения параметров дополнительной индуктивности и собственной емкости пьезоматериала излучателя.

3. Методика рационального выбора величины дополнительной индуктивности для уменьшения уровня снижения акустической эффективности излучателя, за счет образования колебательного контура с резонансной частотой соответствующей второй гармонике частоты акустического резонанса излучателя.

4. Метод компенсации влияния собственной емкости пьезокерамического излучателя на фазовые соотношения тока и напряжения возбуждения в рабочих режимах, обеспечивающий возможность использования еще трех вариантов включения излучателя, наиболее рациональных для разных диапазонов изменения нагрузки

Апробация работы

Основные результаты проведенных исследований докладывались и обсуждались на следующих конференциях:

- IV Всероссийской научно – технической конференции «Россия молодая: передовые технологии – в промышленность!». – Омск, 2011 г.
- V Всероссийской научно – технической конференции «Россия молодая: передовые технологии – в промышленность!». – Омск, 2013 г.
- II Всероссийской конференции «Теория и практика Успеха». – Омск, 2014 г.
- VI Троицкая конференция «Медицинская физика и инновации в медицине». – г. Троицк, г. Москва, 2014 г.
- Международная научно-практическая конференция «World&Science» («Svět a věda» «Мир и наука»). - г. Брно, Чехия, 2014 г.

Публикации

Результаты выполненных исследований отражены в 12 печатных работах, в том числе в 2 изданиях, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки РФ, в 1 патенте на изобретение, в 1 патенте на полезную модель.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложения. Общий объем страниц - 120, в том числе рисунков - 52, таблиц - 6, библиография содержит 95 наименований, приложений 2.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении раскрыты сущность и актуальность рассматриваемых научно-технических проблем, изложена структура работы, научная новизна и практическая ценность полученных результатов.

Первая глава диссертации посвящена анализу состояния, биофизическим основам и возможностям применения ультразвука в травматологии и хирургии. Показано, что основа применения ультразвука связана с разными видами как механических, так и биологических форм воздействия ультразвуковых колебаний на биоткани. В соответствии с приведенными в главе данными, доступных ультразвуковых медицинских аппаратов для травматологии и хирургии совсем немного. Это серийно выпускаемые ультразвуковые аппараты зарубежных фирм, такие как, «Sonoca185» (Söring), SurguStar и им подобные, а также аппараты отечественного производства УРСК-7Н-22 (г. Ульяновск), и «Ярус», выпускаемый в Омске. Сформулированы задачи, решение которых в процессе травматологических и хирургических операций, при условии работы с ультразвуковыми аппаратами выводит технологию хирургических и травматолого-ортопедических операций на качественно новый уровень, поэтому практическое внедрение методов обработки костной ткани с использованием низкочастотного ультразвука при производстве операций является современной и актуальной задачей.

Показано, что даже для лучших из имеющихся на рынке ультразвуковых медицинских аппаратов возникают ситуации, когда некоторые технологические задачи оказываются невыполнимы вследствие недостаточной мощности аппарата и недостаточной устойчивости работы под нагрузкой. Особенно это проявляется при работе на больших поверхностях, либо при работе развитой поверхностью рабочего волновода-инструмента на значительных глубинах его погружения, либо при значительных усилиях прижима в операционной зоне.

Вторая глава посвящена теоретико-экспериментальным исследованиям характеристик акустических систем ультразвуковых медицинских аппаратов при работе на широкодиапазонную нагрузку.

Эффективность ультразвукового воздействия определяется стабильностью поддержания амплитуды колебаний рабочего окончания волновода-инструмента ультразвукового пьезокерамического излучателя, при различных изменениях условий его взаимодействия с технологической средой. Эти изменения

отражаются на эквивалентной нагрузке ультразвукового излучателя. Естественно при этом желание разработчика, по возможности, достичь максимальной для данной конструкции нагрузочной способности излучателя, поскольку этот параметр позволяет существенно расширить технологические возможности используемого ультразвукового оборудования. Возможности эти иногда оказываются крайне ограниченными. Для оценки причин возникающих проблем применения УЗМА при работе на повышенных мощностях и значительных нагрузках проведен анализ основных частотных и нагрузочных характеристик, используемых в подобного рода аппаратах, ультразвуковых пьезокерамических излучателей продольного типа.

Поскольку в большинстве случаев практического применения ультразвуковые пьезокерамические преобразователи используются на частотах, близких к резонансной, то при использовании их в качестве акустического излучателя, его упрощенная эквивалентная схема будет выглядеть так, как показано на рис.1,а.

