

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования

«Витебский государственный технологический университет»

УДК: 685.34.036:678.01

Утверждаю

№ 20113535

Инв №



Проректор по научной работе

Е.В. Ванкевич

2013 г

ОТЧЕТ

О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

Разработка диэлькометрического метода неразрушающего
контроля состава и структуры полимерных материалов
(заключительный)

2014 – Г/Б - 384

Научный руководитель

к.т.н., доц.

15.12.2013

А.А. Джежора

Начальник НИЧ

18.12.2013

С.А. Беликов

Витебск 2013

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель темы:

К.т.н. 15.12.13  ДЖЕЖОРА А.А.
(введение, г.1, 2)

Исполнители:

К.ф.-м.н 15.12.13  САВЧУК В. К. (4)

Инженер 15.12.12  КУЗЬМИНИЧ А.В.
(4, программ. обеспечение)

нормоконтроль 15.12.13  НАУМЕНКО А.М. (3)



СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1 ОБЗОР РАБОТ В ОБЛАСТИ КОНТРОЛЯ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ	9
1.1 Направления отечественных и зарубежных исследований в области теории и практики применения электроемкостного метода неразрушающего контроля	9
1.2 Факторы и параметры материала, влияющие на характеристики емкостных преобразователей	14
2 РАЗРАБОТКА ДАТЧИКОВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ДИЭЛЬКОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ ВОЛОКОН ЛЬНА, ХЛОПКА	17
2.1 Расчет зеркально-симметричных накладных измерительных конденсаторов	17
2.1.1 Моделирование ЗСНИК, экспериментальные результаты	22
2.2 Численная модель предложенного многосекционного экранированного накладного измерительного конденсатора (ЭНИК) для контроля материалов, обладающих слабой анизотропией	23
3 Исследование анизотропии диэлектрических свойств волокон в области 1-100 кГц	27
3.1 Анализ чувствительности экранированных накладных измерительных конденсаторов к компонентам тензора диэлектрической проницаемости	27
3.2 Исследование анизотропии диэлектрической проницаемости и проводимости хлопка, льноволокна в области 1-100 кГц	29
4 РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ УСТРАНЕНИЯ ВЛИЯНИЯ КРАЕВОГО ЭФФЕКТА В ПЯТОЧНОЙ ЧАСТИ ЭЛЕКТРОДОВ НА РЕЗУЛЬТАТ КОНТРОЛЯ	33
4.1 Разработка методики устранения влияния краевого эффекта в пяточной части электродов на результат контроля анизотропии диэлектрических свойств ортотропных материалов	33
4.2 Макет влагомера	39
4.3 Вывод результатов измерения импеданса на монитор компьютера и на ЖКИ 16210 индикатор	39
4.4 Калибровка макета. Получение калибровочной характеристики. Оценка точности.	42
Заключение	44
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	47
ПРИЛОЖЕНИЕ	59

РЕФЕРАТ

Отчет 70 с., 26 рис., 3 табл., 201 источник. Диэлькометрия, полимеры, анизотропия, контроль, влажность.

Объектом исследования являются полимерные материалы.

Цель работы - разработка диэлькометрических методов и средств контроля состава и структуры полимерных материалов; исследование физико-механических свойств волокон льна, хлопка, смесей волокон диэлькометрическими методами неразрушающего контроля; разработка численных методов расчета электромагнитных полей низкой частоты в гетерогенных средах с учетом реальной толщины и рельефа поверхностей электродов датчиков, создание математических моделей первичных преобразователей.

Достижение цели позволит осуществлять контроль состава и структуры лент, определять процентное содержание волокон, контролировать их влажность, устранять погрешности, возникающие в диэлькометрическом методе контроля за счет колебаний температуры, влажности окружающей среды, давления, массы контролируемого материала, устранять несоответствия между теорией и практикой за счет учета влияния геометрических размеров самих электродов на выходные характеристики преобразователей.

В соответствии с календарным планом разработан диэлькометрический метод контроля состава и структуры полимерных материалов, влажности волокон (льна, хлопка). Разработаны:

- методика измерения анизотропии диэлектрических свойств ортотропных материалов;
- методика неразрушающего определения процентного содержания хлопка в смеси волокон льна и хлопка;
- методика неразрушающего контроля качества волокон хлопка;
- методика устранения влияния краевого эффекта в пяточной части электродов на результат контроля анизотропии диэлектрических свойств.

Разработаны программы для вывода информации на жидкокристаллический экран макета прибора и монитор компьютера. Программы позволяют выводить информацию на экран монитора ПК и жидкокристаллический индикатор ЖКИ 16210 макета прибора.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Матис, И.Г. Расчет электрического поля конденсатора при одностороннем расположении электродов / И.Г. Матис // Изв. Акад. наук Латв. ССР. Сер. физ.-техн. наук. -1965. -№ 5. -С. 77–91.
2. Матис, И.Г. Метод и оборудование для определения диэлектрических констант полимерных материалов при одностороннем доступе / И.Г. Матис // Механика полимеров. -1966. - №4. -С.380-383.
3. Матис, И.Г. О возможности многопараметрового контроля диэлектрических свойств слоистых полимерных материалов / И.Г. Матис // Изв. Акад. наук Латв. ССР. Сер. физ. - техн. наук. -1968.-№ 6.-С. 60–67.
4. Матис, И.Г. Расчет электрического поля системы высокопотенциальных и заземленных ленточных электродов / И.Г. Матис // Изв. Акад. наук Латв. ССР. Сер. физ.-техн. наук. -1969. -№ 5. -С.120–126.
5. Клотиньш, Э.Э. Исследование характеристик измерительных конденсаторов для неразрушающего контроля диэлектрических свойств полимерных материалов: дис. канд.техн. наук:/Э.Э. Клотиньш, – Рига, 1970. –223 л.
6. Матис, И.Г. Расчет электростатической емкости ленточных электродов в двухслойной и трехслойной среде / И.Г. Матис, К.Л. Озолс // Изв. Акад. наук Латв. ССР. Сер. физ.-техн. наук. -1971. -№ 5. -С. 93–101.
7. Матис, И.Г. Расчет электростатического поля соосных цилиндрических электродов / И.Г. Матис, К.Л. Озолс // Изв. Акад. наук Латв ССР. Сер. физ.-техн. наук. -1972. -№ 1. -С. 102–109.
8. Бергманис, К.А. Расчет электрического поля конденсаторов с цилиндрическим диэлектриком / К.А. Бергманис [и др.] //Механика полимеров. -1971. -№3. -С.526–530.
9. Матис, И.Г. Расчет электростатической емкости системы знакопеременно заряженных ленточных электродов в двухслойной и трехслойной среде / И.Г. Матис, К.Л. Озолс // Изв. Акад. наук Латв. ССР. Сер. физ.-техн. наук. -1972. -№ 1. -С. 110–116.
10. Матис, И.Г. Электронно-счетный прибор для измерения диэлектрической проницаемости ИДП-6 / И. Г. Матис // Механика полимеров. -1972. -№ 4. -С. 761–762.
11. Матис, И.Г. Использование высокочастотного электромагнитного метода для определения параметров слоистых диэлектриков / И. Г. Матис // Докл. I Всесоюзн. межвузовской конф. по электромагнитным методам контроля качества материалов и изделий. М., 1972. - 131с.
12. Матис, И.Г. К вопросу определения глубины и ширины зоны материала, контролируемого накладным конденсатором / И.Г. Матис// Методы и приборы автоматического контроля. - Рига, 1973. - Вып. 10. -С. 49–59.
13. Штраус, В.Д. Возможность автоматизации определения частного спектра диэлектриков методом анализа абсорбционного тока / В. Д. Штраус // Методы и приборы автоматического контроля. - Рига, 1975. -Вып. 13. - С. 77–87.
14. Матис, И.Г. Теория и применение накладных конденсаторов для неразрушающего контроля: автореф. дис. ... д-ра техн.наук: /И.Г. Матис. – Москва, 1976. - 46 с.
15. Матис, И.Г. Модуляционный способ многопараметрового электроемкостного контроля / И. Г. Матис, Д. Э. Паблак // Методы и приборы неразрушающего контроля. - Рига, 1982. - Вып. 6. - С. 34–39.
16. Спектрометр комплексной диэлектрической проницаемости: а.с. 1287043 СССР, МКИ5 G 01 R 27/26 / В.Д. Штраус, А.В. Калниньш, Я.А. Калниньш, Ю.Ю. Ротбахс; Институт механики полимеров АН ЛатвССР– № 3906273/24 – 21; заявл. 10.06.85; опубл. 30.01.87 // Открытия. Изобрет. - 1987.- № 4. –С.192.

