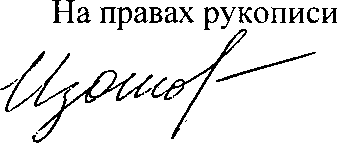
Изотов, Алексей Викторович. Повышение эффективности обнаружения утечек трубопроводов, уложенных в грунт : диссертация ... кандидата технических наук : 05.11.13 / Изотов Алексей Викторович; [Место защиты: Моск. гос. ун-т приборостроения и информатики].- Москва, 2012.- 116 с.: ил. РГБ ОД, 61 12-5/3236

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ И ИНФОРМАТИКИ**



**04201268894**

19**.**09.2012

**Изотов Алексей Викторович ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ УТЕЧЕК ТРУБОПРОВОДОВ, УЛОЖЕННЫХ В ГРУНТ**

Специальность 05.11.13 - Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий.

Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук

Москва - 2012 г.

ВВЕДЕНИЕ 4

ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ РАБОТ В ОБЛАСТИ

КОНТРОЛЯ УТЕЧЕК ПОДЗЕМНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ 8

1. Постановка задачи контроля и анализ условий работы прибора 8
2. [Анализ типовых дефектов уложенных в грунт трубопроводов 10](#bookmark4)
3. [Анализ методов контроля подземных трубопроводов 23](#bookmark6)
4. [Обзор средств акустического контроля состояния подземного трубопровода на предмет обнаружения мест утечек 36](#bookmark8)
5. [Обзор переносных акустических течеискателей 44](#bookmark9)
6. Акустический течеискатель ТА12 (Фирма "АКА-ГЕО",

г. Москва) 45

1. Течеискатель специализированный АЭТ-1МСС (НИИ Интроскопии, г. Томск) 46
2. Течеискатель"НУТЖОЫ1ХНЬ 4000" Фирма "SEBAKMT"(r ермания) 47
3. [Выводы 49](#bookmark12)

ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОПОТЕНЦИАЛЬНОГО МЕТОДА ВЫЯВЛЕНИЯ НЕГЕРМЕТИЧНЫХ УЧАСТКОВ ТРУБОПРОВОДА, УЛОЖЕННОГО В ГРУНТ 50

1. Физическая сущность электропотенциального метода 50
2. [Исследование распределения электрического потенциала в зоне течи 53](#bookmark13)
3. [Оптимизация размещения электродов для выявления негерметичного участка 57](#bookmark15)
4. Выводы 66

ГЛАВА 3. ОБНАРУЖЕНИЕ НЕГЕРМЕТИЧНЫХ УЧАСТКОВ УЛОЖЕННЫХ В ГРУНТ ТРУБОПРОВОДОВ ПУТЕМ РЕГИСТРАЦИИ СОЗДАВАЕМЫХ ТЕЧЬЮ КОЛЕБАНИЙ 67

1. Модельное представление источника колебаний при наличии течи 67
2. [Анализ распределения по поверхности грунта колебаний, создаваемых имеющейся в трубопроводе течью 71](#bookmark19)
3. [Разработка специализированных датчиков для регистрации создаваемых течью колебаний в жёстком и мягком грунте 76](#bookmark20)
4. [Выводы 77](#bookmark24)

**ГЛАВА 4. ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ**

[**ИССЛЕДОВАНИЙ 80**](#bookmark31)

* 1. [Комплексный подход к определению места повреждения подземного трубопровода 80](#bookmark26)
  2. Прибор акустического контроля состояния трубопровода ПТ 14М. 82
     1. [Результаты проведённых теоретических и экспериментальных исследований 82](#bookmark30)
     2. Подготовка прибора ПТ-14 к работе и порядок работы 88
  3. [Разработка и исследование схем отдельных узлов прибора контроля состояния трубопровода ПТ 14М 92](#bookmark33)
     1. Датчики прибора контроля состояния трубопровода ПТ 14М.92
     2. [Электронный блок 94](#bookmark36)
  4. [Практическая реализация электропотенциального метода обнаружения негерметичных участков трубопроводов 95](#bookmark37)
  5. Выводы 105

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ 106**

[**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ 109**](#bookmark39)

**Актуальность**

Структура современных трубопроводных коммуникаций крайне несо­вершенна. В них, по прежнему, преобладают недолговечные металлические трубы (в среднем по России 70 %). Уже через 5-10 лет они начинают терять герметичность и пропускную способность. Как следствие, уровень износа ос­новных фондов отрасли водо - канализационного хозяйства в последнее вре­мя достиг более 40 %, 300 тыс. км трубопроводов (в целом по России) нуж­даются в срочном капитальном ремонте, а более 50 тыс. км подлежат замене из-за аварийного состояния. По расчетам специалистов при сохранении ны­нешних темпов ремонта в XXI веке инженерные сети ЖКХ будут изношены до 70 % и более, потери воды возрастут до 60 *%,* и стоимость жилищно­коммунальных услуг, оказываемых населению, возрастет в 2-2,5 раза.

