

М 497498

Московский ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени Государственный
технический университет им. Н.Э. Баумана

На правах рукописи

УДК 620.179.16

ГУСАРОВ Вадим Реджинальдович

РАЗРАБОТКА НОВОГО МЕТОДА РАСЧЕТА АКУСТИЧЕСКОГО
ТРАКТА С ЦЕЛЮ ПОВЫШЕНИЯ ИНФОРМАТИВНОСТИ
УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ

Специальность 05.02.11 - Методы контроля и
диагностики в машиностроении

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва, 1990

Работа выполнена в Московском Государственном ордена
Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Крас-
ного Знамени Техническом университете имени Н.Э.Баумана и
Всесоюзном научно-исследовательском институте по разработке
методов и средств неразрушающего контроля.

Научный руководитель - доктор технических наук,
профессор Алешин Н.П.

Официальные оппоненты - доктор технических наук
Вопилкин А.Х.
кандидат технических наук
Григорьев М.В.

Ведущее предприятие - Центральный научно-исследователь-
ский институт технологии машино-
строения

Защита диссертации состоится "23" ноября 1990г. на
заседании специализированного совета К 053.15.01 Московского
Государственного технического университета им.Н.Э.Баумана по
адресу: 107005, г.Москва, 2-я Бауманская ул.5.

Вопрос

выслать по ука-

библиотеке МГТУ.

ны заблаговременно
организаций на имя

23 1990 г.

РЯБОВ В.Т.

п. к печати 25.11.90г.
ая, 5

М497498

Актуальность проблемы. Постоянно возрастающие требования к качеству и надежности продукции, производимой в стране, порождают необходимость разработки адекватных методов и средств контроля, позволяющих получить информацию о наличии, положении, конфигурации, ориентации и физических свойствах дефектов. Эта информация в совокупности с нормами допустимых дефектов в конкретной продукции позволяет сделать вывод о ее пригодности. В том или ином объеме такая информация может быть извлечена из совокупности параметров ультразвуковых полей, рассеянных на дефектах и фиксируемых в процессе контроля как его результат. Объем и достоверность информации о дефекте, извлекаемой из результатов контроля, кроме прочих факторов, определяются тем, насколько полно и точно известна связь параметров и характеристик дефекта с совокупностью измеренных параметров рассеянных на нем акустических полей, то есть точностью и полнотой теоретических представлений об акустическом тракте.

Таким образом, разработка более точного по сравнению с существующими методами расчета акустического тракта, основанного на твердотельном приближении и могущего стать основой дальнейшего повышения информативности и достоверности ультразвукового контроля, является актуальной и перспективной. Вследствие высокого уровня развития вычислительной техники в последние годы этот метод может иметь форму пакета программ, реализующих математическую модель акустического тракта на персональных ЭВМ, доступных широкому кругу пользователей.

Цель работы и основные задачи исследования. Целью работы является разработка нового метода расчета акустического тракта и повышение на его основе информативности ультразвукового контроля.

Поставленная цель достигается:

— разработкой метода вычисления на ЭВМ полей излучения и приема ультразвуковых контактных преобразователей в твер-



дом полупространстве;

- созданием эффективного метода решения на ЭВМ задачи рассеяния продольных и поперечных волн, излучаемых контактными преобразователями, на дефектах произвольной формы с произвольными физическими свойствами;

- составлением и отладкой пакета прикладных программ, реализующих метод расчета акустического тракта на ЭВМ не большой мощности;

- разработкой нового метода и критерия оценки тонкой структуры дефектов, базирующихся на созданном методе расчета акустического тракта в твердом полупространстве.