17. Емкостная накладная ячейка для измерения диэлектрических характеристик материала: а.с. 1226348 СССР, МКИ5 G 01 R 27/26 / В.И. Зотов, И.Г. Матис, Х.Э. Слава Х.Э, А.В. Круминьш; Специальное конструкторское бюро научного приборостроения с опытным производством Института механики полимеров АН ЛатвССР и Институт механики полимеров АН ЛатвССР. -№ 3803899/24 – 21; заявл. 17.10.84; опубл. 23.04.86 // Открытия. Изобрет. - 1986.- № 15. -С. 174.
18. Матис, И.Г. Расчет напряженности электрического поля в проводнике прямоугольного сечения / И.Г. Матис // Изв. Акад. наук Латв ССР. Сер. физ.-техн. наук. -1971. -№ 4. -С. 70–74.
19. Матис, И.Г. Расчет электростатической емкости компланарных кольцевых электродов / И.Г. Матис, К.Л. Озолс // Изв. Акад. наук Латв. ССР. Сер. физ.-техн. наук. -1971 -№ 4. -С. 61–69.
20. Матис, И.Г., Клотиньш, Э. Э. Накладные датчики для неразрушающего определения диэлектрических свойств двухслойных сред / И. Г. Матис, Э. Э. Клотиньш // Механика полимеров. -1969. -№ 6. -С. 983-987.
21. Матис, И.Г. Двухпараметровый контроль диэлектрических свойств двухслойных сред / И. Г. Матис // Изв. Акад. наук Латв ССР. Сер. физ.-техн. наук. -1969. -№ 1. -С.46–53.
22. Устройство для измерения диэлектрической проницаемости: а.с. 1368816 СССР, МПК 4 G 01 R 27/26 / К.А. Бергманис, В.И. Зотов; Институт механики полимеров АН ЛатвССР. - № 4103996/24 – 21; заявл. 05.05.86; опубл. 23.01.88 // Открытия. Изобрет. – 1988. – № 3. - С.
23. Устройство для определения коэффициента анизотропии по диэлектрической проницаемости: а.с. 342138 СССР, МПК 6 G 01 R 27/26 / И.Г. Матис, К.А. Бергманис; Институт механики полимеров АН ЛатвССР. -№ 1434948/18 – 10; заявл. 04.05.70; опубл. 14.06.72 // Открытия. Изобрет. – 1972. – № 19. – С.189.
24. Измерительный конденсатор для контроля диэлектрических свойств анизотропных материалов: а.с. 287183 СССР, МПК 6 G 01 R 27/22 / И.Г. Матис; Институт механики полимеров АН ЛатвССР. - № 1327806/18 – 10; заявл. 05.05.69; опубл. 01.01.70 // Открытия. Изобрет. – 1970. – № 35. – С.80.
25. Способ определения анизотропных диэлектрических свойств материалов: а.с. 370513 СССР, МПК 6 G 01 N 27/22 / И.Г. Матис; Институт механики полимеров АН ЛатвССР. - № 16375557/26 – 25; заявл. 16.03.71; опубл. 15.02.73 // Открытия. Изобрет. – 1973. – № 11. – С.132.
26. I. G. Matis. K. A. Bergnianis, and E. E. Klotinsh. Device for measuring permittivity or materials //U.S. Patent No. 3.671.857. . Publication Date: 09/26/1972. Filing Date: 07/15/1970.
27. Bergmanis, K. A. et al. Device for measuring permittivity or materials // U.S. Patent No. 3,694,742, 05/055025. Publication Date: 09/26/1972. Filing Date: 07/15/1970.
28. Штраус, В.Д. Методики неразрушающего определения диэлектрической проницаемости анизотропных полимерных материалов / В. Д. Штраус // Механика полимеров. -1974. -№ 4. - С. 715–719.
29. Shtraus, V. D. Investigation of curing an epoxy resin by the polarization current method / V. D. Shtraus // *Polymer Mechanics*. -1978. -Vol. 14, №. 1. -P. 118-123.
30. Штраус, В.Д. Определение комплексной диэлектрической проницаемости полимерных материалов по поляризационному току /В.Д. Штраус// Механика полимеров. – 1976. -№3. - С.507-511.
31. Штраус, В.Д. Алгоритм вычисления частотной зависимости составляющих комплексной диэлектрической проницаемости и комплексной податливости /В.Д. Штраус// Механика полимеров. -1977.-№3. -С.524-530.
32. Слава, Х.Э. Математические модели электроемкостных первичных преобразователей для неразрушающего контроля полимерных материалов /Х.Э.Слава // Доклады по механике полимеров. Рига: Зинатне. -1977. - С.106-111.
33. Штраус, В.Д. Экспериментальные исследования информативности электрических релак-