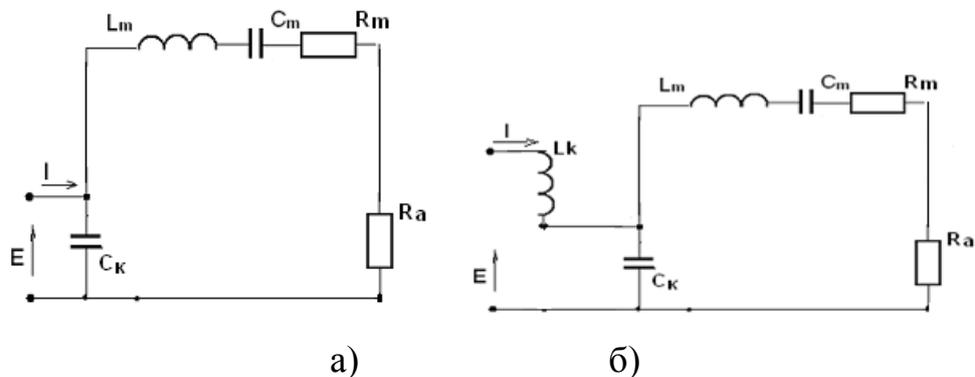


Рисунок 1 - Эквивалентные схемы: а - математической модели электроакустического тракта УЗМА с пьезоизлучателем продольного типа; б - расчетной математической модели излучателя с дополнительной индуктивностью

Показано, что увеличение активной нагрузки приводит к снижению добротности акустической системы с постепенным вырождением резонансных свойств и при определенной величине нагрузки (рис.2), даже теоретически фазовое регулирование частоты становится невозможным.

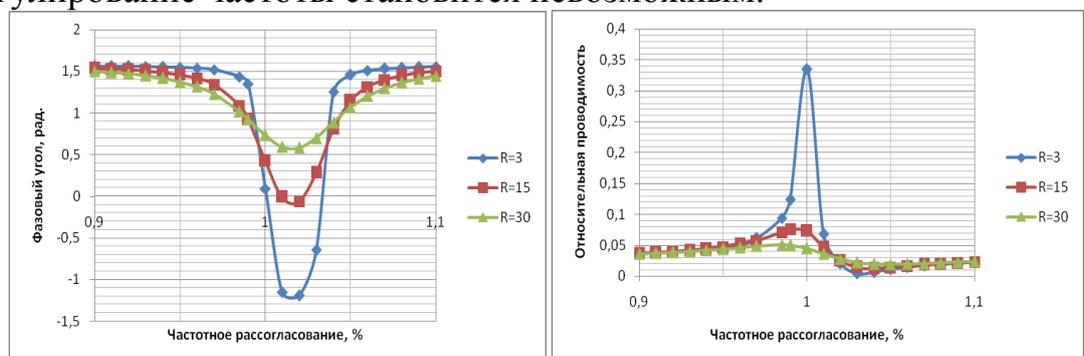


Рисунок 2 - Частотно–фазовые характеристики при различных значениях относительного сопротивления активной нагрузки при $C_k=0,03$

Подтверждена несимметричность фазо-частотных характеристик пьезокерамического излучателя относительно резонансной частоты, связанная с наличием собственной емкости пьезоматериала излучателя и формирующая критическую точку повторной смены типа проводимости у излучателя, существенно снижающая устойчивость систем фазового управления частотой излучателя.

Установлено, что введение дополнительной индуктивности L_k приводит к пропорциональному уменьшению влияния нагрузки R на колебательные свойства излучателя за счет увеличения его эффективной полной проводимости Y . Схема расчетной математической модели для рассматриваемого случая приведена на рис.1,б. Для данной схемы определены полная проводимость и фазовый угол, соответственно (1) и (2).

$$y = \sqrt{\left(\frac{\omega L_k \left[\omega C_k - \frac{\omega C_m (\omega^2 L_m C_{m-1})}{\omega^2 C_m^2 R_m^2 + (\omega^2 L_m C_{m-1})^2} \right] + \frac{\omega^2 C_m^2 R_m}{\omega^2 C_m^2 R_m^2 + (\omega^2 L_m C_{m-1})^2}}{\omega^2 L_k^2 + 1} \right)^2 + \left(\frac{\omega L_k \left[\frac{\omega^2 C_m^2 R_m}{\omega^2 C_m^2 R_m^2 + (\omega^2 L_m C_{m-1})^2} \right] - \left[\omega C_k - \frac{\omega C_m (\omega^2 L_m C_{m-1})}{\omega^2 C_m^2 R_m^2 + (\omega^2 L_m C_{m-1})^2} \right]}{\omega^2 L_k^2 + 1} \right)^2} \quad (1)$$

и

$$\varphi = \text{Arctg} \frac{b_\Sigma}{g_\Sigma} = \text{Arctg} \frac{\omega L_k \left[\frac{\omega^2 C_m^2 R_m}{\omega^2 C_m^2 R_m^2 + (\omega^2 L_m C_{m-1})^2} \right] - \left[\omega C_k - \frac{\omega C_m (\omega^2 L_m C_{m-1})}{\omega^2 C_m^2 R_m^2 + (\omega^2 L_m C_{m-1})^2} \right]}{\omega L_k \left[\omega C_k - \frac{\omega C_m (\omega^2 L_m C_{m-1})}{\omega^2 C_m^2 R_m^2 + (\omega^2 L_m C_{m-1})^2} \right] + \frac{\omega^2 C_m^2 R_m}{\omega^2 C_m^2 R_m^2 + (\omega^2 L_m C_{m-1})^2}} \quad (2)$$

Кроме того, помимо увеличения полной проводимости излучателя, введение L_k приводит к частотному сдвигу резонансной частоты системы в целом в сторону электрического резонанса, что, в свою очередь, приводит к снижению амплитуды колебаний рабочего торца ультразвукового пьезокерамического излучателя продольного типа (при постоянстве возбуждающего напряжения), что объясняется возникающей разницей между частотами механического (при $L_k = 0$) и электрического (при $L_k \neq 0$) резонансов акустической системы в целом (рис.3).