Для снижения потерь ресурсов при транспортировке важно надежно об­наруживать место утечки жидкости из трубопровода. При этом достоверность контроля зависит от многих факторов, в том числе, от объема вытекшей из трубопровода жидкости. Для решения этой важной задачи целесообразно ис­пользовать комплекс средств неразрушающего контроля основанных на раз­личных физических методах и адаптируемых под изменяющиеся условия контроля.

**Состояние проблемы**

Проблема обнаружения утечек в трубопроводах, уложенных в грунт, в настоящее время решается приборами, основанными на акустическом методе. К ним относятся *расходомеры, акустические корреляционные течеискатели,* с датчиками, устанавливаемыми на концах исследуемого участка, и *мобиль­ные акустические течеискатели,* работающие по принципу прослушивания шума утечки с поверхности земли. Как правило, используются все три вида акустических течеискателей, что позволяет сначала определить участок с предполагаемым повреждением, а затем локализовать его. Известны и широ-

ко используются на практике акустические течеискатели фирм «МЕТРА- ВИБ» (Франция), «FUJI ТЕСОМ» (Япония) ТЕАККОРР-4000 (Украина), «АКА» и «ВЕКТОР» (Россия). Существующие *мобильные акустические те­чеискатели* имеют различную чувствительность при изменении параметров грунта и не позволяют выявлять утечки в безнапорных трубопроводах, ис­пользуемых в системах слива и канализации. Кроме того, чувствительность известных мобильных акустических течеискателей существенно уменьшается по мере увеличения объема воды, вытекшей из течи.

**Цель работы и задачи исследований**

Цель диссертации заключается в повышении эффективности выявле­ния утечек негерметичных участков уложенных в грунт трубопроводов на ос­нове создания метода обнаружения течей при условиях, исключающих или затрудняющих применение акустических методов, совершенствования средств контроля, регистрирующих колебания на поверхности грунта, за счет адаптации соответствующих датчиков к плотности грунта, разработке и практической реализации технологии на основе комплексного подхода для обнаружения течи и локализации дефектного участка в подземных трубопро­водах.

Для достижение поставленной цели необходимо решение следующих

задач:

* Разработка и исследование метода обнаружения течей в подземных трубопроводах путем измерения удельной электропроводности грунта;
* Математическое моделирование распределения электрического по­тенциала в грунте над зоной утечки воды при пропускании электриче­ского тока.
* Исследование основных закономерностей распределения электрическо­го потенциала при вариации различных параметров, влияющих на рас­пределение потенциала тока, пропускаемого в зоне дефектного участка.
* Совершенствование средств регистрации акустических шумов, возникаю­щих при выходе воды под давлением на негерметичном участке;
* Разработка технологии выявления зон утечек в подземных трубопроводах, на основе комплекса дополняющих друг друга методов обнаружения не­герметичных участков по параметрам акустических шумов и изменению удельной электропроводимости грунта.

**Основные положения, выносимые на защиту:**

* комплексный подход обнаружения негерметичных участков уложенных в грунт трубопроводов, в том числе безнапорных, основанный на до­полнительном применении электропотенциального метода;
* обобщенные зависимости распределения добавочного электрического потенциала при различных вариантах размещения токовых электродов и уложенного в грунт трубопровода с вытекшей через несплошность жидкостью;

® рациональные межэлектродные расстояния электродов и их наиболее эффективное размещение относительно контролируемого трубопровода для выявления в нем негерметичных участков;

* рекомендации по выбору максимально допустимого шага сканирования системы электродов, обеспечивающего регистрацию утечки по измене­нию регистрируемого между потенциальными электродами напряже­ния;
* новые конструкции измерительных акустических преобразователей с повышенной чувствительностью, учитывающие влияние плотности грунта на коэффициент передачи акустического сигнала.

