

Фізичні процеси теплообміну при мініатюризації випарно-конденсаційних систем термостабілізації

Физические процессы теплообмена при миниатюризации испарительно-конденсационных систем термостабилизации

Heat transfer physical process at miniaturization an evaporation-condensing thermal stabilization systems

1. **Номер державної реєстрації теми - № 0112U001656, НТУУ «КПІ» - 2514-Ф.**
2. **Науковий керівник -** к.т.н., доцент. Кравець В.Ю., Кравець В.Ю., Kravets Volodymyr.
3. **Суть розробки, основні результати. (укр.)**

Розроблено нову комплексну математичну модель процесів теплообміну в умовах зменшення внутрішнього простору випарно-конденсаційних систем (мініатюрних теплових труб, термосифонів і пульсуючих капілярних теплових труб). В результаті проведеного аналізу системи диференціальних рівнянь і умов однозначності методом теорії подібності отримано критерійну залежність, яку можна використовувати при розрахунку теплопередавальної здатності мініатюрних теплових труб. На основі теоретичного дослідження гідравлічних характеристик течії парової фази в мініатюрних теплових трубах при сумірних товщині капілярної структури і діаметрі парового простору показано суттєву зміну режимів течії пари. На основі теоретичного дослідження гідравлічних характеристик течії парової фази в мініатюрних теплових трубах при співвідношенні товщини капілярної структури і діаметра парового простору показано суттєву зміну режимів течії пари. Показано, що перехід від ламінарного режиму течії до турбулентного проходить при зменшених значеннях числа Рейнольдса. Встановлено взаємний вплив товщини шару витіснення, діаметра парового простору і товщини капілярної структури на тепловіддачу в зоні нагріву мініатюрних теплових труб. На основі візуальних кінематографічних досліджень в термосифонах та пульсаційних капілярних теплових трубах з різними типами теплоносіїв (ординарні теплоносії та нанорідини) отримано нові дані по гідравлічним характеристикам процесів, що відбуваються в період передачі теплової енергії від зони нагріву до зони конденсації. Проведені ресурсні випробування мініатюрних термосифонів і теплових труб, які показали здатність довготривалої передачі теплоти в умовах напруженої температурної експлуатації. В результаті дослідження теплопередаючих характеристик мініатюрних теплових труб, термосифонів та пульсуючих капілярних теплових труб отримано нові залежності коефіцієнтів тепловіддачі в зонах теплообміну від теплового потоку. Визначено критерійні залежності для розрахунку інтенсивності процесів тепловіддачі в зонах підводу теплоти у мініатюрних теплових трубах і термосифонах. Надано методичку розрахунку мініатюрних теплових труб та рекомендації для створення сучасних систем охолодження з високими теплопередаючими характеристиками.

Суть разработки, основные результаты. (рос.)

Разработано новую комплексную математическую модель процессов теплообмена в условиях уменьшения внутреннего пространства испарительно-конденсационных систем (миниатюрных тепловых труб, термосифонов и пульсационных капиллярных тепловых труб). В результате проведенного анализа системы дифференциальных уравнений и условий однозначности методом теории подобия получена критериальная зависимость, которую можно использовать при расчете теплопередающей способности миниатюрных тепловых труб. На основе теоретического исследования гидравлических характеристик течения паровой фазы в миниатюрных тепловых трубах при соизмеримых толщин капиллярной структуры и диаметра парового пространства показано существенное изменение режимов течения пара. Показано, что переход от ламинарного режима течения к турбулентному проходит при пониженных значениях числа Рейнольдса. Установлено взаимное влияние толщины слоя вытеснения, диаметра парового пространства и толщины капиллярной структуры на теплоотдачу в зоне нагрева миниатюрных тепловых труб. На основе визуальных кинематографических исследований в термосифонах и пульсационных капиллярных тепловых трубах с разными типами теплоносителей (ординарные теплоносители и

наножидкости) получены новые данные по гидравлическим характеристикам процессов, которые происходят в период передачи тепловой энергии от зоны нагрева до зоны конденсации. Проведены ресурсные испытания миниатюрных термосифонов и тепловых труб, которые показали способность длительной передачи теплоты в условиях напряженной температурной эксплуатации. В результате исследования теплопередающих характеристик миниатюрных тепловых труб, термосифонов и пульсационных капиллярных тепловых труб получены новые зависимости коэффициентов теплоотдачи в зонах теплообмена от теплового потока. Определены критериальные зависимости для расчета интенсивности процессов теплоотдачи в зонах подвода теплоты в миниатюрных тепловых трубах и термосифонах. Представлена методика расчета миниатюрных тепловых труб и рекомендации для создания современных систем охлаждения с высокими теплопередающими характеристиками.