Сделан вывод о том, что дополнительная индуктивность повышает нагрузочную способность акустической системы, но снижает ее «акустическую эффективность», то есть рост проводимости, а соответственно, и рост тока через излучатель опережают рост амплитуды колебаний рабочего торца, но при правильно выбранном значении дополнительной индуктивности (рис.4), которая вместе с собственной емкостью пьезоматериала излучателя образует контур с частотой резонанса, соответствующей второй гармонике частоты акустического

резонанса излучателя, можно существенно уменьшить величину снижения его «акустической эффективности».

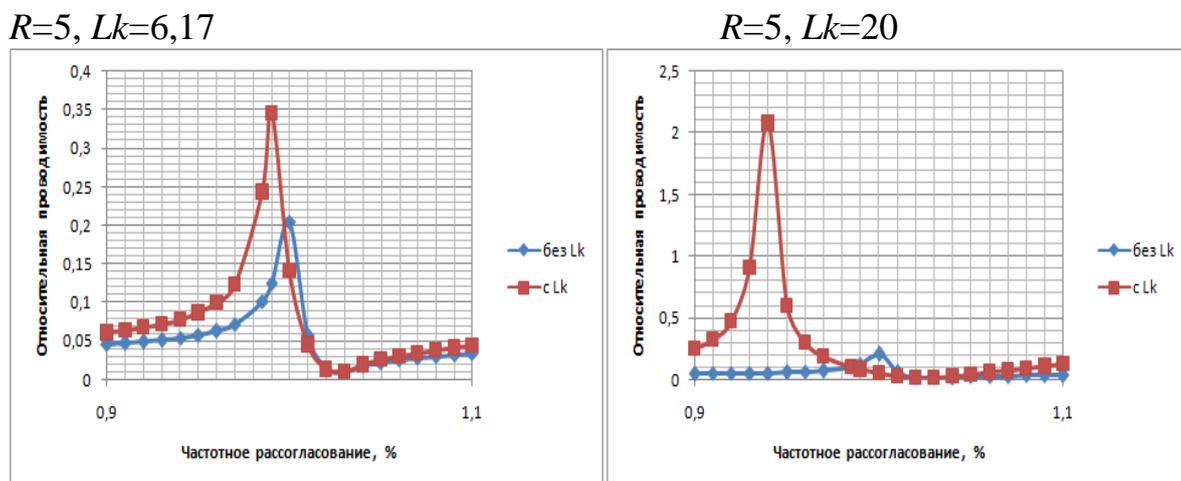


Рисунок 3 - Частотные характеристики ультразвукового пьезокерамического излучателя продольного типа при разных параметрах дополнительной индуктивности L_k и при разных значениях нагрузки

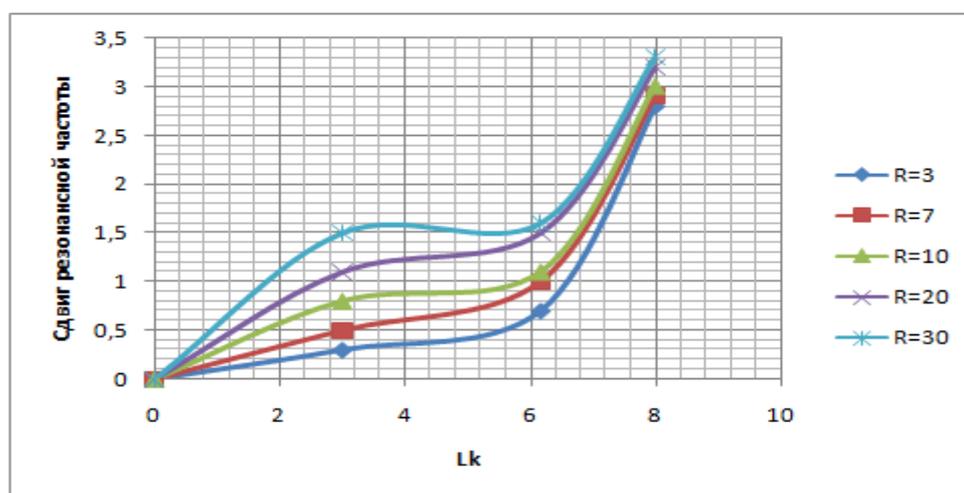


Рисунок 4 - Зависимость сдвига резонансной частоты от значения L_k

Разработано и предложено устройство, обеспечивающее компенсацию влияния собственной емкости пьезокерамического излучателя на фазовые соотношения тока и напряжения возбуждения в рабочих режимах (рис.5). Суть предложенного заключается в обеспечении разделения акустического и электрического резонансов излучателя, с последующим использованием эффектов, как одного, так и другого (рис.6).

