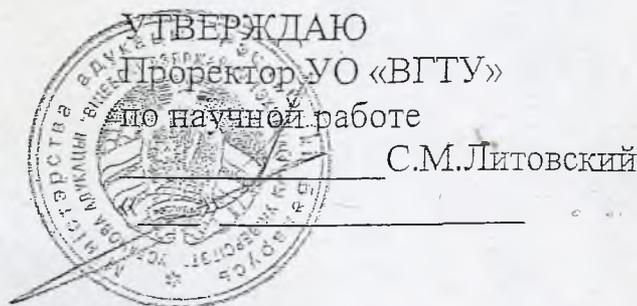


МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УО "ВИТЕБСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ"

УДК: 685.34.036:678.01

№ госрегистрации 2002984

Инв №



ОТЧЕТ

О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

Исследование анизотропии физико-механических свойств ортотропных полимерных материалов методами электроемкостного неразрушающего контроля (выполняемой в рамках государственной программы по заданию “Диагностика - 09”)

2002 – Г/Б – 311
(заключительный)

Научный руководитель
к.т.н., доц.



28.12.05

А.А. Джежора

Начальник НИС



28.12.05

С.А. Беликов

Витебск 2005

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Научный руководитель,
К.т.н., доцент



А.А. Джежора (общее руководство, введение, заключение, разделы -1,2,3,4,5)

Исполнители:

Д.т.н., г.н.с



В.В. Рубаник (подраздел -1.1, 1.2,4.2)

Инженер



С.Г. Комисаров (подраздел 5.1; 5.2)

Аспирант



А.Н. Махонь (подраздел 5.3)

Аспирант



И.В. Комлева (подраздел 6.1)

Аспирант



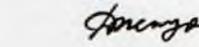
А.Г. Вожгуров (раздел 6.1)

Старший преподаватель



Ю.А. Завацкий (подраздел 3.1)

Студент



А.А. Джежора (подраздел 5.1)

Нормоконтролер



О.Д. Ярыго

БІБЛІЯТЭКА
УА "ВІЦЕБСКІ ДЗЯРЖАУНЫ
ТЭХНАЛАГІЧНЫ УНІВЕРСІТЭТ"
інв. № 

РЕФЕРАТ

Отчет 171 с., 121 рис., 4 табл., 73 источника, 5 прил.

ОРТОТРОПНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, АНИЗОТРОПИЯ, ЭЛЕКТРОЕМКОСТЬ, ДИАГНОСТИКА, КОНТРОЛЬ, ЗОНЫ КОНТРОЛЯ

Объектом исследования являются ортотропные полимерные материалы.

Цель работы — исследование анизотропии ортотропных материалов. Разработка электроемкостных методов и средств контроля анизотропии диэлектрических свойств ортотропных материалов. Исследование корреляционных связей между механическими и физическими свойствами полимерных материалов. Разработка методов определения глубины и ширины зон контроля электроемкостных преобразователей. Разработка макетов датчиков контроля линейно-протяженных материалов.

В процессе работы создавались математические модели электроемкостных преобразователей, проводились экспериментальные исследования анизотропии диэлектрических свойств отдельных ортотропных материалов. Определялись корреляционные связи между механическими и физическими свойствами полимерных материалов. Разрабатывалась методика неразрушающего контроля анизотропии физических свойств ортотропных слоистых материалов. Разрабатывались методы определения глубины и ширины зон контроля электроемкостных преобразователей. Решалась задача оптимизации конструкций емкостных преобразователей. Разрабатывался макет влагомера для контроля влажности ортотропных материалов.

В результате работы были созданы математические модели электроемкостных преобразователей, проведены экспериментальные исследования анизотропии диэлектрических свойств ортотропных материалов. Определена корреляционная взаимосвязь между механическими и физическими свойствами полимерных материалов. Разработаны методики неразрушающего контроля анизотропии физических свойств ортотропных слоистых материалов. Разработаны методы определения глубины и ширины зон контроля электроемкостных преобразователей. Решена задача оптимизации конструкций емкостных преобразователей. Разработан макет влагомера для контроля влажности ортотропных материалов.