The essence of development, the main results. (англ.)

New complex mathematical model of heat transfer processes in conditions of evaporation-condensation systems (miniature heat pipes, thermosyphons and pulsating heat pipes) inner space decreasing was developed. Criterial relation for evaluation of miniature heat pipes heat transfer ability was obtained as a result of differential equations system and conditions of uniqueness analysis. Significant change of vapor flow regimes was shown based on theoretical investigation of vapor flow hydraulic characteristics in miniature heat pipes at commensurate capillary structure thickness and vapor space diameter. It was shown that transition from laminar to turbulent flow regime occurs at reduced Reynolds number. Influence of layer displacement thickness, vapor space diameter and capillary structure thickness on heat transfer in heating zone of miniature heat pipes was determined. New data on hydraulic characteristics of processes which take place at period of heat transfer between heating and condensation zones were obtained as a result of visualization investigations of thermosyphons and pulsating heat pipes with different heat carriers (common heat carriers and nanofluids). Provided life tests of miniature thermosyphons and heat pipes were shown the ability of these devices to work in difficult temperature conditions. New dependencies between heat transfer coefficients in heat transfer zones and heat flux were obtained as a result of heat transfer characteristics of miniature heat pipes, thermosyphons and pulsating heat pipes researches. Criterial relations for evaluation of heat transfer intensity in heating zones of miniature heat pipes and thermosyphons were determined. Methods of miniature heat pipes developing and recommendation of modern cooling systems with high heat transfer characteristics creation was presented.

4. Наявність охоронних документів на об'єкти права інтелектуальної власності.

1. Патент України на винахід № 100080. Пристрій для охолодження електронних компонентів // Бухтияров Ю.В., Штурма І.Ю., Кравець В.Ю., Паламарчук О.Я. Бюл. №21, 2012.

2. Патент України на винахід № 85596 Комбінована теплопередавальна система випарно-конденсаційного типу //Письменний Є.М., Николаєно Ю.Е., Кравець В.Ю., Алексеїк Є.С., Мельник Р.С. Бюл. № 22, 2013 р.

3. Патент України на винахід № 105603. Світлодіодна люстра // Ніколаєнко Ю.Є., Кравець В.Ю., Паламарчук О.Я., Алексеїк Є.С., Мельник Р.С., Ніколаєнко Т.Ю., Кравець Д.В. Бюл. № 10, 2014 р.

4. Патент Российской Федерации на изобретение №2474888. Охлаждающее устройство для электронных компонентов// Бухтияров Ю.В., Штурма И.Ю., Кравец В.Ю., Паламарчук А.Я., Бюл. № 4, 2013.

5. Патент Российской Федерации на полезную модель №141494. Светодиодное осветительное устройство// Николаєнко Ю.Е., Рассмакин Б.М., Хайрнасов С.М., Кравец В.Ю. Бюл. № 16, 2014.

5. Порівняння зі світовими аналогами.

Результати відповідають світовому рівню. Отриманні експериментальні дані розкривають нові фізичні явища при мініатюризації випарно-конденсаційних систем. Розроблені зразки мініатюрних теплових труб по своїм характеристикам не мають аналогів у світі.

6. Економічна привабливість для просування на ринок

Впровадження отриманих експериментальних даних в проектування систем охолодження малогабаритних пристроїв на основі мініатюрних теплових труб, термосифонів та пульсаційних теплових труб зможе знизити металоємність приладів та підвищити теплопередаючі характеристики. Застосування таких малогабаритних теплообмінних пристроїв в космічному приладобудуванні має дуже велику перспективу, завдяки своїм унікальним здібностям: високому коефіцієнту теплопровідності (до 100000Вт/мК) та малим габаритам і ваги. Розроблені мініатюрні теплові труби за своїми показниками по теплопередаючим характеристикам в 1,5...2 рази перевищують існуючі світові аналоги. Вартість таких випарно-конденсаційних систем залежить від габаритів, лежить на рівні світових цін, а в деяких випадках і значно нижча.