Вариант подключения излучателя к генератору, использующий предложенный принцип за счет дополнительного компенсирующего конденсатора, показан на рис.5,а.

Как видно из схемы, полный ток генератора $I_{\text{общ}}$ делится на три составляющих: I_a - акустическая составляющая входного тока, I_3 - электрическая составляющая, определяемая собственной емкостью пьезоматериала излучателя и I_c - электрическая составляющая, определяемая величиной дополнительного компенсирующего конденсатора C .

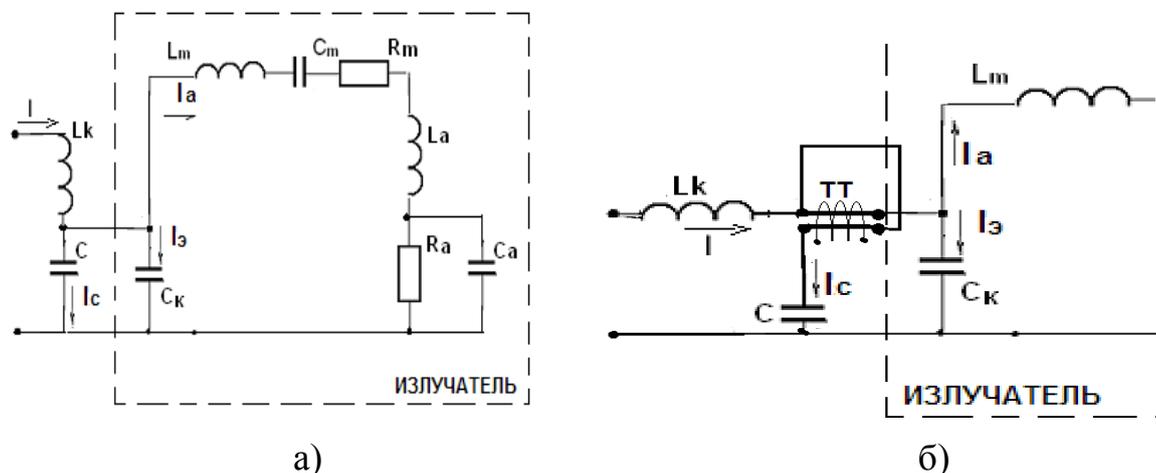


Рисунок 5 -Схемы: а - подключения излучателя; б - включения токового трансформатора

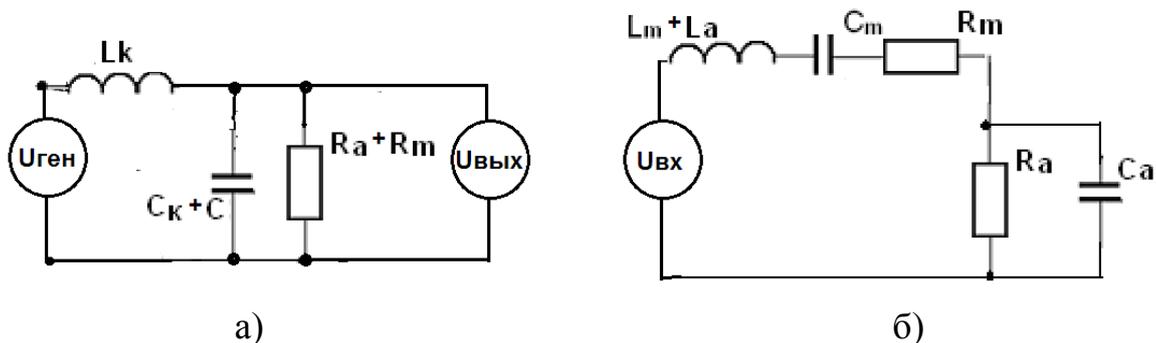


Рисунок 6 - Разбиение эквивалентной схемы излучателя на независимые участки

Такое схемное решение позволяет в дальнейшем рассматривать эквивалентную схему подключенного подобным образом излучателя к генератору в виде двух, практически независимых участков, где выходное напряжение первого, является входным для второго, как показано на рис.6. Первый участок (рис. 6, а) представляет собой фактически схему «подкачки» напряжения (рис.7), подаваемого на излучатель при увеличении технологической нагрузки. Второй же участок (рис. 6, б) это несколько упрощенная эквивалентная схема пьезокерамического излучателя продольного типа.

С учетом предложенного технического решения, появляется возможность использовать еще, как минимум, три варианта включения излучателя, что позволяет получить максимально простую и надежную систему фазовой автоподстройки частоты с устойчивым и широким частотным диапазоном

регулирования (рис.8), а также возможность увеличения нагрузочной способности излучателя при определенном (возможностями применения L_k оптимальной величины), но не критичном для выполнения требований технологического процесса, частотном рассогласовании излучателя.