Основные конструктивные и технико-эксплуатационные показатели методик и конструкций электроемкостных преобразователей: высокая точность определения анизотропии диэлектрических свойств ортотропных материалов; высокая точность определения глубины и ширины зон контроля электроемкостных преобразователей; высокая точность определения влажности.

Степень внедрения – на кафедре «Физики» внедрена работа «Измерение анизотропии диэлектрической проницаемости полимерных материалов», внедрены математические модели накладных измерительных преобразователей для контроля анизотропии плоских изделий, математи-

ческие модели и программное обеспечение для расчетов параметров систем накладных измерительных конденсаторов на кафедре «Автоматизации технологических процессов и производств».

Эффективность электроемкостных методов и средств контроля анизотропии диэлектрических свойств ортотропных материалов определяется высокой точностью определения анизотропии диэлектрической проницаемости линейно-протяженных полимерных материалов. Разработанный метод неразрушающего контроля может применяться для исследования структуры линейно-протяженных полимерных материалов, для оценки прочностных и деформационных свойств, определении влагосодержания. Эффективность разработанного метода определения глубины и ширины зон контроля электроемкостных преобразователей определяется высокой чувствительностью к линейным перемещениям. Разработанный метод определения глубины и ширины зон контроля электроемкостных преобразователей должен применяться при разработке электроемкостных преобразователей.

СОДЕРЖАНИЕ

	стр
ВВЕДЕНИЕ	7
1 ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ КОНТРОЛЯ АНИЗОТРОПИИ ОРТОТРОПНЫХ МАТЕРИАЛОВ	9
1.1 Определение анизотропии диэлектрических свойств с помощью экранированных НИК	15
1.2 Определение анизотропии диэлектрических свойств с помощью зеркально-симметричных НИК	21
2 РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ	28
2.1 Трехзажимные экранированные накладные преобразователи	28
2.2 Трехзажимные многосекционные экранированные накладные преобразователи с дополнительным экраным электродом	39
2.3 Расчет конструкций зеркально-симметричных НИК	53
2.3.1 Элементарные конструкции зеркально симметричных преобразователей	53
2.3.2 Симметричная система электродов	62
2.3.3 Многосекционные зеркально-симметричные НИК	69
2.3.4 Трехзажимные зеркально-симметричные преобразователи	76
2.3.5 Многосекционные трехзажимные зеркально-симметричные НИК	89
3 МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ, ЗАПОЛНЕННЫХ СЛОИСТЫМ ДИЭЛЕКТРИКОМ	101
3.1. Метод зеркальных отображений	101
3.2. Расчет электростатической емкости проходных преобразователей с использованием интегральных уравнений Фредгольма первого рода	110
3.3. Математическая модель экранированного накладного измерительного конденсатора	119
3.4. Математическая модель трехзажимного многосекционного зеркально-симметричного накладного измерительного конденсатора	127
4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЦ ЗОН КОНТРОЛЯ ЭЛЕКТРОЕМКОСТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ	131
4.1 Определение глубины зоны контроля электроемкостных преобразователей	132
4.2 Определение ширины зоны контроля электроемкостных преобразователей	146
5 РАЗРАБОТКА МЕТОДА И СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ ВЛАЖНОСТИ ОРТОТРОПНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ	150

5.1 Разработка макета датчика контроля линейно-протяженных материалов	150
5.2 Разработка макета влагомера для контроля влажности ортотропных полимерных материалов	153
5.3 Построение градуировочных характеристик влагомеров	156
6 РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ОРТОТРОПНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ЛИНЕЙНО-ПРОТЯЖЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ	158
6.1 Исследование корреляционных связей между механическими и физическими свойствами полимерных ортотропных материалов	160
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	161
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	163
ПРИЛОЖЕНИЯ	167