7. Потенційні користувачі (галузі, міністерства, підприємства, організації).

Галузь використання результатів досліджень охоплює досить велику кількість напрямків. Від створення мініатюрних пристроїв для охолодження теплонавантажених елементів електронної техніки до використання мініатюрних теплових труб, термосифонів та пульсаційних капілярних теплових труб у енергозберігаючому обладнанні та космічної техніки.

Підприємства ЦКБ "Арсенал, НВО "Атом Комплекс Прилад", ООО "Відео Інтернет Технології" та інші зацікавлені у впровадженні у виробництво мініатюрних пристроїв на основі ефективних систем охолодження з використанням випарно-конденсаційного циклу.

8. Стан готовності розробки.

Розроблені та виготовлені макети систем охолодження можуть ефективно застосовуватися при термостабілізації обладнання різного призначення. Сьогодні створена науково-технологічна база для дослідження та розробки перспективних ефективних систем охолодження на базі мініатюрних теплових труб, термосифонів і пульсаційних капілярних теплових труб. Стан готовності розробки у вигляді макетних зразків може бути впроваджено в промислове виробництво.

9. Існуючі результати впровадження.

Результати НДР були використані в проєкті MASCOT при створенні системи охолодження блока живлення космічного апарату для місії на астероїд 162173 1999 JU, який наближається до Землі. Отримані результати роботи запропоновано для подальшого впровадження при проектуванні та створенні мініатюрних теплопередаючих пристроїв для відводу теплоти від потужних електронних приладів наземного та космічного застосування (системи охолодження мікросхем відео карт та процесорів комп'ютерів).

Результати роботи впроваджено в навчальний процес: підготовлено нові розділи - "Теплообмін при мініатюризації випарних систем охолодження", "Теплопередаючі характеристики теплових труб", у курсі лекцій "Теплогідравлічні процеси в енергетичних установках", "Дослідження процесів теплообміну в мініатюрних теплових трубах і термосифонах" в курсі "Основи наукових досліджень".

Основні положення роботи впроваджені у посібнику для практичних занять по курсу "Теплогідравлічні процеси в енергетичних установках". За матеріалами роботи захищена кандидатська дисертація за темою: „Дослідження теплопередаючих характеристик мініатюрних теплових труб з металоволокневою капілярною структурою”; підготовлена докторська дисертація за темою: „Теплообмін при мініатюризації випарних систем охолодження” та кандидатські дисертації:

- „Вплив режимних та геометричних факторів на теплопередаючі характеристики пульсаційних теплових труб”.

- „Теплообмін при кипінні на гладких та пористих поверхнях в умовах обмеженого простору”.

- „Теплопередаючі характеристики пульсаційних капілярних теплових труб, призначених для мініатюрних систем охолодження”.

10. Назва організації, телефон, E-mail

НТУУ "КПІ", теплоенергетичний факультет,
454-93-02, kravetz_kpi@ukr.net



Макет радіатора для термостабілізації процесора потужного комп'ютера



Мініатюрні теплові труби для системи охолодження блока живлення в проекті MASCOT



Вібраційні випробування мініатюрних теплових труб для застосування в проекті MASCOT