**Реализация и внедрение результатов работы:**

* разработанная методика электропотенциального метода обнаружения не­герметичных участков трубопроводов уложенных в грунт на основе си­стемы многоэлектродного зондирования «ERA-Multimax» внедрена в со­ставе созданной комплексной передвижной лаборатории «ИНСПЕКТОР- Авто» для обследования уложенных в грунт трубопроводов;

• с помощью комплексной передвижной лаборатории «ИНСПЕКТОР- Авто» обследовано более 16 км уложенных в грунт трубопроводов и вы­явлено более 47 негерметичных зон, подтвержденных после вскрытия грунта.

**Апробация работы.**

Основные результаты работы доложены и обсуждены на 3-ей между­народная научно - технической конференция «Диагностика трубопроводов» (Москва), на 2-ой международной научно - практической конференции «Энергопотребление и энергосбережение: проблемы, решения (Пермь), на 7-ой Международной конференции «Неразрушающий контроль и техниче­ская диагностика в промышленности» (Москва), на 4-ой международная научно - практической конференция «Энергопотребление и энергосбереже­ние: проблемы, решения» (Пермь), на межрегиональной научно - практиче­ской конференции «Жилищно - коммунальное хозяйство и энергетика в 21 веке» (г. Ростов - на - Дону), на НТС в ЗАО "НИИИН МНПО «СПЕКТР», ЗАО «Конструкция», ООО «ГлобалТест» и МГУПИ.

**Публикации.**

По теме диссертации опубликовано 14 печатных работ, из них 3 в журна­лах, входящих в перечень рекомендованных ВАК журналов научных публика­ций по специальности 05.11.13 «Приборы и методы неразрушающего контроля природной среды, веществ, материалов и изделий»..

**Структура и объем диссертации.**

Диссертационная работа изложена на 105 страницах машинописного текста, иллюстрируется 33 рисунками и 2 таблицами и состоит из введения, 4­х глав, общих выводов, списка литературы из 118 наименований.

1. Комплексный подход к выявлению негерметичных участков уло­женных в грунт трубопроводов должен включать измерение расхода с помо­щью расходомера, уточнение и его обследования с помощью акустического течеискателя. При отрицательных результатах поиска негерметичного участ­ка целесообразно применение электропотенциального метода.
2. Для реализации операций, связанных с поиском негерметичных участков, целесообразно использовать известные средства контроля, обеспе­чивающие измерение расхода, уточнение зоны течи корреляционными аку­стическими течеискателями, разметку трассы в зоне дефектного места.
3. Для точного обнаружения места течи разработан и успешно внед­рен акустический течеискатель ПТ-14. Его большая эффективность, по срав­нению с известными, достигнута за счет применения разработанных специа­лизированных акустических датчиков для мягкого и твердого грунта, реги­стрирующих механические колебания грунта.
4. Установлено, что электропотенциальный метод позволяет с при­емлемой чувствительностью выявлять негерметичные участки трубопрово­дов уложенных в грунт при размещении токовых и потенциальных электро­дов в плоскости перпендикулярной оси трубы.
5. Установлено, что электропотенциальный метод позволяет с при­емлемой чувствительностью выявлять негерметичные участки трубопрово­дов уложенных в грунт при размещении токовых и потенциальных электро­дов в плоскости перпендикулярной оси трубы.
6. Наиболее близко к оптимальному расположение токовых элек­тродов на поверхности равноудаленно от трубы на расстоянии друг от друга равном двум глубинам ее залегания.
7. Потенциальные электроды следует располагать на большем рас­стоянии друг от друга, чем токовые (примерно на треть) и на глубине равной глубине залегания трубы.
8. Максимум регистрируемого сигнала достигается, когда токовые, потенциальные электроды и центр утечки лежат в одной плоскости, перпен­дикулярной оси трубы.
9. Целесообразно выбирать шаг перестановки (установки) системы электродов вдоль трубы равный расстоянию между потенциальными элек­тродами. Такой шаг перестановки обеспечивает уровень сигнала более 50% от возможного максимума.
10. Течь в трубопроводе создаёт акустические и механические коле­бания в частотном диапазоне от 80 до 2000 Гц.
11. При истечении воды в вытекшую через течь воду, амплитуда ко­лебаний грунта под действием пульсирующей жидкости уменьшается при­мерно в два и более раз.
12. Для анализа закономерностей распространения колебаний, созда­ваемых вытекающей через течь трубопровода пульсирующей жидкостью, це­лесообразно воспользоваться имитатором, включающим механический виб­ратор, размещаемый на заданной глубине в грунте.
13. Экспериментальные исследования, проведённые с помощью ими­татора, позволили установить следующие закономерности в создаваемых на поверхности грунта колебаниях:

* Амплитуда колебаний не оказывает существенного влияния на распре­деление нормированных по максимуму сигналов, связанных с колеба­ниями грунта, как по нормальному к поверхности грунта, так и по тан­генциальному направлению.
* Максимумы амплитуд сигналов от обеих компонент вибрации, как при мягком, так и при жёстком грунте наблюдаются непосредственно над вибратором.
* Максимум амплитуды сигнала *UHM* от нормальной компоненты вибра­ции для мягкого грунта составляет не более 40 % от максимума ампли­туды сигнала *11нж* от нормальной компоненты вибрации для жёсткого грунта.
* Отношение t/TM/t/HM максимумов амплитуд сигналов *U1M* и £/нм, обу­словленных влиянием нормальной и тангенциальной составляющих вибрации в мягком грунте составляет не более 0,35.
* Амплитуды сигналов *инж* и *11тж,* обусловленных влиянием нормальной и тангенциальной составляющих вибрации в жёстком грунте, близки, а их отношение *инж/итж=* 0,75...0,85.
* Амплитуды сигналов С/„ж и резко убывают по мере удаления от ис­точника вибрации по закону, близкому к экспоненциальному.
* Амплитуды сигналов *UHM* и *UTM* по мере удаления от источника вибра­ции сближаются и на расстоянии 1,5.. .2,0 м от точки над вибратором сравниваются между собой. При этом *UUM* изменяется при удалении от

источника вибрации по закону, близкому к экспоненте, а *иш* - по зако­ну, близкому к линейному.

1. Существенные различия в распределении сигналов, регистрируе­мых на поверхности под действием колебаний в мягком и жёстком грунте, показывают на необходимость применения специализированных датчиков, учитывающих плотность грунта.
2. Для жёсткого грунта целесообразно применение датчика с точеч­ным съёмом информации о нормальной компоненте колебаний и экраниро­ванием тангенциальной компоненты колебаний.
3. Для мягкого грунта целесообразно применение датчика со съё­мом информации о нормальной компоненте колебаний с диаметром пятна контроля 0,1... 0,15 мм.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Шельняков А.Н., Касимова А.М., Исупов Г.П. К вопросу о переходе ламинарного течения в турбулентное под воздействием акустических колеба­ний. - ИЖФ, 1983, t.XVI, 4, октябрь, с. 560 - 563.
2. Федоткин И.М., Гукалов А.В., Романовский СВ. Возникновение акустических колебаний при росте и отрыве пузырей. - ИЖФ. 1983, т.ХЬУ, 1, июль, с.86-92.
3. Бачегов В.Н., Дробот Ю.Б., Константинов В.А., Лупанос В.В., Чен- цов В.П. Повышение помехоустойчивости при акустическом течеискании. - Дефектоскопия, 1983, №11, с. 94 - 96.
4. Билибин В.В., Лупанос В.В., Мещеряков В.Е., Сорокин Ю.В. Кон­троль герметичности запорной трубопроводной арматуры акустико-эмис­сионным методом / Тезисы докл. научн.-техн.конф. "Метрологическое обеспе­чение средств неразрушающего контроля на основе акустической эмиссии и пути ускорения их внедрения на предприятиях края". - Хабаровск, 1983, с.34
5. Бачегов В.Н., Пустовой О.Н. Погрешность определения координат течи, обусловленная собственными шумами аппаратуры. - Дефектоскопия, 1982. №11, с. 80-83.
6. Бачегов В.Н., Константинов В.А., Пустовой О.Н. Погрешность ультразвукового течеискателя, обусловленная частотным рассогласованием каналов. - Дефектоскопия, 1980, №12, с.43 -47.
7. Бачегов В.Н., Пустовой О.Н. Повышение чувствительности аку­стического течеискания. - Дефектоскопия, 1983,№5, с.92 - 96.
8. А. С. № 1084637 (СССР). Способ определения координат течи контролируемого объекта и устройство для его осуществления / Ченцов В.П., Бачегов В.Н. и Шаров В.В. - Опубл. в Б.И., 1984, №13.
9. Бачегов В.Н. и др. Ультразвуковой течеискатель.- Дефектоскопия, 1978, №4 с. 33 - 36.
10. Целебровский Ю. В. Заземляющие устройства электроустановок высокого напряжения: Учеб. пособие / Новосибирский электротехнический институт. - Новосибирск, 1987. - 78 с.
11. Трифонов Д.Н., Кривомазов А.Н., Лисневский Ю.И. Учение о ра­диоактивности. История и современность. - М., 1973. - 78 с. 3. Химия. Боль­шой энциклопедический словарь/Гл. ред. И.Л.Кнунянц. - 2-е изд. - Большая Российская энциклопедия, 1998. - 792 с. 4. Политехнический словарь / Ред. кол. А.Ю. Ишлинский (гл. ред.) и др. - 3-є изд., перераб. и доп. - М.: Совет­ская энциклопедия, 1989. - 656 с.
12. Гамма-съемка запасов воды в почве и на ее поверхности // Труды института экспериментальной метеорологии. Серия «Гидрология» / Под ред. М. В. Никифорова и А. Н. Пегоева- 1974. - Выпуск 1(35). - 150 с.
13. Корелин Н.Н., Мальцев А.С., Тарасов А.Г. О применении авиацион­ной гамма-съемки для обследования подземных конструкций опор ЛЭП в труд­нопроходимых условиях Тюменской области // Научно-практический журнал «Энергетика Тюменского региона». - 2001, декабрь. - № 4( 14). - С. 18-21.
14. Краев А.П. Основы геоэлектрики / А.П. Краев. - М.: ГИТЛ, 1951. -