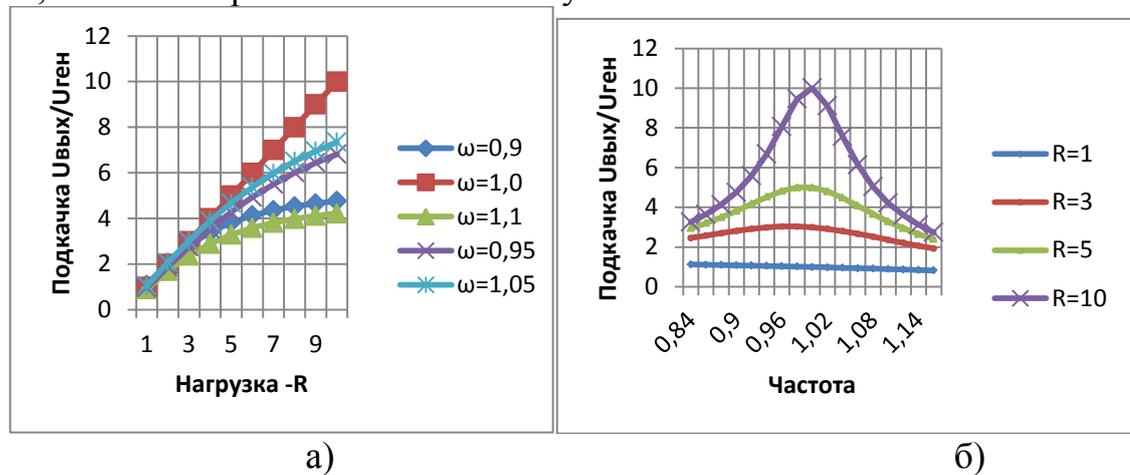


Рисунок 7 - Изменение уровня «подкачки» напряжения возбуждения излучателя: а - в зависимости от нагрузки, при различных уровнях частотного рассогласования; б - частотные характеристики контура «подкачки» при разных нагрузках

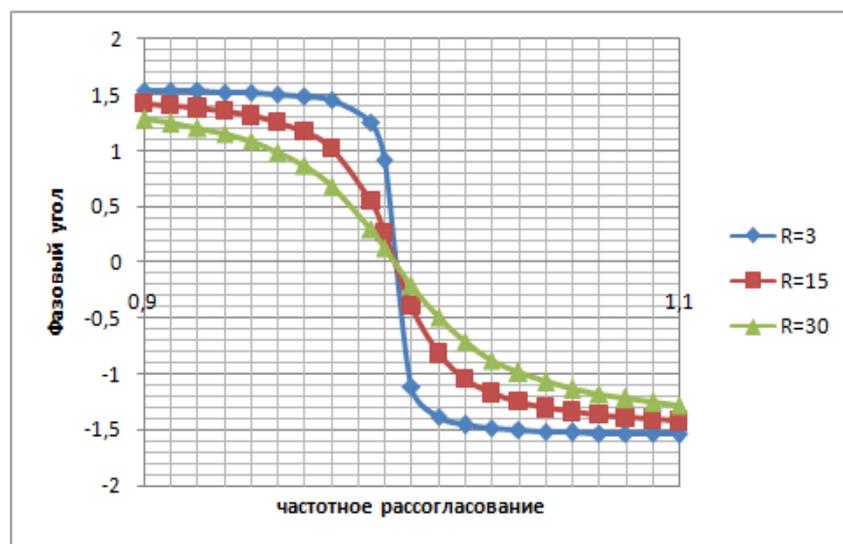


Рисунок 8 - Фазовые характеристики пьезоизлучателя при предложенном способе подключения

В третьей главе на основании результатов исследований и предложенных новых решений по фазо-частотному управлению, изложенных во второй главе, разработаны новые схемные решения для генератора в целом и для систем фазовой автоподстройки частоты.

Предложены, разработаны и исследованы три варианта ультразвуковых генераторов для резонансных нагрузок (рис.9 - 10). Они максимально просты по

исполнению, используют самую современную элементную базу, что в сочетании обеспечивает высокую надежность их работы. Кроме того, использование предложенной системы фазовой автоподстройки частоты за счет прямого преобразования фазового сдвига в частотное изменение позволяет минимизировать длительность переходных процессов с одной стороны и обеспечить повышенный диапазон удержания резонансного режима при воздействии различных дестабилизирующих факторов. В зависимости от варианта исполнения они предназначены соответственно для малых, средних и больших нагрузок, то есть в целом обеспечивают требуемую широкодиапазонность по нагрузке.