11. Перелік публікацій за матеріалами досліджень за період виконання розробки

- опубліковані статті

1. Kravets V.Yu., Alekseik O.S. Boiling Heat-Transfer Intensity in Small-Scale Surface // International Review of Mechanical Engineering. – 2012. – Vol. 6, №3. – P. 479-484.
2. Алексеик О.С., Кравец В.Ю., Копчевская И.А. Интенсивность теплоотдачи при кипении на поверхности малого размера // Технология и конструирование в электронной аппаратуре, № 1, 2012. с.49-53.
3. Кравец В.Ю., Алексеик Е.С., Аполлонина О.Ю. Влияние количества витков на термическое сопротивление пульсационных тепловых труб// Восточно-Европейский журнал передовых технологий, 2012. – Вып. 2/8(56), с.54-57.
4. Кравец В.Ю., Чернобай В.О., Готовцева А.К. Теплопередающие характеристики двухфазных термосифоно// Восточно-Европейский журнал передовых технологий, 2012. – Вып. 2/8(56), с.61-64.
5. Кравец В.Ю., Коньшин В.И., Бехмард Голамреза. Влияние определяющих факторов на температурный режим двухфазных термосифоно// Збірник наук. праць СНУЯЕ та П, Севастополь 2012.- Вип. 3(43) - с. 28 – 32.
6. Алексеик О.С., Кравец В.Ю. Фізична модель процесу кипіння на пористій поверхні в обмежених умовах// Восточно-Европейский журнал передовых технологий, 2013. – Вып. 4/8(64), с.26-31.
7. Кравец В.Ю., Коньшин В.И., Ванеева Н.С. Интенсивность теплоотдачи в зоне испарения двухфазных термосифоно// Восточно-Европейский журнал передовых технологий, 2014. – Вып. 2/5(68), с.45-50.
8. Кравец В.Ю., Письменный Е.Н., Коньшин В.И., Бехмард Голамреза. Влияние режимных факторов на теплопередающие характеристики двухфазных термосифоно// Збірник наук. праць СНУЯЕ та П, Севастополь 2010.- Випуск 4(36) - с. 41 – 49.
9. Наумова А.М., Кравец В.Ю. Влияние на теплопередачу в пульсационной тепловой трубе ее ориентации в пространстве// Технология и конструирование в электронной аппаратуре, № 5-6, 2010. с.36-39.
10. Руденко А.И., Кравец В.Ю., Зарипов В.К. Теплотехнические характеристики радиатора для эффективных систем охлаждения// Технология и конструирование в электронной аппаратуре, № 3(91), 2011. с.32-34.
11. Кравец В.Ю., Письменный Е.Н., Некрашевич Я.В., Сологуб Д.Э. Интенсивность теплоотдачи в зоне испарения миниатюрных тепловых труб// Восточно-Европейский журнал передовых технологий, 2011. – Вып. 6/8(54), с.26-31.

12. Алексеик О.С., Кравец В.Ю. Влияние стесненных условий на интенсивность теплоотдачи при кипении на пористой поверхности// Восточно-Европейский журнал передовых технологий, 2012. – Вып. 4/8(58), с.24-27.

13. Алексеик Е.С., Кравец В.Ю. Картины движения теплоносителя в основных режимах работы пульсационных тепловых труб// Восточно-Европейский журнал передовых технологий, 2012. – Вып. 4/8(58), с.36-42.

14. Алексеик Е.С., Кравец В.Ю. Система отвода теплоты от теплонагруженных элементов РЭА на основе пульсационной тепловой трубы // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. 2013. №1. с. 19-24.

15. Алексеик Е.С., Кравец В.Ю. Визуализация процессов массопереноса в пульсационных тепловых трубах // Збірник наук. праць СНУЯЕ та П, Севастополь 2013.- Вип. 1- с. 135 - 144.

16. Некрашевич Я.В., Письменный Е.Н., Кравец В.Ю. Влияние геометрических факторов на интенсивность теплоотдачи в зоне испарения миниатюрных тепловых труб// Промышленная теплотехника, 2013, т. 35, № 2. с.17-22.

17. Наумова А.Н., Кравец В.Ю., Николаенко Ю.Е. Физическое представление и расчет начала кипения в пульсационной тепловой трубе// Технология и конструирование в электронной аппаратуре, № 2-3, 2014. с.42-47.

18. Алексеик О.С., Кравец В.Ю. Теплоотдача при кипении на гладких и пористых поверхностях в условиях ограниченного объема// Восточно-Европейский журнал передовых технологий, 2014. – Вып. 1/8(67), с.3-6.

- доповіді на конференціях:

1. Барташук М.І., Кравец В.Ю. Вплив кута нахилу на максимальні теплові потоки в двофазних термосифонах// Тези доповідей X Міжн. наук.-практ. конф. «Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики», Київ, 17-20 квітня 2012 р. с. 7.