Научная новизна полученных результатов заключается в следующем:

- разработан эффективный универсальный асимптотический метод вычисления полей излучения и приема контактных преобразователей (и систем преобразователей) в твердом полупространстве;

- предложен метод вынесения источников решения плоских и пространственных задач для уравнивания установившихся колебаний жидкостей и твердых тел;

- впервые метод вынесения источников применен к решению плоских и пространственных задач дифракции на телах произвольной формы с граничными условиями любого типа;

Практическая ценность. Пакет программ, реализующий разработанный метод расчета акустического тракта на ЭВМ небольшой мощности, внедрен в течение 1989 года в БелЦСМ, НПО "Дальстандарт", НПО ЦНИИТМаш, НПО "Энергия", где используется с целью оптимизации структуры и элементов метрологического обеспечения СНК, отработки методик контроля изделий. Ожидаемый годовой экономический эффект от применения пакета составляет не менее 110 тыс.руб.

На базе разработанного метода расчета акустического тракта предложен метод восстановления характеристик дефектов и критерий оценки их конфигурации, ориентации, и раз-

меров.

Апробация. Основные результаты работы докладывались и обсуждались на Международной конференции "ДЕФЕКТОСКОПИЯ-89" (Пловдив, октябрь, 1989 г.), на Всесоюзной научно-технической конференции по акустоэлектронике и физике твердого тела (Киев, июнь, 1989 г.), на научных семинарах кафедры "Машины и автоматизация сварочных процессов" МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 9 работ.

Методы исследования. Решение поставленных в диссертации задач осуществлялось путем анализа трехмерных уравнений динамики твердого тела. Проверка объективности полученных результатов осуществлялась экспериментально и путем сопоставления с более точными решениями.

Объем работы. Диссертационная работа изложена на 187 страницах машинописного текста, иллюстрируется рисунками, состоит из введения, трех глав, общих выводов, списка литературы из 156 наименований, приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе дан обзор литературы, краткий анализ существующих методов расчета акустического тракта и его элементов, а также их связь с информативными возможностями ультразвукового неразрушающего контроля. Осуществлена постановка задач исследований.

Теоретический фундамент ультразвуковых методов неразрушающего контроля, применяемых сегодня, создан трудами Гурвича А.К., Ермолова И.Н., Алешина Н.П., Шрайбера Д.С., Гребенника В.С., Щербожского В.Г., Дианова Д.Б., Воилюкина А.Х., Викторова И.А. и других.

В настоящее время существуют два подхода к расчету акустического тракта, основывающиеся на скалярном и твердотельном приближениях.

Суть жидкостного приближения состоит в замене реального твердого тела гипотетическим, состоящим из идеальной

или слабо вязкой жидкости, скорость распространения звука в которой совпадает со скоростью распространения рассматриваемого типа волн в твердом теле.

Метод обеспечивает достаточную точность (20%) при вычислении максимумов эхо-сигналов от моделей дефектов в широком диапазоне глубин их залегания, геометрических размеров, частот озвучивания и скоростей распространения ультразвуковых колебаний. Он лег в основу методов определения условных размеров дефектов по их отражающей способности. В других методах используют известные зависимости формул акустических трактов для моделей дефектов от частоты. Представление Кирхгофа позволяет говорить о собственной направленности дефекта, как вторичного источника, поэтому в ряде методов в качестве информативных параметров используют модуль функции обнаружения дефекта. На измерении функций обнаружения основана и акустическая голография.

Таким образом, на основе жидкостного приближения удалось достичь значительных успехов в развитии теоретических представлений об акустическом тракте и обеспечить на его основе относительно высокую информативность методик контроля, предлагаемых практике. Однако точностные и информативные возможности жидкостной модели ограничены. Она не принимает во внимание существование поперечных волн и возможности взаимной трансформации продольных и поперечных волн. Жидкостная модель не учитывает дифракционных эффектов на границе излучения и приема призматических преобразователей. Ее возможности принципиально ограничены при описании процессов рассеяния волн различных типов на полостях и включениях в твердом материале.

Суть твердотельного приближения состоит в использовании в качестве отправного момента при расчете акустического тракта модели изотропной однородной линейно-упругой среды, подчиняющейся пространственному закону Гука.