- сационных характеристик к изменению физико-механических свойств композитов/ В.Д. Штраус// В кн.: Методы и средства диагностики несущей способности изделий из композитов. – Рига: Зинатне, 1983. -С.253-258.
34. Штраус, В. Д. Исследование информативности диэлектрических спектров для контроля неизотермического отверждения / В.Д. Штраус// Механика композитных материалов. – 2002. -Т. 38, № 2 . -С. 269–276.
35. Латишенко, В.А. Определение повреждаемости органо и углепластиков неразрушающими методами контроля/ В.А. Латишенко, И. Г. Матис //Механика композитных материалов. – 1982. -№ 3.- С.523-528.
36. Латишенко, В.А. Методы и средства изучения повреждаемости композиционных материалов / В.А. Латишенко, И. Г. Матис // Разрушения композиционных материалов. - Рига: Зинатне, 1979. -С. 189-195.
37. Матис, И. Г. Электроемкостные преобразователи для неразрушающего контроля / И. Г. Матис. - 2-е изд. – Рига: Зинатне, 1982. - 304с.
38. Матис, И.Г. Спектрометрические методы исследования структуры композитных материалов/ И. Г. Матис// Обзор: Механика композитных материалов. — 1991. – №2. -С. 320-334.
39. Matis, I. G. Multi-parameter dielectric relaxation spectrometry for quality control of composites / I. G. Matis, V. D. Shtrauss // *NDT International*. -1988. -V. 21, № 4. – P. 266-276.
40. Matis, I. G. Methods and means of inspecting the quality of composite materials / I. G. Matis // *Soviet Journal of Nondestructive Testing*. – 1991. -V. 27, № 4. – P. 277-285.
41. Матис, И.Г. Расчет емкости системы плоских проводников, находящихся в двухслойной среде несовершенных диэлектриков/ И.Г. Матис // Изв. Акад. наук Латв. ССР. Сер. физ.-техн. наук. -1974. -№ 2. -С. 87–94.
42. I. G. Matis. Frequency-dependent mathematical models for capacitive transducers. I. Models of heterogeneous media/ I. G. Matis // *Russian Journal of Nondestructive Testing*. -1995. -V. 31. № 4. - P. 257-265.
43. Shtrauss, V. and Lomanovskis, U. Multi-frequency capacitance tomography with linear sensors / V. Shtrauss, U. Lomanovskis // *BEC '96. The 5th Biennial Baltic Electronics Conference. Proceedings*, (Tallinn, Estonia). – 1996. –P. 155-158.
44. Shtrauss, V. Spectrum analysis and synthesis of relaxation signals / V. Shtrauss// *Signal Processing*. – 1997. -V.2. №. 2. -P. 107-119.
45. Senturia, S. D., Sechen, C. M. The use of the charge-How transistor to distinguish surface and bulk components of thin-film sheet resistance / S. D. Senturia, C. M. Sechen// *IEEE Transactions on Electron Devices*. – 1977. –V. ED-24. - P. 1207.
46. Jachowicz, R. S. and Senturia, S. D. A thin-film capacitance humidity sensor. / R. S. Jachowicz, S. D. Senturia // *Sensors and Actuators*. -1981. -V.2. - P. 171-186. 47. Senturia, S. D., Sheppard, N. F., Jr. Lee, H. L. and Day, D. R. In-situ measurement of the properties of curing systems with microdielectrometry / S. D. Senturia, N. F. Sheppard, Jr. H. L. Lee, D. R. Day // *Journal of Adhesion*. - 1982. -V. 15, №. 69. -P. 69-90.
48. Dielectric cure analysis: theory and industrial applications / N.T. Smith, D. D. Shepard // *Sensors*. - Oct. 1995. -V.12. -P.42-48.
49. Simpson, O., Bidstrup, S. JI. Modeling conductivity and viscosity changes during epoxy cure using TEG, DMA, and DSC / Simpson, O., Bidstrup, S. JI. // *Proceedings of the American Chemical Society. Division of Polymeric Materials: Science and Engineering. Fall Meeting*. -1993. - V. 69, № 3 -P. 451-452.
50. Sheppard, N. F., Day, D. R., Lee, H. L., Senturia, S. D. Microdielectrometry / N. F. Sheppard, D. R. Day, H. L. Lee, S. D. Senturia, // *Sensors and Actuators*. - July 1982. -V. 2. - P.263-274.
51. Senturia, S. D., Sheppard, N. F., Poll, S., Appelman, H. R. The feasibility of electrical monitoring of resin cure with the Charge-How transistor / S. D. Senturia, N. F. Sheppard, S. Poll, H. R. Appelman // *Polymer Engineering and Science*. - Feb. 1981. - V 21. - P. 113-118.

52. Senturia, S. D., Sechen, C. M., Wishneusky, I. A. The charge-How transistor: a new MOS device / S. D. Senturia, C. M. Sechen, I.A.Wishneusky // *Applied Physics Letters*. - 1977. - V. 30. - P. 106-108.
53. Sheppard, N. F., Garverick, S. L., Day, D. R., Senturia S. D. Microdi-electrometry: a new method for in situ cure monitoring / N. F. Sheppard, S. L Garverick., D. R. Day, S. D. Senturia // *Proceedings of the 26th SAMPE Symposium*, Los Angeles. - Apr. 1981. - P. 65-76.
54. Senturia, S. D., Garverick, S. L., Togashi, K. Monolithic integrated circuit implementations of the charge-How transistor oscillator moisture sensor /S. D.Senturia, S. L. Garverick, K.Togashi // *Sensors and Actuators*. - Aug. 1981. - V.2. -P. 59-71.
- Открытие. Изобрет. Пром. обр. Тов. знаки. - 1988. - Senturia, S. D., Rubinstein, J., Azoury, S., Adler, D. Determination of the Held effect in low-conductivity materials with the charge-How transistor / S. D. Senturia, I. Rubinstein, S.I. Azoury, D. Adler. // *Journal of Applied Physics*. - May 1981. - V. 52. - P. 3663-3670.
56. Davidson T. M., Senturia, S. D. The moisture dependence of the electrical sheet resistance of aluminium oxide thin films with application to integrated moisture sensors/ T. M. Davidson, S. D. Senturia // *International Reliability Physics Symposium. 20th Annual Proceedings*. (New York. NY). - Mar. 1982. -P. 249-252.
57. Garverick, S. L., Senturia S. D. An MOS device for AC measurement of surface impedance with application to moisture monitoring / S. L. Garverick, S. D. Senturia // *IEEE Transactions on Electron Devices*. - Jan. 1982. - V. ED-29. -P. 90-101.
58. Senturia, S. D., Sheppard, N. F., Jr. Lee, H. L., Marshall, S. B. Cure monitoring and control with combined dielectric/temperature probes/ S. D. Senturia, N. F. Sheppard, Jr., H. L. Lee, S. B. Marshall // *Proceedings of the 28th SAMPE Symposium*, (Anaheim. CA). - Apr. 1983. -P. 851-861.
59. Lewis, T. JI. The role of electrodes in conduction and breakdown phenomena in solid dielectrics / T. JI. Lewis // *IEEE Transactions on Electrical Insulation*. -June, 1984. - V. EI-19. -P 210—216.
60. D. E. Kranbuehl, S. E. Delos, P. Лиe. T. P. Jarvie, and S. A. Williams. Dynamic dielectric characterization of thermosets and thermoplastics using intrinsic variables / D. E. Kranbuehl [и др.] // *Proceedings of the 29th SAMPE Symposium*, (Reno. NV), Apr. 1984. -P.1251-1257.
61. Sheppard, N. F., Colin, M. Jr., Senturia, S. D. A dielectric study of the time-temperature transformation (TTT) diagram of DGEBA epoxy resins cured with DDS / N. F. Sheppard, Jr., M. Colin, S. D. Senturia // *Proceedings of the 29th SAMPE Symposium*, (Reno, NV). Apr. 1984. -P. 1243-1250.
62. Day, D. R., Lewis, T. JI., Lee, H. L., Senturia S. D. The role of boundary layer capacitances at blocking electrodes in the interpretation of dielectric cure data in adhesives / D. R. Day [и др.] // *Journal of Adhesion*. - 1984. -P. 73-90.
63. Kranbuehl, D. E., Delos, S. E., Yi, E.. Measurement and application of dielectric properties / D. E. Kranbuehl, S. E. Delos, E. Yi. // *SPIE Technical Papers*. - 1985. - V. 31(311). -P. 73-90.
64. Denton, D.D., Day, D. R., Priore, D. F., Senturia, S. D., Anolick, E. S., Scheider, D. Moisture diffusion in polyimide films in integrated circuits/ D. D. Denton [и др.] // *Journal of Electronic Materials*. - 1985. - V. 14, № 2.- P. 119-136.
65. Denton, D. D., Camou, JI. B., Senturia, S. D. Effects of moisture uptake on the dielectric permittivity of polyimide films/ D. D. Denton, JI. B. Camou, S. D. Senturia // *Proceedings of the 1985 International Symposium on Moisture and Humidity*. (Washington, D.C.), Apr.1985. -P. 505-513.
66. Coln, M. C. W., Senturia, S. D. The application of linear system theory to parametric microsensors /M. C. W. Coin and S. D. Senturia// *TRANSDUCERS '85. 1985 International Conference on Solid- State Sensors and Actuators*, (Philadelphia. PA), June 1985.- P.118-121.
67. Denton, D. D., Senturia, S. D., Anolick, E. S., Scheider, D. Fundamental issues in the design of polymeric capacitive moisture sensors /D. D. Denton [и др.] // *TRANSDUCERS '85. 1985 International Conference on Solid- State Sensors and Actuators*, (Philadelphia. PA), June 1985. -P. 202-205.