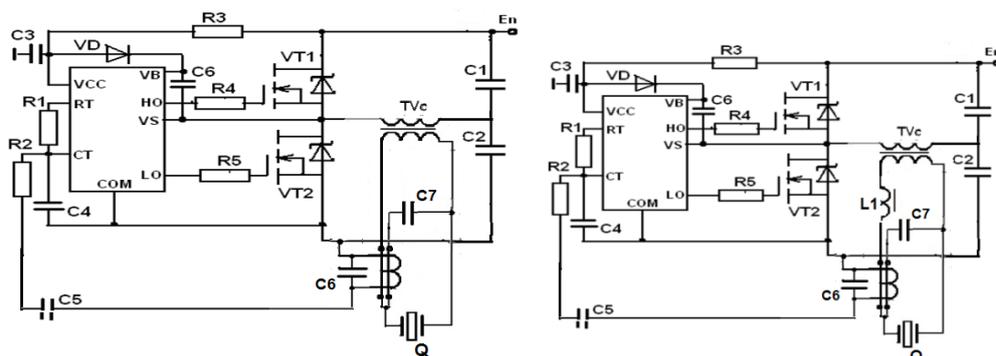


Рисунок 9- Ультразвуковые генераторы с независимым возбуждением и модернизированной системой ФАПЧ

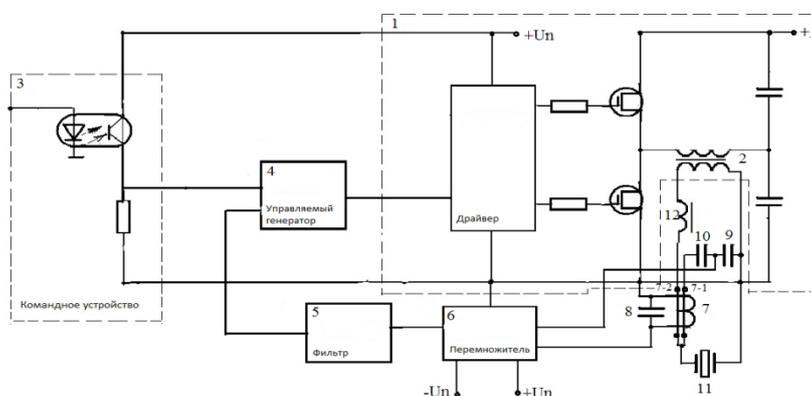


Рисунок 10 - Ультразвуковой генератор с независимым возбуждением и новой системой ФАПЧ

Показано, что применение предлагаемой системы АПЧ позволяет адаптировать работу генератора к условиям изменяющейся добротности резонансной нагрузки и постоянно поддерживать режим механического резонанса используемых в качестве нагрузки акустических систем, а использование части выходного напряжения на излучателе в качестве одного из сравниваемых по фазе (рис.10), обеспечивает возможность широкого использования дополнительного

высокочастотного дросселя для компенсации влияния нагрузки на резонансные режимы работы излучателя.

Так как одной из задач работы является сохранение и повышение мощности при значительных технологических нагрузках, было показано, что полумост эффективен для УЗМА небольшой мощности. Поэтому в качестве базовой была выбрана схема мостового инвертора с управлением от двух полумостовых драйверов и независимого задающего генератора, причем пуск осуществлен путем разрешения-запрета уже сформированных импульсов задающего генератора на соответствующие входы полумостовых драйверов (рис.11).

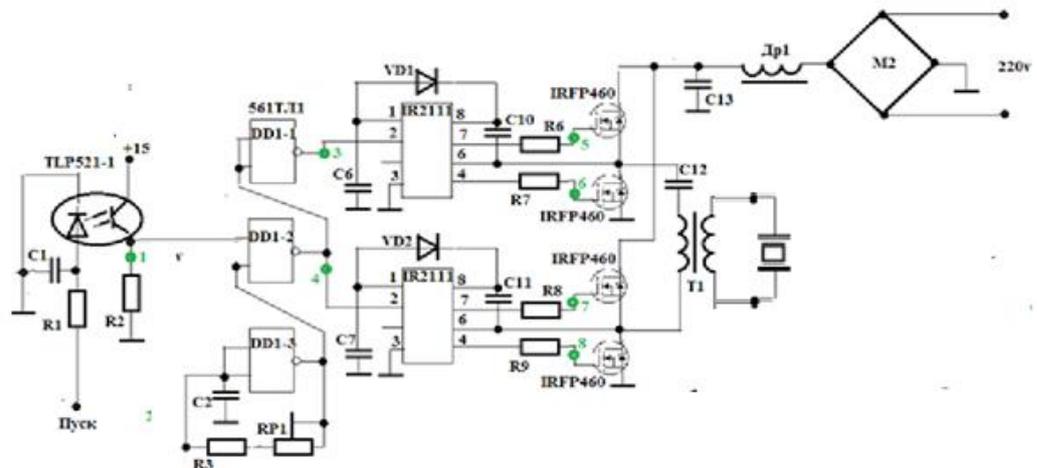


Рисунок 11- Базовая схема мостового инвертора

Работа УЗ генератора на резко переменную нагрузку, которая является типовой при использовании пьезокерамического излучателя, требует надежной системы защиты силовых полупроводниковых элементов в случае возникновения аварийных ситуаций. Для мощных УЗ генераторов, предназначенных для работы на значительную или очень развитую рабочую поверхность, предложена система защиты, обеспечивающая, с одной стороны, исключение пиковых токов заряда фильтрового конденсатора силового выпрямителя, а с другой стороны, препятствующая развитию аварийного процесса при пробое силовых транзисторов генератора (рис. 12).