Для расчета полей излучения преобразователей, использующих продольные волны в твердом теле, применяется по сути

жидкостное приближение. При этом вместо давления рассматривают действующую компоненту тензора напряжений, а направленность точечного источника, расположенного на поверхности контакта, считается равной Γ вне зависимости от направления на точку наблюдения (в пределах углов $0-60^\circ$).

Особенность акустического поля наклонного преобразователя состоит в том, что у.з.к. излучаются в материал призмы, а затем, испытав преломление на границе, попадают в контролируемое изделие. Поле в дальней зоне преобразователя образуется так, как если бы лучи диаграммы направленности возникали уже в призме и затем преломлялись на границе призмы с изделием. Более простой способ расчета поля излучения наклонного преобразователя получается при замене действительного источника звука мнимым. В других схемах расчета используют тот факт, что расстояние от пьезоэлемента до преломляющей поверхности, как правило, не превосходит половины протяженности ближней зоны в призме. Это позволяет описать поле внутри призмы плоской волной, мнимый источник разместить на преломляющей поверхности.

Поле приема призматических преобразователей, по аналогии с жидкостным приближением, считают пропорциональным полю излучения.

Общим недостатком рассмотренных методов является невозможность применения их в случае, когда пьезоэлемент не имеет правильной геометрической формы или нагрузка вдоль его поверхности распределена неравномерно. Другим недостатком перечисленных методов является невозможность с их помощью получать приемлемые расчеты поля вблизи преломляющей поверхности. Однако наиболее существенным недостатком таких подходов является прямой перенос определения поля приема, данного для случая жидкостной модели, на твердотельную модель, поскольку наличие в упругой среде нескольких типов точечных источников, существенно различающихся по своим свойствам, приводит к его неоднозначности.

Для решения задачи дифракции в твердом теле применяют как точные, так и приближенные методы. Среди приближенных методов наиболее распространены приближение Кирхгофа и лучевое приближение (геометрическая теория дифракции). Допущения, используемые приближением Кирхгофа, в случае твердого тела не отличаются от соответствующих допущений жидкостной модели.

Среди точных методов решения задачи рассеяния наиболее эффективны метод разделения переменных, метод передаточных матриц, метод интегральных уравнений и метод конечных разностей. Задача точного расчета поля, рассеянного на теле произвольной формы формулируется следующим образом. На тело (или тела) падает волна, характеризуемая вектором смещений и тензором напряжений. В результате взаимодействия этой волны с телом возникает новое поле, равное сумме падающего и рассеянного. Требуется построить рассеянное поле так, чтобы оно удовлетворяло уравнению колебаний изотропного линейно-упругого материала и, совместно с падающей волной, граничному условию на рассеивающей поверхности.

При решении задачи рассеяния по методу разделения переменных рассеянная волна отыскивается в виде рядов собственных функций основного уравнения. Это ограничивает круг задач, для которых он применим к рассеянию на цилиндрах, сферах, эллиптических цилиндрах.

Метод передаточных матриц является обобщением метода разделения переменных на случай тел произвольной формы. Элементы передаточной матрицы получаются обращением основной матрицы системы, имеющей бесконечную размерность, поэтому в процессе обращения основную матрицу всегда приходится усекавать. Другим недостатком этого метода является большой объем вычислений, необходимый для получения коэффициентов основной матрицы.

Одним из наиболее общих подходов к решению задачи рассеяния является метод интегральных уравнений. Вся поверхность рассеивающего тела покрывают вторичными источниками

типа сосредоточенной силы, непрерывно распределенными на ней. Полное поле рассеянной волны вычисляют как сумму полей вторичных источников, интенсивность которых в каждой точке поверхности определяется произвольной векторной функцией. Подстановка такого представления рассеянной волны в граничные условия дает систему сингулярных интегральных уравнений от носительно компонент этой векторной функции. Решение сингулярных уравнений возможно лишь численно и требует наличия ЭВМ большой мощности.