68. Senturia, S. D. An approach to chemical microsensor packaging / S. D. Senturia // *TRANSDUCERS '85. 1985 International Conference on Solid-State Sensors and Actuators*, (Philadelphia, PA), June 1985. –P. 198-201.
69. Bromberg, M. L., Day, D. D., Suable, K. R. Measurement and application of dielectric properties / M. L. Bromberg, D. D. Day, K. R. Suable // *IEEE Electrical Insulation Magazine*. May 1986. - V.2. -P.18-23.
70. Smith, F. W., Neuhaus, H. J., Senturia, S. D., Feit, Z., Day, D., Lewis, T. Electrical conduction in polyimide between 20 and 350°C / F. W. Smith [и др.] // *Journal of Electronic Material*. - 1987. - V.16, №1. -P.93-106.
71. P. D. Aldrich, S. K. Thurow. M. .1. M.Kennon, and M. E. Lyssy. Dielectric relaxation due to absorbed water in various thennosets / P. D. Aldrich [и др.] // *Polymer*.- Dec. 1987. - V. 28. - P.2289-2296.
72. Day, D. R., Shepard, D. D. Dynamic cure and diffusion monitoring in thin encapsulant films / D. R. Day, D. D. Shepard // *Nondestructive Monitoring of Materials Properties Symposium* (J. Holbrook and .1. Bussiere, eds.), (Boston, MA), Nov. 1988. -P.227-232.
73. Bellucci, F. , Khamis, I., Senturia, S. D., Latanision, R. M. Moisture effects on the electrical conductivity of Kapton polyimide / F. Bellucci [и др.] // *Journal of the Electrochemical Society*. - 1990. - V.137, №6. -P.1778-1784.
74. Nabors, K., Kim, S., White, I., Senturia, S. Fast capacitance extraction of general three-dimensional structures/ K. Nabors [и др.]// *IEEE International Conference on Computer Design: VLSI in Computers and Processors*, (Cambridge, MA), Oct. 1991. -P.479-484.
75. Day, D. R., Shepard, D. D., Craven, K. J. A microdielectric analysis of moisture diffusion in thin epoxy/amine films of varying cure state and mix ratio / D.R. Day, D. D. Shepard, K.J. Craven // *Polymer Engineering and Science*, Apr. 1992. –V.32. - P. 524-528.
76. Sheppard, N.F., Jr. Design of a conductimetric microsensor based on re-versibly swelling polymer hydrogels / N. F. Sheppard, Jr. // *Proceedings of 6th International Conference on Solid-State Sensors and Actuators (Transducers'91)*, (San Francisco, CA), June 1991.- P. 773-776.
77. Sheppard, N. F., Jr., Tucker, R. C., Wu, C. Electrical conductivity measurements using micro fabricated interdigitated electrodes / N. F. Sheppard, Jr., R. C. Tucker, C. Wu // *Analytical Chemistry*. - May 1993. - V. 65. -P.1998-2002.
78. Senturia, S. D. Correlated methods for evaluating polymer properties, interfaces, and adhesion / S. D. Senturia // *International Journal of Microelectronics Packaging, Materials and Technologies*, 1995. – V.1, №1. – P. 43-50.
79. A. R. K. Ralston. C F. Klein. P. E. Thoma. and D. D. Denton. A model for the relative environmental stability of a series of polyimide capacitance humidity sensors / A. R. K. Ralston [и др.]// *Sensors and Actuators B (Chemical)*. - Aug. 1996. - V.B34. -P.343-348.
80. Скрипник, Ю.А. Измерение толщины диэлектрических материалов / Ю.А. Скрипник // *Изв. вузов. Технология легкой промышленности*. -1980. -№ 5. -С. 106–109.
81. Измеритель толщины полимерных пленок: а.с. № 966488 СССР, МКИ G 01 В 7/06. / Н.М.Свиридов, Ю.А. Скрипник, А.М.Свиридов, В.А.Ефремов, А.Н.Ильенко; Киевский технологический институт легкой промышленности. - № 3293047/18-28; заявл. 27.03.81; опубл. 15.10.82. // *Открытия. Изобрет.* - 1982.- № 38. -С. 191.
82. Скрипник, Ю.А. Контроль параметров технологических процессов в легкой промышленности / Ю.А. Скрипник, В.А. Дубровский, Б.А. Танюк. – Киев: Техника, 1980. – 240 с.
83. Скрипник, Ю.А. Повышение точности измерительных устройств/ Ю.А. Скрипник. – Киев: Техника, 1976. – 264 с.
84. Дыков, А.Н. Автоматический контроль толщины полимерных покрытий на тканевой основе / А.Н. Дыков [и др.] // *Изв. вузов. Технология легкой промышленности*. -1987. -№ 3.- С. 108–114.