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Матис И.Г. Электроемкостные преобразователи для неразрушающего контроля. Рига, Зинатне, 1982, с. 302.
- 2 Нетушил А.В. Электрические поля в анизотропных средах. – Электричество, 1950, № 3, с. 9 - 19.
- 3 Нетушил А.В. Некоторые задачи теории электронагрева. - Электричество, 1952, Бюл. №8, с. 50 – 59.
- 4 Нетушил А.В. Электромагнитные поля в анизотропных средах. – Изв. ВУЗов. Электромеханика, 1962, № 5, с. 475 – 489.
- 5 Казанцева И.А., Нетушил А.В. Метод измерения электрических параметров анизотропных материалов. Труды МЭИ, вып. 14, 1953, с. 211.
- 6 Бурсиан В.Р. Теория электромагнитных полей, применяемых в электроразведке. ГТТИ, 1933, 4.1, М., с. 232.
- 7 Заборовский А.И. «Электроразведка», ГОСТоптехиздат, 1943.
- 8 Нинецкий В.В. Расчет плоскомеридианных электрических полей в некоторых анизотропных средах. Труды МЭИ, вып. 18, 1956.
- 9 Collins W.D. Note on the two-dimentional theory of anisotropic dielectrics. Mathematica, 1956, 3, № 5, с. 63 – 68.
- 10 Левинтов С.Д., Стасяк В.И. Плоскопараллельное поле заряженных осей в среде с прямолинейной анизотропией. Электричество, 1975, № 4, с. 82 – 83.
- 11 Капустинкас А.И. Электрическое поле двух разноименно заряженных осей, расположенных над анизотропной диэлектрической пластиной. – Труды Акад. Наук Литовской ССР, 1968, серия Б, т. I (52), с. 93 – 104.
- 12 Белявский В.Ф., Поливанов К.М. Сердечник из ферромагнитной анизотропной ленты. – Изв. ВУЗов. Электромеханика, 1959, № 10, с. 3 – 9.
- 13 Collis W.D. On the solution of some axisymmetric boundary value problems by means of integral equations. I. Some electrostatical and hydrodynamic problems for a spherical cap. – Quart. J. Mech. Appl. Math., 1959, Vol. 12, № 2, p. 232 – 241.
- 14 Джежора А.А., Рубаник В.В. “Электрические поля накладных измерительных конденсаторов в ортотропных средах” Весці НАН Беларусі Сер. Фіз-тэхн. Навук 2005г, №1, с 82-86.
- 15 Михайлов Н.В., Файнберг Э.З., Эйфер И.З. Метод определения ориентации в полимерных материалах по диэлектрической проницаемости. Высокомолекулярные соединения, 1965, № 3, т. VII, с. 411 – 416.
- 16 Штраус В.Д. Методики неразрушающего определения диэлектрической проницаемости анизотропных полимерных материалов. - Механика полимеров, 1974, № 4, с. 715 – 719.
- 17 Матис И.Г. Измерительный конденсатор для контроля диэлектрических свойств анизотропных материалов. . Авторское свид. СССР № 287183 G01R 27/22, 1970, Бюл. № 35, с. 80.
- 18 Матис И.Г., Бергманис К.А. Устройство для определения коэффициента анизотропии по диэлектрической проницаемости. Авторское свид. СССР № 342138 G01R 29/02, 1972, Бюл. № 19, с. 188 - 189.
- 19 Матис И.Г. Способ определения анизотропных диэлектрических свойств материалов. Авторское свид. СССР № 370513 G01N 27/22, 1973, Бюл. № 11, с. 132.
- 20 Матис И.Г. К вопросу определения глубины и ширины зоны материала, контролируемого накладным конденсатором. – В кн.: Методы и приборы автоматического контроля. Рига, 1973, вып. 10, с. 49 – 50.
- 21 Ашкенази Е.К., Ганов Э.В. Анизотропия конструкционных материалов. Л., «Машиностроение», 1972, 216 с.
- 22 Джежора А.А., Щербаков В.В., Шушкевич В.Л., Кузнецова Л.И. Способ измерения анизотропии свойств полимерных материалов. А.С. 1549327 – опубл. в Б.И. № 9, 1990.
- 23 Джежора А.А., Рубаник В.В. “Электроемкостной датчик анизотропии физических свойств” Материалы XV международной на научно-технической конференции датчики и преобра-