Использование конечно-разностных методов позволяет свести исходное дифференциальное уравнение к системе линейных уравнений относительно неизвестных значений вектора смещений в узлах сетки, аппроксимирующей область определения задачи, путем замены дифференциалов конечными приращениями. Численная реализация этих методов требует значительных объемов памяти ЭВМ, хотя в большинстве конкретных задач требуется найти рассеянное поле не во всей области определения задачи, а в какой-то ее части.

Таким образом, общим недостатком применяющихся сегодня методов расчета акустического тракта является отсутствие единого методического подхода к описанию процессов излучения, распространения и рассеяния ультразвука в твердых телах.

Во второй главе разработан новый метод расчета акустического тракта, то есть по заданному электрическому напряжению на входе излучателя ультразвуковых колебаний (у.з.к.) найден электрический сигнал на выходе приемника у.з.к. с учетом конфигурации дефекта в твердом теле.

Воздействие контактного преобразователя любого типа на полупространство из твердого материала эквивалентно приложению к поверхности полупространства нормальных сосредоточенных сил, непрерывно распределенных вдоль поверхности контакта. Поле излучения преобразователя любого типа может быть найдено как сумма полей сосредоточенных нормальных сил, интенсивность каждой из которых определяется типом и индиви-

дуальными особенностями преобразователя. Поскольку характеристики системы сил, создаваемой преобразователем в зоне контакта, считались известными, то расчет его поля излучения был сведен к поиску поля точечного источника указанного типа.

Задача о поле нормальной сосредоточенной силы на поверхности твердого полупространства формулировалась как трехмерная динамическая задача теории упругости. Для ее решения использовалось двумерное преобразование Фурье по плоскости границы полупространства. Были найдены Фурье - изображения вектора смещений и тензора напряжений поля точечного источника. На основе принципа пространственно-частотной фильтрации полей были получены асимптотические соотношения для искомых характеристик поля источника. Суть этих соотношений состоит в учете лишь составляющих полного поля в окрестности фронтов продольной и поперечной волн с учетом истинного распределения интенсивности смещений и напряжений вдоль фронтальных поверхностей. Полное поле контактного преобразователя любого типа вычислялось путем свертки поля точечного источника с функцией, задающей характер распределения интенсивностей этих источников вдоль поверхности контакта.

Задача о рассеянии излученной преобразователем волны на дефекте с известными формой и физическими свойствами формулировалась как трехмерная динамическая задача теории упругости. Для ее решения предложен метод вынесения источников, основная идея которого состоит в представлении полного поля в виде суммы падающей и рассеянной волн, размещении источников рассеянной волны во вне области определения задачи (то есть внутри рассеивающего тела) и подборе таких интенсивностей вынесенных источников, что создаваемая ими рассеянная волна совместно с падающей удовлетворяет заданным граничным условиям на рассеивающей поверхности. Расположение источников не на границе рассеивающего тела (как это происходит в методе интегральных уравнений), а внутри него позволило не снижая общности подхода обойтись без использования разрывных

функций, упростить процесс построения решения и снизить требования к ЭВМ. Поиск интенсивностей внесенных источников был сведен к решению системы линейных уравнений с комплексными коэффициентами, вычисляемыми как значения элементарных функций. После того, как интенсивности внесенных источников найдены, рассеянное поле в любой точке может быть получено суммированием полей этих источников.

При построении поля приема контактного преобразователя предполагалось, что заранее известно электрическое напряжение на его выходе при последовательном возбуждении поверхности полупространства во всех точках зоны контакта нормальным сосредоточенным импульсом смещений. Знание этой (передаточной) функции преобразователя позволяет полное электрическое напряжение, обусловленное приемом произвольной волны, искать как композицию истинных нормальных смещений в зоне контакта с этой передаточной функцией. С целью упрощения очень сложной задачи поиска истинных нормальных смещений в зоне контакта, рассматривались два независимых напряженно-деформированных состояния.