85. Заграй, Я.М. Кондуктометрический метод контроля технологических растворов и сред / Я.М. Заграй [и др.] // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. -1990. -№ 4. -С. 102–107.
86. Измеритель толщины диэлектрических материалов: а. с. 958846 СССР, МКИ G 01 В 7/06 / Н.М. Свиридов, Ю.А. Скрипник, А.М. Свиридов, А.П. Бурмистенков, В.Т. Марченко; Киевский технологический институт легкой промышленности. № 3251547/18 – 28; заявл. 27.02.81; опубл. 15.09.82 // Открытия. Изобрет. - 1982.- № 34. -С. 187.
87. Устройство для контроля диэлектрических потерь в двухслойных материалах и средах: а. с. 1073679 СССР, МКИ G 01 N 27/22 / Ю.А. Скрипник, Б.А. Иванов, Н.М. Свиридов, В.И. Ручкин, П.Т. Захаров; Киевский технологический институт легкой промышленности. -№ 3513382/18 – 25; заявл. 12.11.82; опубл. 15.02.84 // Открытия. Изобрет. - 1984.- № 6. - С. 153.
88. Устройство для контроля многослойных диэлектриков: а. с. 1095101 СССР, МКИ G 01 R 27/26 / Б.А. Иванов, В.И. Ручкин, П.Г. Захаров, И.А. Федорина, Н.Р. Папенко, Н.А. Поколюхин, С.С. Валова; Киевский технологический институт легкой промышленности. -№ 3548961/18 – 21; заявл. 08.02.83; опубл. 30.05.84 // Открытия. Изобрет. - 1984.- № 20 -С. 108.
89. Измеритель толщины полимерных пленок: а. с. 1124178 СССР, МКИ G 01 В 7/06 / Ю.А. Скрипник, Н.М. Свиридов; Киевский технологический институт легкой промышленности. - № 3557400/18 – 28; заявл. 21.02.83; опубл. 15.11.84 // Открытия. Изобрет. - 1984.- № 42 - С. 122.
90. Струнский, М.Г. Расчет частичных емкостей в трехэлектродных симметричных емкостных преобразователях / М.Г.Струнский [и др.] // Электричество. -1978. -№ 6. - С. 33–38.
91. Горбов, М. М. Исследования электроемкостных первичных измерительных преобразователей поперечных размеров протяженных цилиндрических изделий: дис. ... д-ра техн. наук: / М. М. Горбов. - Барнаул, 1980. - 402 л.
92. Струнский, М.Г. Бесконтактные емкостные микромеры / М.Г. Струнский, М. М. Горбов. - Ленинград, 1986. -134 с.
93. Mamishev, A. V., Sundara-Rajan, K., Yang, F., Du, Y. Q., Zahn, M. Interdigital Sensors and Transducers / A. V. Mamishev [и др.]// *Proceedings of the IEEE*, May 2004. - V.92, №5. -P. 808-845.
94. Zaretsky, M. C., Melcher, J. R. Complex permittivity measurements of thin films using microdielectrometry / M. C. Zaretsky and J. R. Melcher // *Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena*. (Claymont, DE), Nov. 1986. -P.462-471.
95. Guggenberg, P. A., Zaretsky, M. C. Estimation of one-dimensional complex-permittivity profiles: a feasibility study / P. A. von Guggenberg, M. C. Zaretsky // *Journal of Electrostatics*. - Mar. 1995. - V.34. -P.263-277.
96. Zaretsky, M. C., Melcher, J. R., Cooke, C. M. Moisture sensing in transformer oil using thin-film microdielectrometry / M. C. Zaretsky, J. R. Melcher, C. M. Cooke // *IEEE Transactions on Electrical Insulation*, Dec. 1989. –V. 24. - P.1167-1176.
97. Zaretsky, M. C., Li, P., Melcher, J. R. Estimation of thickness, complex bulk permittivity and surface conductivity using interdigital dielectrometry / M. C. Zaretsky, P. Li. and J. R. Melcher // *IEEE Transactions on Electrical Insulation*. - Dec. 1989. - V.24. - P.1159-1166.
98. Sheiretov, Y. K. and Zahn, M. Dielectrometry measurements of moisture dynamics in oil-impregnated pressboard / Y. K. Sheiretov and M. Zahn // *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*. -June 1995. -V.2. - P. 329-351.
99. Sheiretov, Y. K., Zahn, M. Dielectrometry measurements of spatial moisture profiles in oil-impregnated pressboard / Y. K. Sheiretov and M. Zahn // *IEEE International Conference on Properties and Applications of Dielectric Materials*. (University of Queensland. Brisbane. Australia), July 1994. -P.701-704.
100. Zaretsky, M. C., Mouayad, L., Melcher, J. R. Continuum properties from in-terdigital electrode dielectrometry / M. C. Zaretsky, L. Mouayad, J. R. Melcher // *IEEE Transactions on Electrical Insulation*. - Dec. 1988. - V.23. - P. 897-917.

101. Zaretsky, M. C. *Parameter Estimation Using Microdielectrometry with Application to Transformer Monitoring* / M. C. Zaretsky // Ph.D. Thesis, Department of Electrical Engineering and Computer Science, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, 1987.
102. A. V. Mamishev. *Interdigital Dielectrometry Sensor Design and Parameter Estimation Algorithms for Nondestructive Materials Evaluation* // Ph.D. Dissertation, Department of Electrical Engineering and Computer Science, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, 1999. – P.24.
103. Starzyk, F. Interdigit dielectrometry of water vapour induced changes in granular starch / F. Starzyk // *Journal of Archives of Materials Science and Engineering*. - Jan. 2008. - V. 29. - P.30-35.
104. Kolesar, E. S. and Wiseman, J. M. Interdigitated gate electrode held effect transistor for the selective detection of nitrogen dioxide and diisopropyl methylphosphonate/ E. S. Kolesar and J. M. Wiseman // *Analytical Chemistr.*- 1989. - V. 61. - P.2355-2361.
105. Gardner, J. W. Intelligent gas sensing using an integrated sensor pair / J. W. Gardner // *Sensors and Actuators B*. -1995. – V.26-27. - P. 261-266.
106. Кряжева, В.И. Использование компланарных конденсаторов для измерения влажности / В.И. Кряжева, Л.Р. Спириденкова // *Материалы XI науч. конф. Восточного Сибирского технологического ин-та. Секция техн. наук. Улан-Удэ, 1973.*- С. 94–98.
107. Li, X., Zyuzin, A., Mamishev, A. V. Measuring Moisture Content in Cookies Using Dielectric Spectroscopy/ X. Li, A. Zyuzin, A. V. Mamishev // *IEEE Conference on Electrical Insulation and Dielectric Properties, 2003.*- P. 459 – 462.
108. Курбатов, В.М. Емкость конденсатора с электродами гребенчатой формы / В.М. Курбатов, Ю.П. Пресняков // *Электричество*. - 1975. - № 6. -С. 84–86.
109. Емкостной датчик: а. с. 1385090 СССР, МКИ G 01 R 27/26 / А.В. Моргунов, А.С. Фомин, С.Г. Степычев, В.А. Игнатов, В.Д. Коржов, Ю.К. Шипалов; Ивановский химико-технологический институт. - № 3673434/24 – 21; заявл. 05.10.83; опубл. 30.03.88 // *Открытия. Изобрет.* - 1988.- № 12 - С. 186.
110. Емкостной датчик для измерения физико-химических свойств рыхлых и сыпучих веществ: а. с. 1182370 СССР, МКИ G 01 N 27/22 / В.В. Анохин, Н.М. Свиридов, В.А. Ефремов, А.М. Свиридов, В.Н. Гладкий, Е.С. Торосян, Т.В. Белая; Киевский технологический институт легкой промышленности. - № 3724621/24 – 25; заявл. 11.04.84; опубл. 30.09.85 // *Открытия. Изобрет.* - 1985.- № 36. -С. 163.
111. Емкостной влагомер: а. с. 1239577 СССР, МКИ G 01 N 27/22 / Ю.А. Скрипник, Н.И. Свиридов; Киевский технологический институт легкой промышленности. -№ 3766564/24 – 25; заявл. 06.07.84; опубл. 23.06.86 // *Открытия. Изобрет.* - 1986.- № 23. -С. 161.
112. Способ измерения влажности: а. с. 1165967 СССР, МКИ G 01 N 27/22 / В.С. Ройфе, К.Д. Тухарелли; Научно-исследовательский институт строительной физики. - № 3646937/24 – 25; заявл. 29.09.83; опубл. 07.07.85 // *Открытия. Изобрет.* - 1985.- № 25. - С. 152.
113. Емкостная накладная ячейка для измерения диэлектрических характеристик материала: а. с. 1226348 СССР, МКИ G 01 R 27/26 / В.И. Зотов, И.Г. Матис, Х.Э. Слава Х.Э, А.В. Круминьш; Специальное конструкторское бюро научного приборостроения с опытным производством Института механики полимеров АН ЛатвССР и Институт механики полимеров АН ЛатвССР. - № 3803899/24 – 21; заявл. 17.10.84; опубл. 23.04.86 // *Открытия. Изобрет.* - 1986.- № 15. - С. 174.
114. Dual frequency admittance gouge having improved frequency response unrelated to feedback response time: pat. USA N 3504280, 1970 / R.V. Byrd.
115. Method and apparatus or reducing the effect of process noise in the output signal of a dual frequency material property measuring system: pat. USA N 3496460, 1970 / R.W. Martin
116. Тареев, Б.М. Физика диэлектрических материалов / Б.М. Тареев. – М.: Энергия, 1973. - 328 с.
117. Способ измерения объемного соотношения компонентов двухслойного стеклопластика: а. с. 391498 СССР, МПК 6 G 01 R 27/28 / А.С. Бернштейн, Н.Н. Каримов, Х.К. Шаков; Мос-

ковский станкоинструментальный институт. – № 1476704/26 – 09; заявл. 03.09.70; опубл. 25.07.73 // Открытия. Изобрет. - № 31. – С.141.