142 с.

1. Мейер А.А. Применение четырехзондового метода при измерении удельного сопротивления неоднородных материалов / А.А. Мейер, Д.И. Левинзон // Измерительнаятехника. - 1965. - № 5. - С. 29-31.
2. Воронков В.В. Влияние слоистой неоднородности на результаты измерения удельного сопротивления /В.В. Воронков, Д.И. Левинзон, М.И. Иглицын // Журнал - Зав.лаб. - 1968. - Т. 24, № 3. - С. 307-309.
3. Ковтонюк Н.Ф. Измерения параметров полупроводниковых мате­риалов / Н.Ф. Ковтонюк, Ю.А. Концевой. - М.: Металлургия, 1970. - 429 с.
4. Левинзон Д.И., Основы метрологии полупроводников / Д.И. Левинзон. -Запорожье: ЗГИА, 2001. - 120 с.
5. Левинзон Д.И. О возможности использования адаптационного подхода для построения системы критериев оценки качества объемных кри­сталлов полупроводников /Левинзон Д.И. // Складні системи і процеси. - 2006.-№10.-С. 43—46.
6. Левинзон Д.И. Экспериментально-статистические модели оценки степени неоднородности полупроводниковых материалов / Левинзон Д.И. // Складні системи і процеси. -2009. - №9. - С. 9-14.
7. Харченко А.Н., Левинзон Д.И. Математические модели зондиро­вания электропроводящих сплошных сред // Складні системи і процеси. - 2011.-№1.-С. 17-26.
8. Dahlin, Т. 2000. Short note on electrode charge-up effects in DC resis­tivity data acquisition using multi-electrode arrays. Geophysical Prospecting,, 48, 181-187.
9. Dahlin, Т., 2001. The development of DC resistivity imaging tech­niques. Computers &Geosciences 27, 1019-1029.
10. Griffiths, D.H., Barker, R.D., 1993. Two-dimensional resistivity imag­ing and modelling in areas of complex geology. J. Appl. Geophysics 29, 211-226.
11. Edwards, L.S., 1977. A modified pseudosection for resistivity and IP. Geophysics, 42, 1020-1036.
12. Loke, M.H. and Barker, R.D.. 1996a. Rapid least-squares inversion of apparent resistivitypseudosections by a quasi-Newton method. Geophysical Pro­specting, 44, 131-152.
13. Loke, M.H., Barker, R.D., 1996b. Practical techniques for 3D resistivi­ty surveys and data inversion. Geophysical Prospecting 44, 499- 523.
14. Ritz, М., Robain, H., Pervago, E., et al. 1999. Improvement to resistivi­ty pseudosection modeling by removal of near-surface inhomogeneity effects: ap­plication to a soil system in south
15. Cameroon. Geophysical Prospecting 47 (2): 85-101
16. Бобачев A.A., Марченко M.H., Модин И.Н., Перваго Е.В., Урусова А.В., Шевнин В.А. Новые подходы к электрическим зондированиям горизон­тально-неоднородных сред. // Физика Земли. 1995 - N 12 - с.79-90.
17. Бобачев А.А., Модин И.Н., Перваго Е.В., Шевнин В.А. Много­электродные электрические зондирования в условиях горизонтально­неоднородных сред. М., 1996, 50 с. // Разведочная геофизика. Обзор. АОЗТ "Геоинформмарк". Выпуск 2.
18. Бобачев А. А., Горбунов А.А., Модин И.Н., Шевнин В.А.. Элек­тротомография методом сопротивлений и вызванной поляризации. Приборы и системы разведочной геофизики. 2006, №2, 14-17.
19. СП 11-105-97. «Инженерно-геологические изыскания для строи­тельства. Часть VI. Правила производства геофизических исследований» / Госстрой России. - М.: ПНИИИС Госстроя России, 2004. - 49 стр.
20. Неразрушающий контроль. В 5 кн. Кн.4. Контроль излучениями: Практ. пособие /Б.Н. Епифанов, Ё.А. Гусев, В.И. Матвеев, Ф.Р. Соснин; Под ред. В.В.Сухорукова. - М: Высшая школа, 1992. - 321 с.
21. Мухамедяров Р.Д. Аэрокосмические технологии мониторинга со­стояния нефтегазопроводов, хранилищ и экологии окружающей среды //Восьмая международная деловая встреча «Диагностика - 98» - Сочи, ап­рель 1998 г. Сборник докладов ИРЦ Газпром, 1998, т.2, с.85 - 98.
22. Кузнецов Н.С. Применение теории гидродинамического шума к контролю герметичности изделий.// Техническая диагностика и неразруша­ющий контроль. - 1990, №2, с.28 - 33.
23. Селиверстов М.И. Акустический течеискатель //Приборы и систе­мы управления. 1973, №6, с.41-42.
24. Бырин В.Н., Бырин СЮ. Многоцелевой ультразвуковой течеиска- тель//Судостроение, 2007, с.43- 46.
25. Леонов И.Г., Никифорова З.С., Богородицкий С.К. О метрологиче­ском обеспечении средств неразрушающего контроля // Дефектоскопия.