Первое напряженно-деформированное состояние обусловлено приложением сосредоточенных сил внутри полупространства, второе напряженно-деформированное состояние — приложением распределенных вдоль зоны контакта преобразователя нормальных сил, распределение которых совпадает с передаточной функцией рассматриваемого приемника. Применение к этим двум напряженно-деформированным состояниям теоремы Бетти позволило свести задачу о поле приема к вычислению поля излучения того же преобразователя, поскольку именно полем излучения определяются смещения, обусловленные вторым напряженно-деформированным состоянием в точках приложения сил, обуславливающих первое. Таким образом, поле приема преобразователя с заданной передаточной функцией (определяемой его типом и индивидуальными особенностями) может быть вычислено как овертка поля смещений точечного источника типа нормальной сосре-

доточной силы на границе полупространства с данной передаточной функцией.

На основе изложенного были построены алгоритмы, составлен и отлажен пакет программ, реализующий математическую модель акустического тракта преобразователя (или системы преобразователей) любого типа в твердом полупространстве.

Для оценки погрешности разработанного асимптотического метода расчета полей излучения и приема контактных преобразователей метод вынесения источников, не содержащий ни физических, ни математических упрощений, был применен к задаче о поле излучения. Специфика применения метода вынесения в данном случае состояла в том, что полное поле, излучаемое преобразователем любого типа, было представлено в виде суммы полей сосредоточенных источников продольного и поперечного потенциалов, расположенных в узлах квадратной сетки в плоскостях, параллельных границе полупространства над ним. Интенсивность источников подбиралась таким образом, чтобы сумма их полей удовлетворяла условиям на границе полупространства. Задача поиска интенсивностей вынесенных источников в данном случае плоской границы была сведена к стандартной задаче синтеза коэффициентов двух двумерных цифровых фильтров со специальными свойствами, определяемыми формой рабочей поверхности преобразователя и распределением нагрузок вдоль нее. Сам синтез осуществлялся по методу частотной выборки.

Сопоставление расчетов по методу вынесения источников и по асимптотическому методу полей излучения точечного, прямого и наклонных преобразователей показало, что область работоспособности асимптотического метода начинается с глубины двух длин продольных волн, а погрешность в области работоспособности для продольной волны не превосходит 3-5% для поперечной - 5-10%.

Для оценки эффективности метода вынесения источников решения задач рассеяния и скорости сходимости получаемых с его помощью приближений в сравнении с методом разделения пе-

ременных, оба метода были применены к рассеянию плоских продольных и поперечных волн на полых круговых цилиндрах в стали. Результаты различались не более чем на 0,5%, а процессорного времени на расчет методом вынесения источников потребовалось на порядок меньше. Экспериментальная проверка метода вынесения источников осуществлялась путем сопоставления расчетных и экспериментальных данных рассеяния поперечной волны на эллиптических цилиндрах различных волновых размеров и соотношений полуосей. Несмотря на неучет в расчете ряда факторов, влиявших на результат эксперимента, в основном вычисленные и измеренные индикатрисы рассеяния совпадали вполне удовлетворительно.

Для проверки разработанного метода расчета акустического тракта в целом было проведено сопоставление расчетных и экспериментальных данных для акустического тракта наклонного совмещенного преобразователя. По всем основным параметрам тракта (число эхо-сигналов от одного отражателя, их относительные амплитуды и времена распространения) отмечено хорошее совпадение расчетных и экспериментальных данных (расхождение расчетных и экспериментальных амплитуд не более 2,5 дБ).

В третьей главе на основе метода расчета акустического тракта в твердом полупространстве предложен и обоснован метод восстановления характеристик дефектов и критерий оценки его конфигурации, ориентации и размеров. Дано описание экспериментальной установки для реализации метода и проведены исследования его возможностей на ряде моделей дефектов в стандартных образцах.