118. Любутин, О.С. Устройство для автоматического контроля и регулировки распределения стеклонитей в стеклопластике / О.С. Любутин [и др.] // Изв. вузов. Электромеханика. -1966.- № 6. -С. 681–683.

119. Сеницкий, В.А. Неразрушающий контроль стекловолокна и связующего в изделиях из стеклопластика горячего прессования / В.А. Сеницкий // Труды ЦНИИТ судостроения. - 1969. -Вып. 88. -С. 67–80.

120. Арш, Э.И. Высокочастотный автогенераторный контроль в горном деле / Э.И. Арш. – М.: Недра, 1974. -190 с.

121. Потапов, А.И. Неразрушающий контроль конструкций из композиционных материалов / А.И. Потапов, Ф.П. Пеккер. – Л.: Машиностроение, 1974. -190 с.

122. Липатов, Ю.С. Исследование молекулярной подвижности в эпоксидных полимерах на различных стадиях отвержения в объеме и на границе раздела / Ю.С. Липатов [и др.] // ВМС. – 1971.– №11. -С. 2601-2606.

123. Burrell, C.M. A dielectric constant method of following the non-stationary state in polymerization / C.M. Burrell, T.G. Majury, H.W. Melville // Proc. Roy. Soc. Ser. A. -1951, -V.205, N 1082. - P. 309–335.

124. Washabaugh, A., Sheiretov, Y., Schlicker, D. E. , Goldfine, N. J. NonContact Capacitive Sensing Dielectrometers for Characterization of Adhesives and Epoxies // ASNT Fall Conf., Indianapolis, IN, USA, 2000. -P.155-157.

125. Bura, A. J., Roth, S. C., McBrearty, M. In-line dielectric monitoring during extrusion of filled polymers / Anthony J. Bura and Steven C. Roth, Michael McBrearty// Review of scientific instruments. - May 2002. -V. 73, № 5. P.2097-2102.

126. Богданова, Г.С. Влияние термической обработки на диэлектрические свойства и структуру стекол систем $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SrO} - \text{TiO}_2$ и $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{BaO} - \text{TiO}_2$. / Г.С. Богданова, Е.М Орлова., М.Н Павлушкин // Стеклообразное состояние и строение стекла. Ереван, 1974. - С. 82–84.

127. Богданова, Г.С. Зависимость диэлектрических потерь β -сподулиновых ситалов от их состава и режима термообработки / Г.С. Богданова [и др.] // Изв. АН СССР. Неорганические материалы. -1973. -Т. 9. -С. 2047–2050.

128. Горбова, Г.М. Приборы контроля линейных микроперемещений на основе бесконтактных электроемкостных трехэлектродных первичных измерительных преобразователей: дисс. ... д-ра техн наук: 05.11.13/ Г.М. Горбова. - Барнаул, 2003. –289л.

129. Накладной емкостной датчик для толщины полимерных пленок: а. с. 953445 СССР, МПК 6 G 01 B 7/08. / Ю.А. Скрипник, Н.М. Свиридов, Б.А. Иванов, А.М. Свиридов; Киевский технологический институт легкой промышленности. - № 2990777/25-28; заявл. 10.10.80; опубл. 25.08.82. // Открытия. Изобрет. – № 31. – С. 226.

130. Скрипник, Ю.А. Диэлектрические методы контроля свойств материалов и веществ. Сообщение 1 / Ю.А. Скрипник [и др.] // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. - 1991. -№ 1. -С. 108–114.

131. Скрипник, Ю.А. Диэлектрические методы контроля свойств материалов и веществ. Сообщение 2 / Ю.А. Скрипник [и др.] // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. - 1991. -№ 2. -С. 118–123.

132. Лебедева, Н. И. Емкостный метод измерения толщины диэлектрических слоев в образцах с лунками/ Н. И.Лебедева, Н. С.Несмелов // Приборы и техника эксперимента. - 1974. - № 2. - С. 244—245.

133. Курбатов, В.М. Емкостной преобразователь для измерения толщины тонких диэлектрических слоев / В.М. Курбатов, Ю.П. Пресняков // Измерительная техника. -1974. -№ 11. -С. 69–70.
134. Горобов, М.М. Система автоматического измерения диаметра электропроводящего волокна / М.М. Горобов [и др.] // Механизация и автоматизация производства. - 1976. -№ 4. -С. 24–25.
135. Струнский, М.Г. Расчет частичных емкостей в емкостных преобразователях с учетом формы поперечного сечения контролируемого проводника / М.Г. Струнский [и др.] // Электричество. -1980. -№ 9. -С. 25–32.
136. Грохольский, А.Л. Емкостные первичные измерительные преобразователи диаметра неизолированного микропровода / А.Л. Грохольский [и др.] // Измерение, контроль, автоматизация. - М., 1978. - Т. 2. -С. 16–23.
137. Baxter, Larry K. Capacitive Sensors: Design and Applications/ Larry K. Baxter. - IEEE Pres, 1996. -320 P.
138. Способ контроля шероховатости электропроводящей поверхности: а. с. 1130735 СССР, МКИ G 01 R 7/34 / В.С. Григорьев, И.И. Воячек, А.С. Глинкин, В.В. Данилов; Пензенский политехнический институт. - № 3492053/25 – 28; заявл. 17.09.82; опубл. 23.12.84 // Открытия. Изобрет. - 1984.- № 47. -С. 115.
139. Способ измерения шероховатости и неровности поверхности: а.с. 1019232 СССР, МКИ G 01 B 7/34 / Е.А. Хагемейстер, А.Е. Мишин; Кировский политехнический институт и Ленинградский государственный ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени университет им. А.А.Жданова. -№ 2923124/25 – 28; заявл. 07.04.80; опубл. 23.05.83 // Открытия. Изобрет. - 1983.- № 19. -С. 117.
140. Нуберт, Г.П. Измерительные преобразователи неэлектрических величин / Г.П. Нуберт. - Л.: Энергия, 1970. -360 с.
141. Герасимов, Н.П., Цейтлин, Я.М., Ефремов, Ю.П., Шестопалов, Ю.Н. Состояние и перспективы развития измерений и размерного контроля геометрических величин / Н.П.Герасимов [и др.] // Измерительная техника. -1984. -№11. – С. 14-16.
142. Цейтлин Я.М., Скачко Ю.В., Капырин В.В. Модифицированные струнные преобразователи для измерения геометрических величин / Я.М. Цейтлин, Ю.В. Скачко, В.В. Капырин. - М.; Изд-во стандартов, 1989. - 264 с.
143. Цейтлин, Я.М. Синтез высокоточных систем измерения геометрических величин в машиностроении при воздействии денормализующих факторов: автореф. дисс. ... д-ра техн наук: 05.11.01/ Я.М. Цейтлин; НПО ВНИИМ им. Д.И. Менделеева. -Л., 1990.- 50 с.
144. Craig, D. Q. M. *Dielectric Analysis of Pharmaceutical Systems*. Taylor & Francis Group. 1995. P 232.
145. Li, X. Instrumentation and Inverse Problem Solving tor Impedance Imaging Ph.D. Department of Electrical Engineering University of Washington Graduate School, 20060146. Robert B. Mcintosh and Mark E. Casada. Fringing field capacitance sensors for measuring the moisture content of agricultural commodities // *IEEE Sensors Journa*. - March, 2006. - V.8, № 3. - P.240-247.
147. Johnson, P. M., Thiel, D. V., James, D. A. Contributions to the Measured Capacitance by the Dielectric Properties of Water in Insulated Electrode Soil/ P. M. Johnson, D. V. Thiel, D. A. James// *Moisture Sensors, Sensors Proceedings of IEEE*. – 2002. - V.1. - P. 495-498.
148. Saxena, A. V. et al. Design and fabrication of a MEMS capacitive chemical sensor system // *IEEE Workshop on Microelectronics and Electron Devices*. 14 April. 2006. -P. 17 - 19.
149. Varadan V. K., Varadan, V.V., Bao X. Q. Integration of interdig-ial transducers. MEMS and antennas for smart structures / V. K. Varadan, V. V. Varadan, X. Q. Bao // *Proc. Smart Electronics and MEMS Conf*, 1996. - P. 95-106.