2. Барташук М.І., Кравец В.Ю. Вплив кута нахилу на теплопередаючу здатність двофазних термосифонів // Тези доповідей X Міжн. наук.-практ. конф. «Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики», Київ, 17-20 квітня 2012 р. с. 8.

3. Салій Я.М., Кравец В.Ю. Вплив коефіцієнта заповнення на теплопередаючу здатність двофазних термосифонів // Тези доповідей X Міжн. наук.-практ. конф. «Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики», Київ, 17-20 квітня 2012 р. с. 34.

4. Шостак Ю.К., Кравец В.Ю. Дослідження теплопередаючих характеристик двофазних термосифонів // Тези доповідей X Міжн. наук.-практ. конф. «Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики», Київ, 17-20 квітня 2012 р. с. 49.

5. Бехмард Голамреза, Кравец В.Ю. Исследование пульсаций температуры в двухфазном термосифоне // Тези доповідей X Міжн. наук.-практ. конф. «Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики», Київ, 17-20 квітня 2012 р. с. 54.

6. Аполлоніна О.Ю., Кравец В.Ю. Термічний опір пульсаційної теплової труби // Тези доповідей X Міжн. наук.-практ. конф. «Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики», Київ, 17-20 квітня 2012 р. с. 56.

7. Баскова О.О., Кравец В.Ю., Алексеик О.С. Вплив обмежених умов на інтенсивність теплообміну при кипінні // Тези доповідей X Міжн. наук.-практ. конф. «Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики», Київ, 17-20 квітня 2012 р. с. 57.

8. Ванєєва Н.С., Кравец В.Ю. Вплив коефіцієнта заповнення на теплопередавальні характеристики двофазного термосифона // Тези доповідей X Міжн. наук.-практ. конф. «Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики», Київ, 17-20 квітня 2012 р. с. 59.

9. Готовцева А.К., Чорнобай В.О., Кравец В.Ю. Вплив визначальних факторів на початок кипіння в двофазних термосифонах // Тези доповідей X Міжн. наук.-практ. конф. «Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики», Київ, 17-20 квітня 2012 р. с. 60.

10. Копчевська І.А., Лебедь Н.Л., Кравец В.Ю. Інтенсивність тепловіддачі при кипінні на поверхні малого розміру // Тези доповідей X Міжн. наук.-практ. конф. «Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики», Київ, 17-20 квітня 2012 р. с. 68.

11. Сологуб Д.Е., Кравец В.Ю. Дослідження впливу діаметра парового простору на теплопередаючі характеристики мініатюрних теплових труб // Тези доповідей X Міжн. наук.-

практ. конф. «Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики», Київ, 17-20 квітня 2012 р. с. 77.

12. Ткачук Р.В., Кравець В.Ю., Ніщік О.П. Пасивні системи теплопередачі випаровувально-конденсаційного типу для об'єктів ядерної енергетики // Тези доповідей X Міжн. наук.-практ. конф. «Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики», Київ, 17-20 квітня 2012 р. с. 78.

13. Кравець В.Ю., Письменный Е.Н. Система охлаждения процессора герметичного компьютера // Сб. трудов XIII Международной научно-практической конф.: Современные информационные и электронные технологии, Одесса, 4–8 июня, 2012, с.204.

14. Кравець В.Ю., Коньшин В.И., Бехмард Голамреза Влияние угла наклона на теплопередающие характеристики двухфазных термосифонов // Сб. трудов XIII Международной научно-практической конф.: Современные информационные и электронные технологии, Одесса, 4–8 июня, 2012, с.208.

15. Алексеик Е.С., Кравець В.Ю. Система отвода теплоты от теплонагруженных элементов радиоэлектронной аппаратуры на основе пульсационной тепловой трубы // Сб. трудов XIII Международной научно-практической конф.: Современные информационные и электронные технологии, Одесса, 4–8 июня, 2012, с.205.

16. Алексеик О.С., Кравець В.Ю. Исследование интенсивности теплоотдачи в зоне нагрева миниатюрной тепловой трубы // Сб. трудов XIII Международной научно-практической конф.: Современные информационные и электронные технологии, Одесса, 4–8 июня, 2012, с.207.