Величины U_c электрических сигналов, обусловленных отражением от дефекта в твердом теле при различном его положении относительно источника и приемника ультразвуковых колебаний (функция обнаружения дефекта) приблизительно могут быть представлены в виде свертки поля излучения-приема акустической системы с функцией H . Здесь функция $H(x, y)$ не равна нулю, если точка (x, y) принадлежит проекции дефекта на плоскость сканирования,

равна нулю во всех остальных случаях. Пусть известна приближительная глубина залегания дефекта неизвестной формы. Рассматривая последовательные положения на поверхности сканирования акустической системы, характеризуемые точками $M_j(x_j, y_j)$, можно подобрать такие коэффициенты ξ_j ($j = 1, \dots, J$), чтобы суммарное поле излучения-приема (как если бы теперь J акустических систем, идентичных исходной, действовали совместно) представляло собой узкий луч в окрестности глубины залегания этого дефекта. Если теперь вычислить величину

$$\Phi(x, y) = \sum_{j=1}^J \xi_j U_c(x - x_j, y - y_j, \omega) = H(x, y) \exp[-2ik(z - z_0)], \quad (1)$$

то видно, что модуль функции Φ не равен нулю только в тех точках плоскости $z = \text{const}$, которые принадлежат проекции на нее дефекта, а фаза этой (характеристической) функции дает возможность найти относительное изменение глубины залегания каждой отражающей точки дефекта:

$$z = z_0 - \text{Arg}[\Phi(x, y, \omega)]/2k, \quad k = 2\pi/\lambda \quad (2)$$

где λ — длина волны на частоте ω .

Как показывают исследования, на качество восстановления характеристической функции существенное влияние оказывают ошибки системы сбора данных, помехи структуры материала и другие мешающие факторы. Для обеспечения высокого качества восстановления в реальных условиях необходимо адаптировать коэффициенты ξ_j к уровню и спектральному составу шумов и помех. Это можно сделать "обучив" коэффициенты на различных реализациях функций обнаружения дефектов с известными характеристическими функциями.

Для экспериментальной проверки метода была собрана лабораторная установка, содержащая ЭВМ, сканирующее устройство, генератор возбуждения преобразователя и аналого-цифровой преобразователь. Генератор возбуждал преобразователь, который излучал импульсы ультразвука в воду и принимал эхо-сигналы. Эхо-сигналы поступали на аналого-цифровой преобразователь, откуда в цифровом виде передавались в ЭВМ и подвергались дискре-

тному преобразованию Фурье по времени. Так происходило измерение значения функции обнаружения в одном положении преобразователя. Формирование всей функции обнаружения осуществлялось путем измерения ее значений в различных положениях преобразователя.

Исследования возможностей метода при помощи модели акустического тракта в твердом полупространстве показали, что его предельная разрешающая способность по фронту составляет около $\lambda/2$, а лучевая разрешающая способность $\lambda/20$. Метод применим как в случае использования продольных волн, так и в случае использования поперечных. Экспериментальная проверка метода подтвердила его высокую информативность и помехозащищенность и показала, что он может быть использован не только для оценки тонкой структуры дефектов сложной формы, но и для выявления дефектов, расположенных вблизи дна или боковых стенок контролируемого изделия.

ВЫВОДЫ

1. На основе строгого решения уравнений установившихся колебаний линейно-упругой однородной изотропной среды разработан метод расчета акустического тракта в твердом полупространстве. Область работоспособности предлагаемого метода начинается с расстояния $2\lambda_c$ от поверхности полупространства.

2. Обоснован метод расчета поля излучения контактного преобразователя любого типа. Полное поле излучения представлено в виде суммы полей точечных источников типа вертикальных сил, распределенных вдоль зоны контакта и имеющих каждая свою интенсивность. Найдена и проверена асимптотика поля точечного источника.

3. Предложен метод вынесения источников решения задачи рассеяния в твердом теле на дефекте произвольной формы, заключающийся в расположении источников рассеянной волны (типа сосредоточенных сил) во вне области определения задачи и подборе таких интенсивностей этих источников, чтобы создаваемая ими рассеянная волна совместно с падающей удовлетворяла граничным условиям на поверхности дефекта.