150. Bart, S. F., Lobar, T. A., Howe R.T., Lang, J. H., Schlecht, M. F. Design considerations for micromachined electric actuators/ S. F. Bart [и др.] // *Sensors and Actuators*. - 1988. - V. 14. -P. 269-292.
151. Feinman, R. Infinitesimal machinery / R. Feinman // *Journal of Microelectronechanical Systems*. - Mar. 1993. - V.2. - P. 170-178,
152. Frazier, A. B., Warrington, R. O., Friedrich, C. The miniaturization technologies: Past, present, and future / A. B. Frazier, R. O. Warrington, and C. Friedrich // *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. - Oct. 1995. - V.42. - P. 423-430.
153. Fluirman, J. Microsystems technology: Objectives / J. Fluirman // *Sensors and Actuators A*. - 1996. - V.56. - P. 423-430.
154. Sentnria, S. D. The future of microsensors and microactuator design / S. D. Sentnria// *Sensors and Actuators A*. - Mar. 1996. - V. 56. - P. 151-166.
155. Джашитов, В.Э., Панкратов, В.М., Барулина, М.А. Математическое моделирование датчика давления в условиях механических и тепловых ударов / В.Э. Джашитов, В.М. Панкратов, М.А. Барулина // *Датчики и системы*. - 2009. - № 8. - С. 37 - 40.
156. Вавилов, В.Д., Вавилов, И.В., Долгов, А.Н. Робастное управление микросистемным гироскопом/ В.Д.Вавилов, И.В.Вавилов, А.Н. Долгов // *Датчики и системы*. - 2009. - № 11. - С. 17 - 19.
157. A T. J. Plum, V. Saxena and J.R. Jessing. Design of a MEMS Capacitive Chemical Sensor Based on Polymer Swelling // *submitted to IEEE WMED2006*.
158. Beving, H., Eriksson, G. Dielectric-Spectroscopy of Human Blood / H. Beving, G. Eriksson // *European Journal of Surgery*. - 1994. - P. 87-89.
159. K. Asami, T. Yonezawa, H. Wakamatsu, and N. Koyanagi. Dielectric Spectroscopy of Biological Cells / K. Asami [и др.] // *Bioelectrochemistry and Bioenergetics*. -Aug. 1996. - V.40, № 2. - P.141-145.
160. Wah On Ho, S. Krause, C.J. Mc Neil. Electrochemical sensor for measurement of urea and creatinine in serum based on ac impedance measurement of enzyme-catalyzed, polymer transformation / Wah On Ho, S. Krause, C.J. Mc Neil // *Analytical Chemistry*. -1999. - V.71. - P. 1940-1946.
161. Giuseppe-Elie, A., Wallace, G.G., Matsue, T. Chemical and biological sensors based on electrically conducting polymers / A. Gusepi-Elie, G.G. Wallace, T. Maisue // *Handbook of Conductive Polymers 2nd Edition*, Marcel Dekker, NY 1998. P 540.
162. Cullen, D. C., Selhi, R. S., Lowe., C. R. Multi-analyte miniature conductance biosensor / D. C. Cullen, R. S. Selhi, C. R. Lowe // *Analvtica Chimica Acta*. - 1990. -V. 231. - P. 33-40.
163. Sensor for chemical and biological materials: pat. USA N 6730212 B1/ Frederick G. Yamagishi, Thomas B. Stanford, Jr., Camille I. Van Ast; Hrl Laboratories, Llc.- USA 9/679,428: 03.10. 2000: 04.05.2004.
164. Balaji Srinivasan et al. Mechanical Engineering Bldg., University of Arkansas, Fayetteville, Ar 72701.Simulation Of An Electrical Impedance Based Microfluidic Biosensor For Detection Of E. Coli Cells / Balaji Srinivasan // *COMSOL Users Conference Boston, 2006*. -P. 2-3.
165. Штыков, С.Н., Русанова, Т.Ю. Наноматериалы и нанотехнологии в химических и биохимических сенсорах: возможности и области применения/ С.Н. Штыков, Т.Ю. Русанова // *Рос. хим. ж. Ж. Рос. хим. Об-ва им. Д.И. Менделеева*.- 2008. - Т. LII, №2. - С. 93-100.
166. Михайлов, Н.В. Метод определения ориентации в полимерных материалах по диэлектрической проницаемости / Н.В. Михайлов [и др.] // *Высокомолекулярные соединения*. - 1965. -Т. VII, № 3. -С. 411-416.
167. M. Marealkova, A. Richter. Method of measurement anisotropy of electrical materials properties // *2 International textile, clothing design conference - Magic World of Textiles*, October, 2004. - P. 2-6.
168. Richter, A.; Odvarka, J.; Marsalkova M.: Device and method of measurement anisotropy of resistivity of materials, TU Liberec, patent application PV 2003-2885, PS 3393CZ, 21.10.2003