1977. №4. С. 125-128

1. Левина Л.Е., Пименов В.В. Методы и аппаратура контроля герме­тичности вакуумного оборудования и изделий приборостроения. М.: Маши­ностроение, 1985. 68 с.
2. Карпов В.И., Левина Л.Е., Муравьева Л.Д. Методика и аппаратура высокочувствительного течеискания // ПТЭ. 1967. № 4. с. 168-171.
3. Сажин С.Г. Классификация высокопроизводительного оборудова­ния для контроля герметичности изделий //Дефектоскопия. 1979. № 5. с.74-78.
4. Бойцова Т.М., Сажин С.Г. Достоверность автоматизированного контроля герметичности изделий // Дефектоскопия. 1981. № 4. с. 76 - 81.
5. ПНАЭГ-7-019-89. Контроль герметичности. Газовые и жидкост­ные методы.
6. ПБ 03-576-03 Правила устройства и безопасной эксплуатации со­судов, работающих под давлением.
7. РД 26-12-29-88 Правила проведения пневматических испытаний изделий на прочность и герметичность.
8. ГОСТ Р 51780-2001 Методы и средства испытаний на герметич­ность.
9. ГОСТ 25136-82 Соединения трубопроводов. Методы испытаний на герметичность.
10. ГОСТ 24054-80 Изделия машиностроения и приборостроения. Ме­тоды испытаний на герметичность. Общие требования.
11. ГОСТ 26790-85 Техника течеискания. Термины и определения.
12. Красильников В. А., Крылов В.В. Введение в физическую акусти­ку. М.: Наука. 1984. 400 с.
13. Викторов И.А. Звуковые поверхностные волны в твердых телах. М.: Наука.- 1981.
14. Тюлин В.Н. Введение в теорию излучения и рассеяния звука. М.: Наука, 1976.-255 с.
15. ГОСТ 26182-84 Контроль неразрушающий. Люминесцентный ме­тод течеискания.
16. ГОСТ 18353-79 Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов.
17. ОСТ 5Р.0170-81 Контроль неразрушающий. Металлические кон­струкции. Газовые и жидкостные методы контроля герметичности.
18. ОСТ 26.260.14-2001 Отраслевой стандарт сосуды и аппараты, ра­ботающие под давлением. Способы контроля герметичности.
19. ОСТ 11 0808-92 Контроль неразрушающий. Методы течеискания.
20. Вдовин Ю. А., Коробейник И. Е. Метрологическое обеспечение сред­ств неразрушающего контроля. — Стандарты и качество, 1969, № 1, С. 16-20.
21. Кремлевский П. П. Точность количественных измерений скорости потока в газах и жидкостях..— Измерительная техника, 1969, № 10, с. 25-27.
22. Baker W. С. Messung von gasdurchflupin, durch und aus einem Vaku- um-system. —Vakuum-Technik, 1970, 19, № 5, S. 113—117.
23. Ванькович P. И., Крипякевич P. И., Сидорак И. И., Пархет а Т. Г., Семчишин И. В. Аппаратура для определения нестационарных потоков во­дорода, диффундирующего через мембрану. — Физико-хим. механика мате­риалов, 1971, № 6, с. 99—100.