зователи информации систем измерения, контроля и управления «Датчик -2003» в г. Судак с.65 - 66.

24 Джежора А.А., Рубаник В.В. “Математическая модель электроемкостного датчика контроля анизотропии физических свойств” Материалы XVI международной на научно-технической конференции датчики и преобразователи информации систем измерения, контроля и управления «Датчик -2004» в г. Судак с. 91 - 92.

25 Джежора А.А., Рубаник В.В. “Исследование ортотропных материалов электроемкостными методами неразрушающего контроля” Материалы международного семинара “Актуальные проблемы прочности” г. Великий Новгород, 2002г. с.88.

26 Джежора А.А., Рубаник В.В. “Электроемкостной метод исследования структуры композиционных материалов” Материалы XV международной на научно-технической конференции “Физика прочности и пластичности материалов” г. Тольятти. 2003 с.211 - 212.

27 Целищев В.Д., Букарев А.Д. Измерительный конденсатор. . Авторское свид. СССР № 667914 G01R 27/26, 1979, Бюл. № 22, с. 159.

28 Сочнев А.В. Применение метода непосредственного определения напряженности к расчетам плоскопараллельных полей. – ЖТФ, 1967, т. 37, с. 454 – 466.

29 Жизневский В.А., Джежора А.А., Андрушкевич И.Е. Расчет емкости трехзажимного конденсатора с экраном. В сб. статей “Совершенствование технологических процессов и организация производств машиностроения” Минск. 1993.

30 Завацкий Ю.А. ., «Математическое моделирование и разработка программного обеспечения для расчетов параметров НИК». // Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы радиоэлектроники: научные исследования, подготовка кадров: тезисы докладов. – Минск, 2005.

31 Свиридов Н.М., Скрипник Ю.А., Свиридов А.М., Ефремов В.А., Ильенко А.Н. Измеритель толщины полимерных пленок. Авторское свид. СССР № 966488, G01B 7/06, 1982, Бюл. № 38, с. 191.

32 Матис И.Г. Емкостной датчик для контроля тонких пленок. Авторское свид. СССР № 292120, G01R 27/26, 1971, Бюл. № 4, с. 121.

33 Джежора А.А., Шушкевич В.Л., Щербаков В.В. Способ контроля тонких диэлектрических материалов по толщине. Авторское свид. СССР № 1430859, G01N 27/22, 1988, Бюл. № 38, с.

34 Джежора А.А., Шушкевич В.Л. Расчет напряженности электрического поля и емкости датчика измерения анизотропии диэлектрических свойств полимерных материалов. – Деп. в ВИНТИ 25.02.1988, № 1549.

35 Джежора А.А., Шушкевич В.Л., Щербаков В.В., Кондрацкий Э.В. Анализ электрического поля проходного датчика. – Изв. ВУЗов Технология текстильной промышленности, 1989, № 4, с. 85– 88.

36 Джежора А.А., Клубович В.В. Конструкции датчиков для измерения анизотропии диэлектрических свойств тонких диэлектрических материалов. – Деп. в ВИНТИ 28.06.1988, № 5154-B88.

37 Матис И.Г. Расчет электрического поля конденсатора при одностороннем расположении электродов. – Изв. АН Латв. ССР. Сер. физ. техн. Наук, 1965, № 5, с. 77 – 91.