4. Разработаны эффективные алгоритмы, составлен и отлажен пакет прикладных программ, реализующий предложенный метод расчета акустического тракта в твердом полупространстве на персональной ЭВМ небольшой мощности. Погрешность расчета составляет 3-5% по продольной и 5-8% по поперечной волнам. Пакет позволяет рассчитывать тракт для преобразователей и систем преобразователей любого типа.

5. Расчеты, проведенные при помощи пакета прикладных программ, показали, что индикатрисы рассеяния продольных и поперечных волн на группах объемных дефектов имеют многолепестковый характер, сходный с характером индикатрис рассеяния на плоскостных дефектах, поэтому определить к которому из названных типов относится дефект на основании одной лишь индикатрисы рассеяния невозможно.

6. Предложен и теоретически обоснован метод оценки конфигурации, ориентации и размеров дефектов, базирующийся на твердотельной модели, при реализации которого на первом этапе осуществляют "калибровку" используемой системы сбора данных, а на втором этапе той же системой сбора данных измеряют функцию обнаружения исследуемого дефекта неизвестной формы и ее фильтрацией получают характеристическую функцию этого дефекта. Конфигурацию и размеры дефекта определяют по модулю характеристической функции, а ориентацию и форму - по ее аргументу. Предельная разрешающая способность по фронту данного метода составляет около $\lambda/2$, а лучевая разрешающая способность - $\lambda/20$. В случае использования поперечных волн, разрешающая способность улучшается в 1.2 раза.

Основное содержание диссертации изложено в работах:

1. Перлатов В.Г., Гусаров В.Р., Антипин Е.В. Структурная схема дефектоскопа общего назначения // Дефектоскопия. - 1984. - №12. - С.55-57.
2. Гусаров В.Р., Перлатов В.Г., Антипин В.Е. Погрешности измерения параметров импульса дефектоскопа на различных образцах // Дефектоскопия. - 1985. - №12. - С.56-62.
3. Гусаров В.Р., Перлатов В.Г., Гусарова А.Г. Структурная схема дефектоскопа в случае контроля упругого полупространства / ВНИИ НК. - Кишинев, 1985. - 27с. : Илл. - Библ. 7 назв. - Депон. в Молд НИИ НТИ, 1985, № 572/86.
4. Гусаров В.Р., Гусарова А.Г., Перлатов В.Г. Универсальная модель акустического тракта дефектоскопа в случае контроля твердого полупространства / ВНИИ НК. - Кишинев, 1983. - 24с. : Илл. - Библ. 2 назв. - Депон. в Информриборе, 1983, № 4385-пр.88.

5. Гусаров В.Р., Гусарова А.Г., Перлатов В.Г. Об одном методе вычисления акустических полей, рассеянных на телах произвольной формы / ВНИИ НК. - Кишинев, 1989. - 16 с.: Илл. - Библи. 14 назв. - Деп. в Информприборе, 1988, № 4341-пр.88.
6. Алешин Н.П., Гусаров В.Р., Могильнер Л.Ю. Количественное исследование рассеяния продольных и поперечных волн на эллиптических цилиндрах // Дефектоскопия. - 1988. - №12. - С.13-18.
7. Гусаров В.Р., Антипин В.Е., Перлатов В.Г. Об одном методе восстановления характеристик источников звуков // XIV Всесоюз. конф. по акустоэлектронике и физической акустике твердого тела, Кишинев, 13-15 июня 1989г. - Кишинев, 1989. - Ч. I. - С.66-67.
8. Гусаров В.Р., Алешин Н.П. Об одном методе определения конфигурации, ориентации и размеров дефектов // Дефектоскопия-89. Междунар. конф. Пловдив, Болгария, 24-26 октября 1989г. - Пловдив, 1989. - Т. I. - С.156-160.
9. А.с. 1467461 СССР, МКИ G 01/29/04. Способ ультразвукового контроля изделий / Гусаров В.Р. (СССР). - № 4173007/25-28; Заявлено 4.01.87; Оpubл. 23.03.89, Бюлл. №11 // Открытия. Изобретения. - 1989. - № 11.