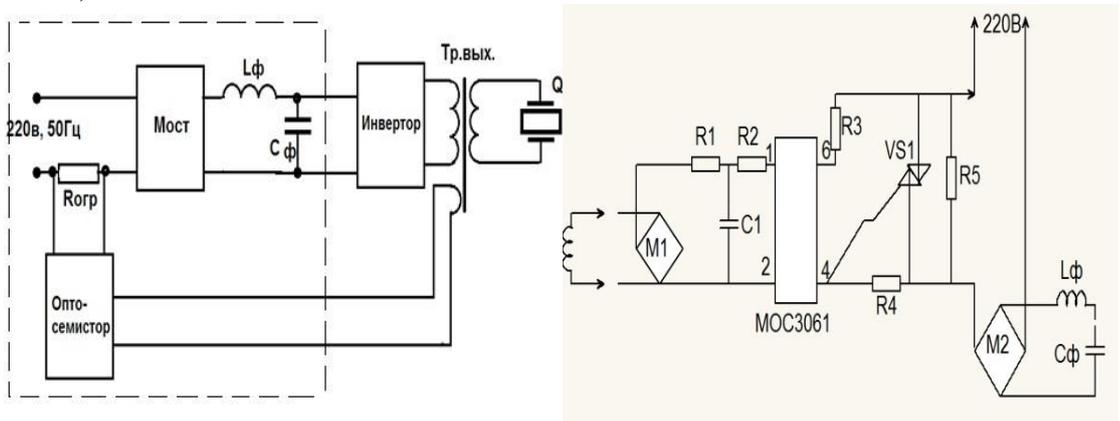


Рисунок12 - Система пуска и защиты

Для расширения функциональных возможностей аппарата были дополнительно разработаны новые типы волноводов - инструментов: типа «тройная елочка» (рис. 13), «диафизарный ультразвуковой волновод-шуруп для аппарата Илизарова».



Рисунок 13 - Волновод – инструмент типа «тройная елочка» и диафизарный ультразвуковой волновод-шуруп для аппарата Илизарова

В четвертой главе приведены результаты экспериментальных исследований по применению модернизированного УЗМА с расширенным диапазоном изменения нагрузки.



Рисунок 14 - Ультразвуковой модернизированный медицинский аппарат «Ярус-М»

В результате проведенных экспериментально-клинических исследований установлено, что повышенная нагрузочная способность, обеспечивающая широкодиапазонность хирургического ультразвукового аппарата по нагрузке:

- позволяет повысить эффективность использования стандартных волноводов–инструментов в ставших уже типовыми травматологических операциях;
- облегчает удаление старого костного цемента при ревизионном эндопротезировании крупных суставов, сокращает продолжительность и тяжесть операции.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ И ВЫВОДЫ

1. Проведен анализ основных проблем УЗ аппаратов для травматологии и хирургии в клинических условиях. Установлено, что для расширения области применения и эффективности работы они требуют повышения выходной мощности и повышения нагрузочной способности.

2. Предложена и исследована математическая модель пьезокерамического ультразвукового излучателя с дополнительными элементами, обеспечивающими повышение его нагрузочной способности.

3. Показана эффективность использования дополнительной индуктивности в контуре питания УЗ излучателя при повышенных значениях нагрузки лишь при условии удержания излучателя на частоте акустического резонанса. Установлено, что дополнительная индуктивность повышает нагрузочную способность акустической системы, но снижает ее «акустическую эффективность», то есть рост проводимости, а соответственно, и рост тока через излучатель опережают рост амплитуды колебаний рабочего торца излучателя.

4. Предложена методика рационального выбора величины дополнительной индуктивности для уменьшения уровня снижения акустической эффективности излучателя, заключающаяся в том, что дополнительная индуктивность выбирается так, чтобы вместе с собственной емкостью пьезоматериала излучателя они образовывали колебательный контур с резонансной частотой соответствующей второй гармонике частоты акустического резонанса излучателя.

5. Разработано и предложено устройство обеспечивающее компенсацию влияния собственной емкости пьезокерамического излучателя на фазовые соотношения тока и напряжения возбуждения в рабочих режимах. Показано, что предложенное техническое решение обеспечивает возможность использования еще трех вариантов включения излучателя, наиболее рациональных для разных диапазонов изменения нагрузки, что позволяет использовать максимально простые и надежные системы фазовой автоподстройки частоты, с устойчивым и широким частотным диапазоном регулирования, а также обеспечивает возможность увеличения нагрузочной способности излучателя.

6. Предложены новые схемные решения УЗ аппаратов для травматологии и хирургии, обеспечивающие повышенную нагрузочную способность, надежность и расширение функциональных возможностей.