38 Табакс К.К. Расчет электрических полей для некоторых задач высокочастотного нагрева. – Труды МЭИ, 1953, вып. 14, с. 157 – 165.

39 Джежора А.А., Рубаник В.В. Электроемкостной метод исследования структуры композиционных материалов. Материалы международной научно-технической конференции “Современные методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов ” г. Могилев. 2004 с. 97 - 98.

40 Янке Е., Эмде Ф. Специальные функции. М. Наука, 1977.

41 Матис И.Г. Расчет электрического поля системы высокопотенциальных и заземленных ленточных электродов. – Изв. АН Латв. ССР. Сер. физ. техн. Наук, 1969, № 5, с. 120 – 126.

42 Джежора А.А. Способ измерения рабочих емкостей плоских накладных измерительных конденсаторов. Авторское свид. СССР № 1656476, G01R 27/26, 1971, Бюл. № , с.

- 43 Джежора А.А., Котов А.А. Расчет емкости трехзажимного проходного преобразователя с симметричной системой плоских ленточных электродов. – Ред. журн. Вестн. Акадэм. Навук БССР. Сер. физ. техн. навук. Деп. в ВИНТИ 29.09.1989, № 6082-В89.
- 44 Бугров А.В. Высокочастотные емкостные преобразователи и приборы контроля качества. – М., «Машиностроение», 1982, 95 с.
- 45 Бугров А.В. Емкостная ячейка накладного типа. Авторское свид. СССР № 450119, G01R 27/26, Бюл. № 42, с. 88.
- 46 Бугров А.В., Дудкин Н.И., Масленников И.М. Накладной емкостной преобразователь с охраняемым электродом. – Измерительная техника, 1976, № 7, с. 27 – 28.
- 47 Градштейн И.С., Рыжик И.М. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений. – М., 1962, 1100 с.
- 48 Клотиньш Э.Э. Исследование характеристик измерительных конденсаторов для неразрушающего контроля диэлектрических свойств полимерных материалов. Дис. на соиск. учен. степени канд. техн. наук. Рига, 1970, 223с.
- 49 Матис И.Г. О возможности многопараметрового контроля диэлектрических свойств слоистых полимерных материалов. – Изв. АН Латв. ССР. Сер. физ. и техн. наук, 1968, № 6, с. 60 – 67.
- 50 Матис И.Г., Озолс К.Д. Расчет электростатической емкости ленточных электродов, находящихся в слоистом диэлектрике. – Изв. АН Латв. ССР. Сер. физ. и техн. наук, 1971, № 5, с. 93 – 101.
- 51 Матис И.Г., Озолс К.Л. Расчет электростатической емкости ленточных электродов в двухслойной и трехслойной среде. – Изв. АН Латв. ССР. Сер. физ. и техн. наук, 1972, № 1, с. 110 – 116.
- 52 Курбатов В.М., Пресняков Ю.П. Емкость конденсатора с электродами гребенчатой формы. – Электричество, 1975, № 6, с. 84 – 86.
- 53 Колечицкий Е.С. Расчеты электростатических полей с использованием интегральных уравнений первого рода. – Электричество, 1975, № 8, с. 21 – 25.
- 54 Конторович Л.В., Крылов В.И. Приближенные методы высшего анализа. – М., Гостехиздат, 1952, 695 с.
- 55 Березин И.Ф., Жидков М.М. Методы вычислений. Ч. 2, М., Физматгиз, 1959, 620с.
- 56 Курбатов В.М., Пресняков Ю.П. Электричество, 1975, № 6, с. 84 – 86.
- 57 Джежора А.А. Расчет емкости датчика с симметричной системой плоских ленточных электродов в случае контроля гетерогенных сред. Ред. журн. Вестн. Акадэм. Навук БССР Сер. физ. техн. навук. Мн., 1989. Деп. в ВИНТИ 20.02.1989, № 1099-В89.
- 58 Нетушил А.В. Расчет потенциальных полей. – Труды МЭИ, 1951, вып. 9, с. 3 – 25.
- 59 Джежора А.А., Андрушкевич И.Е. Расчет емкости проходного преобразователя, заполненного анизотропной слоистой средой. – Ред. журн. Вестн. Акадэм. Навук БССР. Сер. физ. техн. навук. Деп. в ВИНТИ 04.10.1989, № 6108-В89.
- 60 Андрушкевич И.Е., Джежора А.А., Клубович В.В. Расчет емкостей проходных преобразователей, заполненных анизотропной слоистой средой. Вестн. Акадэм. Навук БССР. Сер. физ. техн. навук, 1990, № 5, с. 51 – 56.
- 61 Андрушкевич И.Е., Джежора А.А. Расчет электростатической емкости многосекционного проходного преобразователя, заполненного трехслойной средой. – В кн.: Пути совершенствования технологических процессов в машиностроении. Минск, изд-во «Университетское», 1990, с. 177 – 186.
- 62 Джежора А.А. Математические модели электроемкостных преобразователей, заполненных слоистыми ортотропными средами. Материалы международной научно-технической конференции “Современные методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов” г. Могилев. 2004 с. 95 - 96.
- 63 Джежора А.А., «Определение основных параметров электроемкостных преобразователей». // Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы радиоэлектроники: научные исследования, подготовка кадров: тезисы докладов. – Минск, 2005.