24. Miller J. R. III. Athermally shielded atmospheric pressure standard leak calibrator. Vac. Sci. technol., 1973, 10, № 5, p. 882—889.
25. Stekelmacher W. The flow of rarefied gases the vacuum systems and problems of standartization of measuring techniques. Proceedings of the 6-th inter­national vacuum congress, Kyoto, Tokyo, 1974, p. 117—125.
26. Peggs G.- N. The measurement of gas throughput in rauge 10-4 to 10- lOPa Xms-1.—Vacuum, 1976, 26, № 8, p. 321—328.
27. Афанасьева Л. А., Барышникова И. Г., Евлампиев А. И., Левина Л. Е. Возможные причины не выявления течей при испытаниях на герметич­ность. — ПТЭ, 1971, №5, с. 11-61.
28. Афанасьева Jl. А., Левина Л. Е. Перекрытие каналов течей и влия­ние этого явления на результаты масс-спектрометрических испытаний. — Электронная техника, 1971, вып. 5 (1), сер. 12.- С. 117-120.
29. Геофизические методы исследований. В.К. Хмелевской, Ю.И. Горбачев, А.В. Калинин, М.Г. Попов, Н.И. Селиверстов, В.А. Шевнин. Пет- ропавловск-Камчатский: изд-во КГПУ, 2004, 232 с.
30. Геофизические методы исследования //авт. Хмелевской В.К., По­пов М.Г., Калинин А.В., Горбачев Ю.И., Шевнин В.А., Фадеев В.Е.// Под ре­дакцией В.К. Хмелевского. М.: «Недра». 1988. -139 с.
31. Хмелевской В.К. Краткий курс разведочной геофизики. М.: Изд-во МГУ. 1990.- 79 с.
32. Гайнанов А.Г., Пантелеев В.Л. Морская гравиразведка. М.: «Недра». 1991. -202 с.
33. Гурвич И.И., Боганник Г.М. Сейсмическая разведка. М.: «Недра». 1981.- 188 с.
34. . Гурвич И.И. Сейсморазведка. М.: «Недра». 1975.- 195 с.
35. Миронов B.C. Курс гравиразведки. Л.: «Недра». 1980 - 88 с.
36. Хмелевской В.К. Электроразведка. М.: Изд-во МГУ. 1984.-94 с.
37. Справочник геофизика. Сейсморазведка. М.: «Недра». 1978.
38. Справочник геофизика. Гравиразведка. М.: «Недра». 1981.-82 с.
39. Справочник геофизика. Магниторазведка. М.: «Недра». 1980.-93 с.
40. Справочник геофизика. Электроразведка. М.: «Недра». 1980.-115 с.
41. Справочник геофизика. Разведочная ядерная геофизика. М.: «Недра».-1986 - 137 с.
42. Справочник геофизика. Геофизические исследования скважин. М.: «Недра». 1983- 107 с.
43. Справочник геофизика. Скважинная ядерная геофизика. М.: «Недра».- 1980.-127 с.
44. Изотов А.В., Кольцов В.Н. Передвижные лаборатории для диагно­стики подземных коммуникаций// Контроль. Диагностика - № 4 - 2009 - С. 48-54.
45. Изотов А.В., Половинкин А.В. Акустический прибор для точного определения места утечек воды из подземных трубопрово-

дов//Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии.- № 2- 274(560).- 2009.-С. 89-71.