7. Разработаны новые ультразвуковые волноводы – инструменты, - (тройная елочка, диафизарный волновод-шуруп) расширяющие технологические и функциональные возможности УЗМА и используемые на различных этапах эндопротезирования.

8. Получены результаты экспериментальных и клинических исследований, подтверждающие эффективность предложенных решений для расширения диапазона рабочих нагрузок травматологических и хирургических УЗМА.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

1. **Лебедева Д.А.** Оценка применимости низкочастотного ультразвука для удаления ацетобулярного компонента эндопротеза / Новиков А.А., Лебедева Д.А., Хазанов М.А. // Омский научный вестник. Серия Приборы, машины и технологии. - 2012. - № 1 (107). - С. 262 – 265.
2. **Лебедева Д.А.** Разработка нового ультразвукового волновода – инструмента для ревизионного эндопротезирования / Д. А. Лебедева, А. А. Новиков, Д. А. Негров // Омский научный вестник. Серия Приборы, машины и технологии. - 2014. - № 2 (130). - С. 197 – 199.
3. Патент РФ на изобретение № RU 2510919, Заявка: 2012152570, 06.12.2012; Опубликовано: 10.04.2014. Транзисторный генератор для резонансных нагрузок. // Новиков А.А., Шустер Я.Б., Хазанов М.А., Лебедева Д.А
4. Патент на полезную модель № RU 143507, Заявка: 2014109497/14, 12.03,2014; Опубликовано: 27,07,2014. Стержень – шуруп для аппарата внешней фиксации. // Рожков К.Ю., Резник Л.Б., Новиков А.А., Лебедева Д.А
5. **Лебедева Д.А.** Новый способ повышения нагрузочной способности ультразвуковых пьезокерамических излучателей / Новиков А.А., Лебедева Д.А. // World&Science : (May 1th 2014) – Brno (Czech Republic). - С. 216 -223.
6. **Лебедева Д.А.** Определение эффективности использования ультразвука для резания двух типов используемых в протезировании пластмасс (ПМА, высокопрочный полиэтилен) / Новиков А.А., Лебедева Д.А. // Россия молодая: передовые технологии – в промышленность: Материалы IV Всероссийской молодежной научно – технической конференции с международным участием, 15-17 ноября 2011 г.: в 2 кн. – Омск: Изд - во ОмГТУ, 2011. – С. 204–208.
7. **Лебедева Д.А.** Определение эффективности использования ультразвука для резания высокопрочного полиэтилена используемого в протезировании / Лебедева Д.А., Новиков А.А. // Современные технологии и управление в энергетике и промышленности : сб. науч. тр. / [отв. ред. В.Н. Горюнов]. – Омск : Изд – во ОмГТУ, 2012. – С. 195 -198.
8. **Лебедева Д.А.** Интенсификация резания полимеров энергией ультразвуковых колебаний / Лебедева Д.А., Новиков А.А., Андреева С.А. // Современные проблемы машиностроения: сборник научных трудов VII Международной научно-технической конференции / под ред. А.Ю. Арляпова, А.Б. Кима; Томский политехнический университет. – Томск: изд-во Томского политехнического университета, 2013. С. 338 – 342.
9. **Лебедева Д.А.** Расширение применения низкочастотного ультразвука в травматологии / Лебедева Д.А., Новиков А.А. // Россия молодая: передовые технологии – в промышленность! : Материалы V Всероссий. науч. – техн. конф. с междунар. Участием (Омск, 12-14 нояб. 2013 г.) : в 3 кн. / [отв. Ред. А.В. Косых]. – Омск : Изд – во ОмГТУ, 2013. С. 223 – 226.

10. **Лебедева Д.А.** Определение эффективности использования ультразвука для резания пластмасс и контроль качества поверхности / Лебедева Д.А., Новиков А.А. // Ресурсоэффективные системы в управлении и контроле: взгляд в будущее: сборник научных трудов II Международной конференции школьников, студентов, аспирантов, молодых ученых «Ресурсоэффективные системы в управлении и контроле: взгляд в будущее» в 4 т. Т.1/Томский политехнический университет. – Томск: изд-во Томского политехнического университета, 2013. С. 121 - 124.

11. **Лебедева Д.А.** Интенсификация резания пластмасс ультразвуковой энергией / Лебедева Д.А., Новиков А.А. // Технологическое обеспечение машиностроительных производств : сборник научных трудов I международной заочной научно – технической конференции / под ред. В.И. Гузеева и А.А. Дьяконова. – Челябинск : Издательский центр ЮУрГУ, 2014. - С. 428 – 432.

12. **Лебедева Д.А.** Модернизация ультразвукового медицинского аппарата «Ярус» для травматологии и хирургии / Лебедева Д.А., Новиков А.А. // VI Троицкая конференция «Медицинская физика и инновации в медицине» (ТКМФ – 6), 2 – 6 июня 2014г. – Троицк, Москва, 2014. - С. 8 - 10