64 Джежора А.А., Рубаник В.В. «Определение глубины зоны контроля электроемкостных преобразователей». Материалы XIII международной конференции «Современные методы и средства неразрушающего контроля и технической диагностики» г. Ялта. 2005 с.67 - 70.

65 Джежора А.А., Рубаник В.В. Прогнозирование прочностных свойств композиционных материалов» Материалы XV международной на научно-технической конференции «Физика прочности и пластичности материалов» г. Тольятти. 2003 с.211 - 213.

66 Джежора А.А., Рубаник В.В. Прогнозирование прочностных свойств композиционных материалов» Материалы XIV Петербургских чтений по проблемы прочности» г. Санкт – Петербург. 2003 г с. 263).

67 Джежора А.А. Способ определения структурной влаги в материалах с ортогональной анизотропией Авторское свид. СССР № 1778661, G01R 27/26, 1992, Бюл. № , с.

68 Шиманский А.В., Джежора А.А., Завадский Ю.А. Использование метода комплексных переменных для расчета электростатических полей. Материалы XXXVI научно-технической конференции преподавателей и студентов ВГТУ г. Витебск.

69 Джежора А.А., Рубаник В.В. Прогнозирование прочностных свойств композиционных материалов» Материалы XV международной на научно-технической конференции «Физика прочности и пластичности материалов» г. Тольятти. 2003 с.211 - 213.

70 Логунова Е.Л., Сверденко А.Ю., Погосов В.Н., Джежора А.А., Завадский Ю.А. Метод комплексных переменных в расчете электростатических полей. Материалы XXXVII научно-технической конференции преподавателей и студентов ВГТУ г. Витебск. с. 38.

71 Войтеховская И.А., Погосов В.Н. Конформные преобразования при решении задач электростатики. // XXXVII Научно-техническая конференция преподавателей и студентов УО «ВГТУ»: тезисы доклада. – Витебск, 2005. – с.97.

72 Завацкий Ю.А., Погосов В.Н., Коваленко Т.В., «Математическое моделирование и разработка программного обеспечения для расчетов параметров систем накладных измерительных конденсаторов (НИК)»// Тезисы докладов XXXVIII научно-технической конференции преподавателей и студентов университета/УО «ВГТУ» Витебск: УО «ВГТУ», 2005. – 100с.

73 Положительное решение о предварительной экспертизе заявки на выдачу патента Республики Беларусь на изобретение - «Способ измерения рабочих емкостей плоских накладных измерительных конденсаторов».