169. Styra Darius. *Electrical capacitance measurement in multielectrode systems*: Summary of Doctoral Dissertation Technological Sciences, Measurement Engineering (10T), Kaunas University of Technology. - Kaunas, 2008.-29 P.
170. Garg, A., Le Coz, Y. L., Greub, H. J., Iverson, R. B., Philhower, R. F., Campbell, P. M., Maier, C. A., Steidl, S. A., Ernest, M. W., Kraft, R. P., Carlough, S. R., Perry, J. W., Krawczyk, T. W., McDonald, J. F. Accurate High-Speed Performance Prediction for Full Differential Current-Mode Logic: The Effect of Dielectric Anisotropy / A.Garg [и др.] // *IEEE Transactions on computer-aided design of integrated circuits and systems*. - February 1999. -V. 18, № 2. - P. 212-219.
171. Казанцева, И.А. Метод измерения электрических параметров анизотропных материалов / И.А. Казанцева [и др.] // *Труды МЭИ*. -1953. -Т. 14. -С. 211.
172. Li, X. B., Larson, S. D., Zyuzin, A. S., Mamishev, A. V. Design Principles for Multichannel Fringing Electric Field Sensors / X. B. Li [и др.] // *Sensors Journal, IEEE*. – 2006. - V.6, № 2. - P.434-440.
173. Иоссель, Ю.Я. Расчет электрической емкости / Ю.Я. Иоссель, Э.С. Качанов, М.Г. Струнский. Л.: Энергия, 1960. -240 с.
174. Li, X. J., de Jong, G., Meijer, G. C. M. The Application of the Capacitor's Physics to Optimize Capacitive Angular-Position Sensors / X. J. Li, G. de Jong, G. C. M. Meijer// *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*. – 1997. V. 46, №1. - P. 8-14.
175. S. Gevorgian, T. Martinsson, P. L. J. Linner, and E. L. Kollberg. CAD Models for Multilayered Substrate Interdigital Capacitors / S. Gevorgian [и др.] // *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*. - June 1996. - V. 44, № 6. - P. 896-904.
176. Igreja, R., Dias, C. J. Analytical Evaluation of the Interdigital Electrodes Capacitance for a Multi-Layered Structure / R. Igreja, C. J. Dias // *Sensors and Actuators A-Physical*. – 2004. - V.112, № 2-3. - P.291-301.
177. M. Zahn, *Electromagnetic Field Theory: A Problem Solving Approach*. Malabar, FL: Krieger, 2003. –723 P.
178. Сочнев, А.Я. О классе плоскомеридианальных полей, идентичных по геометрической структуре плоскопараллельным полям /А.Я. Сочнев // *Электричество*. -1966. -№ 10. - С. 48–52.
179. P. A. von Guggenberg, Application of interdigital dielectrometry to moisture and double layer measurements in transformer insulation, Ph.D. dissertation, Dept. Elect. Eng. Comput. Sci., Massachusetts Inst. Technol., Cambridge, 1993. –264 P.
180. Mamishev, A. V., Lesieutre, B. C., Zahn, M. Optimization of Multi-Wavelength Interdigital Dielectrometry Instrumentation and Algorithms / A. V. Mamishev, B. C. Lesieutre, M. Zahn // *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*. - 1998.- P. 408-420.
181. Khan, S. H., Abdullah, F. Finite-Element Modeling of Multilayered Capacitive Systems for Flow Imaging / S. H. Khan, F. Abdullah // *EE Proceedings-G Circuits Devices and Systems*. - 1993. - V.140, № 3. - P. 216-222.
182. Лунин, В.П. Развитие теории и создание высокоэффективных программно-алгоритмических средств электромагнитной дефектоскопии оборудования атомной энергетики: автореф. дис. ... д-ра техн наук: 05.11.13/ В.П. Лунин; М., 2010. -38 с.
183. Иванов, А.В. Применение метода граничных интегральных уравнений при моделировании формирования и динамики в установках электронного охлаждения/ А.В. Иванов, М.А.Тиунов// *Вестник Новосибирского Государственного Университета. Серия: Физика*. – 2008. -Том 3, выпуск 1. – С. 56-61.
184. Тарчуткин, А. Л. Использование метода интегральных уравнений для снижения размерности конечно-элементной задачи электростатического поля/ А. Л. Тарчуткин, М. В. Остренко // *Электротехника та електроенергетика*. – 2009 . – №2. – С.61- 64.
185. Дашевский, Ю.А. Математическое моделирование и численный анализ новых возможностей стационарной геоэлектрики. Автореф. дисс. д-ра физико-математических наук: 25.00.10 / Ю.А. Дашевский. – Новосибирск, 2001. – 36 л.

186. Sheiretov, Y., Zahn, M. Modeling of Spatially Periodic Dielectric Sensors in the Presence of a Top Ground Plane Bounding the Test Dielectric / Y. Sheiretov, M. Zahn // IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul. – 2005.- V. 12, № 5.- P. 993–1004.
187. Джежора, А.А. Моделирование накладных измерительных конденсаторов в присутствии заземленной плоскости / А.А. Джежора // Метрология и приборостроение. - 2010. - № 2(49) – С.38-42.
188. Джежора, А.А. Оптимизация конструкции накладного измерительного конденсатора // Вестник Белорусского национального технического университета. – 2010. – № 5. – С. 43-48.
189. Джежора, А. А. Модель накладного измерительного конденсатора / А.А. Джежора, В.В. Рубаник // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Серыя фіз.-тэхн.навук. – 2010. – № 3. – С. 99-103.
190. Джежора, А.А. Оптимизация накладного измерительного конденсатора / А.А. Джежора, В.В. Рубаник // Международная Конференция Физиков Молдовы «КФМ-2009», 26 – 28 ноября. – Кишинев, 2009. – С.137.
191. Джежора, А.А. Метод зеркальных схем в задачах электростатики / А.А. Джежора, В.В. Рубаник. // Актуальные проблемы прочности: материалы 53 Междун. научн. конф., Витебск, 2-5 октября 2012 г.: 2 ч. / Институт технической акустики, Витебский государственный технологический университет. – Витебск, 2012. – Ч.2. -С.181-182.
192. А. Джежора, А.А. Математическая модель зеркально-симметричного накладного измерительного конденсатора / А. А. Джежора // Научное приборостроение. – 2011. -Т. 21, № 4. – С. 127-133.
193. Джежора, А.А. Расчет емкости датчика с симметричной системой плоских ленточных электродов / А. А. Джежора; Витебский технологический институт легкой промышленности. – Витебск. -Деп. в ВИНТИ 20.02.89, № 1089 – В89 // Журн. Весці АН БССР. Серыя фіз.-тэхн. навук. – 1990.- №1 – С. 110.
194. Нетушил, А.В. Расчет потенциальных полей / А.В. Нетушил // Труды МЭИ. -1951. -Вып. 9. -С. 3–25.
195. Джежора, А. А. Принципы проектирования накладных измерительных конденсаторов в присутствии заземленной плоскости /А.А. Джежора [и др.] // Приборы и методы измерений. – 2011. – № 2(3). – С. 106-112.
196. Джежора, А.А. Вопросы оптимизации накладных измерительных конденсаторов / А.А. Джежора, В.В. Рубаник // Автоматизация технологических процессов: материалы междун. науч.-техн. конф., Минск, 15 – 16 марта. – Минск, 2011. – С.140–141.
197. A.V. Mamishev, B.C. Lesieutre, M. Zahn «Optimization of Multi-Wavelength Interdigital Dielectrometry Instrumentation and Algorithms», IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.- 1998. Vol. 5, № 3.- P. 408–420
198. Y. Sheiretov and M. Zahn, «Modeling of Spatially Periodic Dielectric Sensors in the Presence of a Top Ground Plane Bounding the Test Dielectric», IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul. – 2005.- Vol. 12, № 5.- P. 993–1004.
199. Радовицкий, В.П. Электродинамика текстильных волокон (Поведение волокон в электрических полях) / В.П.Радовицкий, Б.Н.Стрельцов. – М.: Легкая индустрия, 1967. – 253 с.
200. Джежора, А. А. Диэлькометрия ортотропных материалов текстильной промышленности / А. А. Джежора, А.М. Науменко // Дефектоскопия. – 2011.- Т. 47, № 12. – С. 67 – 76.
201. Джежора, А.А. Краевые эффекты на торцах ленточных электродов электроемкостных преобразователей / А.А. Джежора, В.В. Рубаник, А.М. Науменко, В.К. Савчук // Инновационные технологии, автоматизация и мехатроника в машино- и приборостроении: материалы II междун. научн.-техн. конф., Минск, 13 – 14 марта. – Минск, 2013. – С.47–48.