17. Алексеик Е.С., Кравець В.Ю. Влияние количества витков на теплопередающие характеристики отдельно взятого витка многовитковых пульсационных тепловых труб// Минский межд. форум по тепломассообмену 10-13 сентября 2012. Том 1, ч. 1, с.379-381.

18. Kravets V.Yu., Nekrashevich Ya.V Research of factors influencing heat transfer characteristics of miniature heat pipes// Proc. 16th Int. Heat Pipe Conf., Lyon, 20-24 May 2012, p. 383-388.

19. Антоненко О.А., Кравець В.Ю. Теплопередаючі характеристики двофазних термосифонів для систем охолодження відпрацьованого ядерного палива // Тези доповідей XI Міжн. наук.-практ. конф. «Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики», Київ, 16-19 квітня 2013 р. с. 46.

20. Вансєва Н.С., Кравець В.Ю. Інтенсивність тепловіддачі в зоні випаровування двофазного термосифону // Тези доповідей XI Міжн. наук.-практ. конф. «Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики», Київ, 16-19 квітня 2013 р. с. 49.

21. Савонік О.О., Кравець В.Ю. Інтенсивність тепловіддачі в зоні нагріву двофазного термосифона при зміні кута нахилу // Тези доповідей XI Міжн. наук.-практ. конф. «Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики», Київ, 16-19 квітня 2013 р. с. 59.

22. Снурніцин А.Д., Кравець В.Ю. Влияние «стесненных» условий на теплопередающие процессы в миниатюрных тепловых трубах // Тези доповідей XI Міжн. наук.-практ. конф. «Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики», Київ, 16-19 квітня 2013 р. с. 62.

23. Романчук Б.М., Кравець В.Ю. Пульсаційні теплові труби // Тези доповідей XI Міжн. наук.-практ. конф. «Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики», Київ, 16-19 квітня 2013 р. с. 71.

24. Кравець В.Ю., Коньшин В.И., Письменный Е.Н. Интенсивность теплоотдачи в зоне испарения двухфазного термосифона //Сб. трудов XIV Международной научно-практической конф.: Современные информационные и электронные технологии, Одесса, 27–33.

25. Николаено Ю.Е., Кравець В.Ю., Алексеик Е.С. Мельник Р.С. Комбинированная теплопередающая система испарительно-конденсационного типа //Сб. трудов XIV Международной научно-практической конф.: Современные информационные и электронные технологии, Одесса, 27–31 мая, 2013, с. 28-29.

26. Кравець В.Ю., Хайрмасов С.М., Алексеик О.С., Алексеик Е.С., Мельник Р.С. Влияние характеристик пористой структуры на теплопередающие способности миниатюрных тепловых труб // Сб. трудов XV Международной научно-практической конф.: Современные информационные и электронные технологии, Одесса, 26–30 мая, 2014, с. 14-15.

27. Алексеик Е.С., Кравец В.Ю. Зависимость теплопередающих характеристик однофазной пульсационной тепловой трубы от длины зоны нагрева и ориентации в пространстве // Сб. трудов XV Международной научно-практической конф.: Современные информационные и электронные технологии, Одесса, 26–30 мая, 2014, с. 16-17.

27. Кравец В.Ю., Коньшин В.И., Бехмард Голамреза Максимальные тепловые потоки миниатюрных термосифонов // Сб. трудов XV Международной научно-практической конф.: Современные информационные и электронные технологии, Одесса, 26–30 мая, 2014, с. 18-19.

28. Наумова А.Н., Кравец В.Ю. Математическая модель для расчета начала кипения в пульсационной тепловой трубе // Сб. трудов XV Международной научно-практической конф.: Современные информационные и электронные технологии, Одесса, 26–30 мая, 2014, с. 20-21.

29. Мельник Р.С., Николаенко Ю.Е., Кравец В.Ю., Паламарчук А.Я., Алексеик Е.С., Николаенко Т.Ю., Кравец Д.В. Особенности новой конструкции светодиодного осветительного прибора с комбинированной системой охлаждения // Сб. трудов XV Международной научно-практической конф.: Современные информационные и электронные технологии, Одесса, 26–30 мая, 2014, с. 22-23.