1. Изотов А.В., Шкатов П.Н. Исследование возможности обнаружения негерметичных участков подземных трубопроводов, уложенных в грунт, элек- тропотенциальным методом// Контроль. Диагностика - № *7-* 2011- С. 51-55.
2. Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник/В.В.Клюев, Ф.Р.Соснин, В.Н.Филинов, А.В.Изотов и др.; Под. Ред. В.В.Клюева-

М.Машиностроение, 1995.-488стр.с ил

1. Клюев В.В., Янн М., Кондратьев Ю.А., Миронюк Ю.М., Изотов А.В. Опыт предприятия «Себа Спектрум» в разработке и изготовлении пере­движных лабораторий для диагностики трубопроводов и энергооборудования компрессорных станций, а также лабораторий для диагностики волоконно - оптических и медных линий систем телемеханики и связи// Тезисы докладов 3-ей международная научно - технической конференция «Диагностика тру­бопроводов».- Москва 2001г.- С. 348.
2. Изотов А.В., Половинкин А.В., Кондратьев Ю.А. Передвижная ла­боратория для поиска мест утечки// Тезисы докладов 3-ей международная научно - технической конференция «Диагностика трубопроводов».- Москва 2001г.-С. 358.
3. Изотов А.В., Кондратьев Ю.А., Половинкин А.В. Акустические приборы течеискания, // Тезисы докладов 3-ей международная научно - техни­ческой конференция «Диагностика трубопроводов».- Москва 2001г.- С. 374.
4. Половинкин А.В., Кондратьев Ю.А., Изотов А.В. Повышение чув­ствительности акустических приборов течеискания // Тезисы докладов 3-ей международная научно - технической конференция «Диагностика трубопро­водов».- Москва 2001г.- С. 360.
5. Изотов А.В. Диагностика подземных коммуникаций как составная часть энергосбережения// тезисы докладов 2-ой международной научно - практической конференции «Энергопотребление и энергосбережение: про­блемы, решения - Пермь, 1999 г. С. 112.
6. Изотов А.В. Пути решения проблемы энергосбережения на пред­приятиях водоснабжения //Тезисы докладов, 4-ой международная научно - практической конференция «Энергопотребление и энергосбережение: про­блемы, решения».-Пермь - **200ІГ.-С.** 87
7. Изотов А.В. Практика использования мобильных лабораторий в Челябинской области, научно - производственный журнал топливно - энер­

гетического комплекса Пермской области «Энергосбережение и проблемы энергетики Западного Урала»-2004-С. 16-18.

1. Кондратьев Ю.А., Чернышев J1.H., Изотов А.В. Комплексная пере­движная лаборатория для контроля объектов теплоэнергетики// Тезисы до­кладов на межрегиональной научно - практической конференции «Жилищно - коммунальное хозяйство и энергетика в 21 веке».- г. Ростов - на - Дону- 2003г.-С. 55.
2. Изотов А.В., Половинкин А.В., Методика поиска скрытых утечек воды из подземных трубопроводов// материалы международного конгресса «ЕТЕВК».
3. Изотов А.В., Кольцов В. Современные методы и средства диагно­стики подземных коммуникаций// Неразрушающий контроль и техническая диагностика в промышленности: тезисы докладов 7-й Международной кон­ференции. Москва, 11-13 марта 2008 г. -М.: Машиностроение, 2008. - С. 53

• система "токовые электроды - потенциальные электроды" связана и про­исходит перемещение такой системы вдоль трубы без изменения взаим­ного расположения потенциальных электродов относительно токовых,

* токовые электроды фиксируются в некотором положении и происходит

перемещение потенциальных электродов относительно токовых и трубы. В рамках данной работы необходимо выбрать оптимальную конфигу­рацию системы - т.е. такое расположение потенциальных электродов относи­тельно токовых, при котором контроль максимально информативен. На начальном этапе оптимизации расстояние между токовыми электродами за­фиксируем на значении 2Ь = 6м.